Ніжинський державний університет
імені Миколи Гоголя

**В. М. Гавій, С. О. Приплавко,
С. О. Коваленко, Г. Г. Сенченко**

ҐРУНТ ЯК ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

Навчальний посібник

Ніжин
2017

УДК 631.58
ББК 28.57
Г12

Рекомендовано Вченою радою
Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя
(НДУ ім. М. Гоголя)
Протокол № 12 від 23.05.2017 р.

Автори*:*

Гавій В. М. – кандидат біологічних наук, доцент (частина І. Основи ґрунтознавства);

Сенченко Г. Г. – кандидат хімічних наук, доцент;

Приплавко С. О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент (частина ІІ. Ґрунт як джерело води і мінеральних елементів для рослинних організмів);

Коваленко С. О. – старший викладач (частина ІІІ. Поняття про ґрунт як джерело мінерального живлення рослин у шкільному курсі "Біологія")

Рецензенти:

Лобань Л. О. – доцент кафедри біології НДУ ім. М. Гоголя, кандидат біологічних наук;

Кузьменко Л. П. – доцент кафедри біології НДУ ім. М. Гоголя, кандидат біологічних наук

Гавій В. М.

Г12 Ґрунт як джерело живлення рослин : навч. посіб. / В. М. Гавій, С. О. Приплавко, С. О. Коваленко та ін. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2017. – 190 с.

У навчальному посібнику охарактеризовано ґрунт як природне тіло й основу для життя рослинних організмів. Третя частина посібника присвячена вивченню цього питання у шкільному курсі "Біологія".

Навчальний посібник створено на допомогу при вивченні таких начальних дисциплін, як "Ґрунтознавство", "Основи сільського господарства", "Біофізика", "Фізіологія рослин" та "Методика навчання біології в школі".

Для викладачів та студентів природничих факультетів університетів, а також для вчителів біології шкіл, ліцеїв та гімназій з поглибленим вивченням біології.

© В. М. Гавій, С. О. Приплавко,
С. О. Коваленко та ін., 2017
© НДУ ім. Гоголя, 2017

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА 6

ЧАСТИНА І. ОСНОВИ ҐРУНТОЗНАВСТВА 7

Розділ 1. Поняття про ґрунт 8

Розділ 2. Вивітрювання гірських порід. Ґрунтоутворення 10
2.1. Мінерали та гірські породи 10
2.2. Типи вивітрювання 12
2.3. Ґрунтоутворюючі породи та їх категорії 13
2.4. Фактори ґрунтоутворення 15

Розділ 3. Основні морфологічні ознаки генетичних горизонтів 19
3.1. Забарвлення ґрунту 22
3.2. Структура ґрунту 23
3.3. Гранулометричний склад ґрунту 25
3.4. Складення ґрунту 29
3.5. Новоутворення і включення 30

Розділ 4. Органічна речовина ґрунту 32
4.1. Фази ґрунту 32
4.2. Джерела гумусу у ґрунті. Перетворення органічних речовин у ґрунті та процес гумусоутворення 33
4.3. Гумус: склад, властивості 37
4.4. Груповий та фракційний склад гумусу 38
4 5. Екологічне значення гумусу та регулювання його вмісту 39

Розділ 5. Ґрунтові колоїди 41
5.1. Будова ґрунтових колоїдів та їх головні ознаки 41
5.2. Класифікація ґрунтових колоїдів 42
5.3. Природа та види поглинальної здатності ґрунтів 43
5.4. Ґрунтовий поглинальний комплекс. Екологічне значення поглинальної здатності 45
5.5. Кислотність ґрунту, її форми 47

Розділ 6. Рідка та газова фази ґрунту 49
6.1. Стан і форми води в ґрунтах 49
6.2. Водно-фізичні властивості ґрунту 53
Література до частини І 58

ЧАСТИНА ІІ. ҐРУНТ ЯК ДЖЕРЕЛО ВОДИ І МІНЕРАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ РОСЛИННИХ ОРГАНІЗМІВ 59

Розділ 1. Водний обмін рослин 60
1.1. Структура та властивості води, її фізіологічна роль 60
1.2. Фізичні властивості води 62
1.3. Вміст та стан води в органоїдах, клітинах та окремих органах рослин..... 63
1.4. Ґрунт як джерело води для рослин. Вплив зовнішніх умов на надходження води в рослину..... 64
1.5. Надходження та переміщення води по рослині..... 65
1.6. Основні двигуни водного току..... 67
1.7. Гутація та "плач" рослин..... 68
1.8. Транспірація та її значення для рослин. Особливості будови листка як органу транспірації..... 69
1.9. Типи транспірації. Регуляція продихової транспірації 70
1.10. Вплив зовнішніх умов на ступінь відкритості продихів 72
1.11. Добові рухи продихів у різних рослин. Добовий хід процесу транспірації 73
1.12. Показники транспірації. Вплив на транспірацію умов навколишнього середовища 74
1.13. Вплив на рослину нестачі води 76
1.14. Особливості водного режиму у різних екологічних груп рослин 77
1.15. Фізіологічні основи зрошення 79

Розділ 2. Кореневе живлення рослин 81
2.1. Практичне та теоретичне значення вивчення процесів кореневого живлення 81
2.2. Розвиток вчення про кореневе живлення рослин 81
2.3. Методи вивчення кореневого живлення рослин 84
2.4. Класифікація та фізіологічна роль життєво необхідних елементів рослин..... 86
2.4.1. Класифікація мінеральних елементів рослин..... 87
2.4.2. Фізіологічна роль та особливості обміну макро- та мікроелементів рослинного організму 88
2.4.3. Особливості живлення рослин Нітрогеном..... 106
2.4.4. Обмін Нітрогену у рослин 108
2.4.5. Антагонізм іонів 113
2.5. Поглинання та транспорт мінеральних речовин по рослинному організму 114
2.5.1. Потік мінеральних елементів. Реутилізація та колообіг мінеральних елементів..... 114
2.5.2. Низхідний потік речовин по рослині 116

2.6. Поживні речовини ґрунту та їх засвоєння 120
2.7. Вплив кислотності ґрунту на поглинання поживних речовин коренем 121
2.8. Мікрофлора ґрунтів та її вплив на рослини 122
2.9. Фізіологічні основи застосування добрив 125
Література до частини II 126

ЧАСТИНА III. ПОНЯТТЯ ПРО ҐРУНТ ЯК ДЖЕРЕЛО МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ "БІОЛОГІЯ" 127

Розділ 1. Поняття про ґрунт у змісті навчального матеріалу 6 класу ... 128
1.1. Практично-діяльнісний компоненти змісту біологічної освіти 128
1.2. Формування на уроках в учнів 6 класу основних понять про ґрунт як джерело мінерального живлення 129
1.3. Розвиток пізнавального інтересу на уроках біології під час вивчення теми "Корінь" 133

Розділ 2. Практична діяльність учнів при вивчені теми "Корінь" у 6 класі 139
2.1. Лабораторні дослідження 139
2.2. Експериментальні дослідження 140

Розділ 3. Позаурочна робота з учнями при вивченні теми "Корінь" 145
3.1. Дослідницька робота у кабінеті біології 145
3.2. Перелік дослідів для проведення дослідницького практикуму 146
3.3. Дослідницька робота на навчально-дослідній земельній ділянці 150
3.4. Перелік дослідів на навчально-дослідній ділянці 152
3.4.1. Відділ польових і овочевих культур 152
3.4.2. Відділ плодово-ягідних культур 156
3.4.3. Колекційний відділ 159
3.4.4. Квітково-декоративний відділ 160

Розділ 4. Формування дослідницьких умінь учнів на гурткових заняттях при вивченні теми "Корінь" 163
4.1. Дослідницька робота з фізіології рослин 164
4.2. Дослідницька робота з агрохімії 167
Література до частини III 172

ДОДАТКИ 173

ПЕРЕДМОВА

Сьогодні люди бажають вживати якісні і різноманітні харчові продукти, проте зростання народонаселення подекуди випереджає виробництво продуктів харчування. За розрахунками експертів ООН, у зв'язку з подальшим збільшенням населення нашої планети потреби у продовольчих ресурсах до 2050 р. мають зрости як мінімум на 75 %. Тому ключовою проблемою аграрного сектору економіки є проблема виробництва якісних продуктів харчування. Підвищення врожайності сільськогосподарських культур неможливе без глибокого розкриття всіх таємниць системи "ґрунт–рослини–живлення рослин". Для нормального росту рослинам потрібні світло, тепло, наявність у повітрі вуглекислого газу, поживні елементи, простір для розвитку коренів, кисень у ґрунтовому повітрі та відсутність шкідливих сполук. Все це, за винятком трьох перших, рослини отримують з ґрунту. Отже, впливаючи на ґрунт, людина може створити необхідні умови для росту та розвитку сільськогосподарських культур. Але різні ґрунти мають різні властивості, і щоб поліпшити, слід їх детально вивчити. Тому цей навчальний посібник допоможе розкрити особливості взаємодії між кореневою системою рослин, ґрунтом, елементами живлення рослин. Свідоме врахування такої взаємодії у практиці сільського господарства сприятиме підвищенню родючості ґрунтів і одержанню високих та сталих врожаїв сільськогосподарських культур бажаної якості.

Теоретичний матеріал навчального посібника може бути використаний у 6 класі при розгляді теми "Рослини", на уроках біології: "Рослина – живий організм", "Живлення (мінеральне, повітряне) рослин", "Дихання рослин", "Будова рослини. Органи рослин", "Корінь: будова, основні функції (поглинання води та закріплення у ґрунті)", "Пагін: будова, основні функції (фотосинтез, газообмін, ріст, випаровування води, транспорт речовин)".

Даний навчальний посібник стане в пригоді студентам природничих дисциплін при вивченні таких начальних дисциплін, як "Ґрунтознавство", "Основи сільського господарства", "Біофізика", "Фізіологія рослин" та "Методика навчання біології у школі".

ЧАСТИНА І
ОСНОВИ ҐРУНТОЗНАВСТВА

- **Поняття про ґрунт**
- **Основні морфологічні ознаки генетичних горизонтів**
- **Органічна речовина ґрунту**
- **Ґрунтові колоїди**
- **Рідка та газова фази ґрунту**

РОЗДІЛ 1
ПОНЯТТЯ ПРО ҐРУНТ

Поняття про ґрунт нерозривно пов’язане із землеробством. Спочатку ґрунт ототожнювали з поняттям "земля" – ділянкою поверхні, на якій проживає людина. У XIX ст. його переважно розглядали як орний шар, на якому вкорінюються рослини (так звана агрономічна точка зору), а також як геологічне утворення. Перше наукове визначення ґрунту запропонував В. В. Докучаєв у праці "Лекції з ґрунтознавства" (1901): "Ґрунтом треба називати зовнішні горизонти гірських порід, природно змінені сумісною дією води, повітря і різного роду організмів, живих і мертвих". Учений ставив ґрунт у ряд самостійних природних тіл, які якісно відрізняються від інших. Це тіло історичне, має свій вік, історію утворення. Воно пов’язане з іншими явищами й природними тілами. Будучи дуже прогресивним, докучаєвське визначення ґрунту все ж не було достатньо повним для уявлення про ґрунт як про самостійне природне тіло. Зокрема, згідно з визначенням В. В. Докучаєва, встановити різницю між ґрунтом і корою вивітрювання неможливо.

Одночасно з докучаєвським напрямком, у якому ґрунт розглядався перш за все як самостійне природно-історичне тіло, в російській науці розвивався й інший, пов’язаний з іменами П. А. Костичева та В. Р. Вільямса. Ці вчені звертали свою увагу, в першу чергу, на функції ґрунту, пов’язані з рослинами, що ростуть на ньому. У своєму підручнику П. А. Костичев писав: "... ми перш за все виділяємо верхній шар землі до тієї глибини, до якої доходить головна маса рослинних коренів, і називаємо цей шар ґрунтом". Це визначення обмежене, оскільки в ньому не йдеться про інші функціональні властивості ґрунту. В. Р. Вільямс, будучи за своїми поглядами ґрунтознавцем-докучаєвцем, бачив обмеженість визначення П. А. Костичева й шукав ту головну властивість ґрунту, що відрізняє його від усіх інших природних тіл. Він вважав, що ця властивість – родючість, тобто здатність ґрунту безперервно постачати рослини необхідним запасом води та їжі. За В. Р. Вільямсом, "ґрунт – це пухкий поверхневий горизонт суші земної кулі, здатний продукувати врожай рослин". Проте і це визначення явно однобічне. Підходи і В. В. Докучаєва, і В. Р. Вільямса, будучи неповними, взаємно доповнюють один одного, характеризуючи в цілому російську школу ґрунтознавства. Одну з перших спроб об’єднати ці визначення зробив Д. Г. Віленський (1945): "Ґрунт являє собою самостійне тіло природи, утворене шляхом сполучення та взаємодії геологічних процесів із біологічними і яке володіє ... родючістю".

У сучасних підручниках мало уваги приділяється визначенню ґрунту. Найчастіше автори наводять або докучаєвське, або вільямсівське. У тлумачному словнику з агроґрунтознавства М. І. Лактіонова (1998) подано близьке до докучаєвського визначення: "Ґрунт – самостійне природно-історичне органо-мінеральне тіло природи, що виникло в результаті дії жи-

вих і мертвих організмів та природних вод на поверхневі горизонти гірських порід у різних умовах клімату й рельєфу в гравітаційному полі Землі".

Отже, у ґрунтово-генетичній школі виділяють три визначення ґрунту: функціональне (В. В. Докучаєва), атрибутивне (В. Р. Вільямса) та комплексні варіанти Д. Г. Віденського, В. М. Фрідланда, Г. В. Добровольського тощо. У світі, особливо в Європі, більшість дослідників притримуються визначення російських шкіл.

Ґрунт – це складна поліфункціональна, полідисперсна, гетерогенна, відкрита чотирифазна структурна система в поверхневій частині кори вивітрювання гірських порід, якій властива родючість і яка є комплексною функцією гірської породи, організмів, клімату, рельєфу та часу.

Саме це визначення найбільш узагальнене та сучасне. Термін "відкрита система" використаний у термодинамічному розумінні й показує, що ґрунт знаходиться в стані постійного обміну речовиною й енергією з навколишнім середовищем. Ґрунт є ієрархічною організацією, в якій можна розрізнити декілька структурних рівнів. Під організмами розуміють всю біоту та продукти її функціонування органічного походження, і зокрема людину, яка на сьогодні є потужною геологічною силою.

Ґрунт, поряд з рослинами (фітоценоз), тваринними організмами (зооценоз), мікроорганізмами (мікробіоценоз), а також ґрунтовими водами та атмосферним повітрям (кліматоп), є компонентом екосистеми (рис. 1.1).

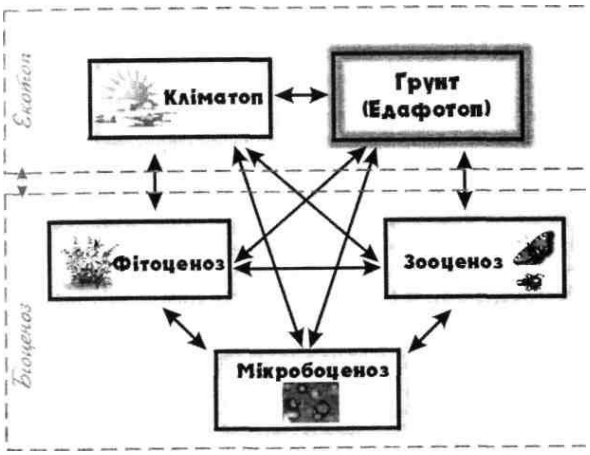


Рис. 1.1. ***Місце ґрунту в біогеоценозі***

Ґрунт розміщується між літосферою, атмосферою й гідросферою, він формує особливу геосферу – педосферу, або ґрунтовий покрив Землі, а також є компонентом біосфери – області поширення життя на Землі. Ґрунт є особливим біокосним тілом природи, тобто таким, що складається як із живої частини (організми), так і з неживої (породи, мінерали, іони тощо).

РОЗДІЛ 2

ВИВІТРЮВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД. ҐРУНТОУТВОРЕННЯ

2.1. Мінерали та гірські породи

Перетворення гірської породи на ґрунт здійснюється в результаті двох процесів, які відбуваються одночасно і тісно пов'язані один з одним, – вивітрювання та ґрунтоутворення. Процеси вивітрювання часто передують процесу ґрунтоутворення.

До речовин земної кори належать мінерали та гірські породи (рис. 1.2).

Рис. 1.2. ***Речовини земної кори***

За походженням гірські породи поділяють (рис. 1.3):

1. Магматичні гірські породи утворюються при охолодженні магми і мають кристалічну будову. Магматичні породи утворюють 96 % літосфери.

Магматичні глибинні гірські породи утворюються з застиглої під землею магми.

Магматичні глибинні гірські складаються з кристалів різної величини залежно від глибини залягання: чим ближче до поверхні, тим кристали дрібніші (лабрадорит, граніт, габро).

Магматичні поверхневі гірські породи утворюються із застиглої лави або пресованого вулканічного попелу. У таких гірських порід немає кристалів. Але їм властива порожнистість – сліди від виходів вулканічних газів (базальт, пемза, туф). Самородна сірка скупчується в місцях викидів вулканічних газів на земну поверхню.

Рис. 1.3. ***Класифікація гірських порід за походженням***

2. Осадові гірські породи утворились на земній поверхні шляхом вивітрювання вже існуючих гірських порід і поділяються на три групи: уламкові, хімічні і біогенні (органічні). **Уламкові осадові гірські** породи утворились шляхом механічного руйнування різних порід (щебінка, галька, пісок, глина). **Органічні осадові гірські** породи є скам'янілими рештками давніх живих організмів (кам'яне вугілля, буре вугілля, торф, нафта, вапняк, крейда). **Хімічні осадові гірські** породи є наслідком відкладання розчинених у воді речовин на дні океанів, морів та озер (кухонна сіль, калійна сіль, вапняк).

Серед осадових порід хімічного і біогенного походження важливу роль у ґрунтоутворенні відіграють карбонатні відклади: вапняки, мергелі, доломіти. Осадові гірські породи, що утворились у четвертинний період внаслідок вивітрювання, характеризуються сприятливими для ґрунтоутворення властивостями: пухким складенням, пористістю, водопроникністю, повітроємністю, поглинальною здатністю. Тому ці породи відіграють найбільшу роль у процесах ґрунтоутворення.

3. Метаморфічні гірські породи пов'язані з процесом метаморфізму – зміни гірських порід на великих глибинах під дією високого тиску й температури. Вони утворюються з осадових у глибоких шарах земної кори під впливом високих температур і високого тиску. До них належать гнейси, різні сланці (глинисті, слюдяні, кремнієві), мармури (утворені з вапняків), кварцити (утворені з піщаників).

2.2. Типи вивітрювання

Під дією коливань температур, атмосферних опадів, газів, хімічних і біохімічних процесів, що пов'язані з діяльністю організмів та інших факторів, гірські породи та мінерали на поверхні Землі руйнуються. Процеси руйнування та зміни гірських порід і мінералів земної кори називають вивітрюванням. Залежно від факторів, що впливають на вивітрювання, розрізняють:

– *фізичне вивітрювання* – процес механічного подрібнення гірських порід і мінералів на уламки різної величини та форми без змін їх хімічного та мінералогічного складу. Воно відбувається під впливом вітру, води, добових та сезонних коливань температур;

– *хімічне вивітрювання* – зміни і руйнування гірських порід та мінералів під впливом хімічних процесів з утворенням нових мінералів і сполук. Головними факторами хімічного вивітрювання є вода, вуглекислий газ, кисень, температура. У результаті хімічного вивітрювання відбуваються важливі хімічні процеси: розчинення, гідроліз, гідратація, окислення тощо. Вони обумовлюють подальше руйнування породи й утворення нових (вторинних) мінералів.

Вода в рідкому стані діє на породи, змінюючи склад мінералів. Подібну дію мають кисень і вуглекислота повітря. Твердий мінерал червоний залізняк, гідратуючись, дає драглистий колоїдальний м'який осад. Реакція проходить так:

$$Fe_2O_3 + 3H_2O = 2Fe(OH)_3.$$

Навіть такий твердий мінерал, як корунд, при систематичній дії води з розчиненим у ній киснем перетворюється на колоїдний алюміній гідрату за таким рівнянням:

$$Al_2O_3+3H_2O = 2Al(OH)_3.$$

Поширений у гірських породах мінерал пірит, окиснюючись, утворює сульфатну кислоту, яка, сполучаючись з будь-якою основою, утворює легко- та середньорозчинні у воді солі ($CaSO_4$, Na_2SO_4 та ін.).

Більш складний процес хімічної зміни польових шпатів, який відбувається під спільною дією кисню, вуглекислоти і води:

$$K_2A1_2Si_6O_{16} + H_2O + CO_2 = H_2Al_2Si_2O_8 + K_2CO_3 + 4SiO_2.$$

Внаслідок такої реакції з польових шпатів утворюються простіші, але стійкіші сполуки – каоліни та від них відщеплюється колоїдна силікатна

(H_2SiO_3) і рухлива, поживна для рослин і мікробів сіль – K_2CO_3 (або вуглекисла сіль будь-якої іншої основи, що входить до складу польового шпату).

Речовини, які звільняються в результаті вивітрювання, взаємодіють між собою, внаслідок чого в породі утворюються так звані вторинні, глинні, мінерали. Глинними вони називаються тому, що їх часточки дуже дрібні, іноді навіть колоїдальні. Вони мають велику питому поверхню і, отже, відіграють велику роль у вбирній здатності ґрунтів, в'язкості тощо. Найпоширенішими з вторинних мінералів є: каолініт $A1_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, галаузит $A1_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$, бейделіт тощо.

Отже, у процесі хімічного вивітрювання первинні мінерали змінюють свій склад, синтезуються нові, вторинні мінерали. У породі накопичуються колоїди і рухливі поживні для рослин елементи. Колоїди надають породі в'язкості, пластичності, водоутримувальної здатності, вбирної властивості; вони беруть участь у складних процесах динаміки різних речовин у ґрунтах.

– *біологічне вивітрювання* – процес механічного руйнування та хімічних змін гірських порід і мінералів під дією рослинних і тваринних організмів та продуктів їх життєдіяльності (виділення кореневих систем, бактерії, діатомові водорості, лишайники, вищі рослини, ґрунтові комахи, тварини тощо).

У результаті вивітрювання гірська порода набуває нових властивостей. Вона пропускає та затримує воду, тобто стає водопроникною та вологоємкою, поглинає різні сполуки, в ній з'являються елементи мінерального живлення рослин в доступній для засвоєння формі, а також накопичуються органічні речовини.

Ґрунт формується з продуктів вивітрювання гірських порід. Спочатку гірська порода перетворюється на рухляк, а потім на **материнську ґрунтоутворюючу породу** – мінеральний субстрат, на якому та з якого утворився ґрунт. Але тільки фізичні та хімічні процеси вивітрювання не можуть перетворити гірську породу вна ґрунт. Вони лише готують її до ґрунтоутворення.

2.3. Ґрунтоутворюючі породи та їх категорії

Ґрунтоутворюючими, або материнськими, породами називають поверхневі горизонти гірських порід, на яких утворюються ґрунти.

За генезисом ґрунтоутворюючі породи поділяються на такі категорії: елювіальні, делювіальні, пролювіальні, алювіальні, озерні, льодовикові, леси і лесоподібні суглинки, еолові та морські.

Елювіальними породами, або елювієм, називаються продукти вивітрювання вихідних гірських порід, які залягають на місці їх утворення. Сучасний елювіальний покрив часто називають ***корою вивітрювання.*** Елювій і кора вивітрювання є синонімами. Ці породи найбільш розвинуті на площинних вододільних просторах. На схилах елювій відсутній. На пухких породах він мало відрізняється за складом і властивостями від вихідної

породи. Колір його залежить від вихідної породи й характеру вивітрювання. Характерними ознаками елювію є: тісний зв'язок із вихідною породою; поступовий перехід до неї при спостереженні на вертикальному розрізі.

Делювіальними відкладами, або делювієм, називаються наноси, які утворилися в нижніх частинах схилів унаслідок змиву дощовими й сніговими водами продуктів руйнування порід із верхніх частин цих схилів і, частково, – вододілів. Характерними ознаками делювію є: шаруватість і деяка сортованість механічних часток, які входять до його складу: більші осідають вище по схилу, найдрібніші – біля підніжжя схилу. Зустрічається делювій нешаруватий. Механічний склад – піщаний, супіщаний, суглинковий, глинистий – залежить від механічного складу вихідних порід. У місцях, де важко провести межу між делювієм та елювієм, їх об'єднують загальною назвою елювіально-делювіального утворення.

Пролювіальні відклади, або пролювій, утворюються в гірських областях тимчасовими потоками (селями), які володіють такою силою, що разом із дрібноземом виносять значну кількість несортованого крупноуламкового матеріалу, відкладають його біля підніжжя гір, у міжгірних долинах, в устях річкових долин, утворюючи характерні конуси. Делювій і пролювій широко розповсюджені в гірських та передгірних областях і служать материнськими породами дня різних типів ґрунтів.

Алювіальні відклади, або алювій, – це осад проточних вод або заплавні наноси, відкладені при розливах рік. До них належать відклади на дні проточних озер і дельтові відклади. Відрізняються доброю сортованістю матеріалу за величиною частинок. Нерідко серед цих відкладів зустрічаються лінзи торфу, включення залишків рослинних і тваринних організмів, прісноводних і наземних молюсків, деколи кістки хордових. Також відрізняються шаруватістю, є прожилки оглеєних і оруднених горизонтів. Типи алювію: русловий, заплавний, старичний. Алювіальні наноси служать материнською породою для різних заплавних ґрунтів, які мають високу родючість.

Озерні відклади заповнюють пониження давнього рельєфу й відрізняються оглиненням і шаруватістю, важким гранулометричним складом із великим вмістом мулистої фракції. Спостерігаються прошарки сапропеліту, торфу, оглеєння, засолення.

Льодовикові відклади представлені моренами, ***водно-льодовиковими*** відкладами. Моренами називаються відклади пухкого уламкового матеріалу, який утворився льодовиком, що рухався. Морена складається із суміші глинистих часток, піску, гравію, щебеню й валунів різного розміру. Виділяють основні, бокові або кінцеві морени. Серед основної розрізняють поверхневу, внутрішню й донну.

Флювіогляціальні, або водно-льодовикові, відклади пов'язані з діяльністю потужних льодовикових потоків. Витікаючи з-під льодовика, потоки води перемішували моренний матеріал, перевідкладали його за краєм льодовика. Вони характеризуються сортованістю, шаруватістю, безкарбонатністю, не містять валунів, переважно піщані й піщано-галечникові.

Ці породи широко розповсюджені на Поліссі. Ґрунти, які сформувалися на цих відкладах, відрізняються низькою родючістю. Вони бідні на гумус, поживниі речовини, мають низьку вологоємність. У замкнутих улоговинах, коли флювіогляціальні відклади підстелені глинами, виникає заболочення, формуються болотно-підзолисті ґрунти.

Леси і лесоподібні суглинки мають різний генезис. Їх загальними рисами є: палевий або бурувато-палевий колір, карбонатність, пилувато-суглинковий гранулометричний склад із перевагою крупнопилуватої фракції (0,05–0,01 мм), борошнистість, шпаруватість, пухке складення, мікроагрегованість, добра водопроникність. За хімічними й фізико-хімічними властивостям ці породи найбільш сприятливі для розвитку рослин. На них формуються високородючі чорноземні ґрунти, а також сіроземи, каштанові та сірі лісові ґрунти. Леси найбільш поширені в Україні й у Середній Азії. Лесоподібні суглинки розташовуються в льодовикових і зовнішньольодовикових областях, серед покривних суглинків: лісостепові, степові райони. Вони менш карбонатні, зустрічаються також і безкарбонатні.

Еолові відклади утворюються внаслідок акумулятивної дії вітру, яка проявляється особливо інтенсивно в пустелі. До еолових відкладів належать сортовані піщані наноси, які утворюють горби, дюни, бархани.

Морські відклади формуються внаслідок переміщення берегової лінії морів, явищ трансгресії й регресії. Ці явища нерідко спостерігалися в четвертинний період. Відклади характеризуються шаруватістю, сортованістю та значною акумуляцією солей. Зустрічаються у Прикаспійській та інших приморських низовинах. На них утворюються засолені ґрунти.

2.4. Фактори ґрунтоутворення

На продуктах фізичного та хімічного вивітрювання гірської породи (рухляку) оселяються мікроорганізми, рослини і тварини. У результаті їх життєдіяльності накопичується органічна речовина, а отже, й акумулюється в поверхневих горизонтах гірської породи енергія сонячного проміння, важливі елементи попелу та азот. Поверхневі шари порід під впливом різних факторів (атмосферних, кліматичних, біотичних тощо) зазнають складних змін, поступово перетворюючись на ґрунт. Проте ґрунт постійно змінюється і розвивається. Сукупність різноманітних фізичних, хімічних і біологічних процесів та явищ, які зумовлюють виникнення і подальший розвиток ґрунтів, називають ґрунтоутворенням.

В. В. Докучаєв вперше науково пояснив процеси ґрунтоутворення і виділив фактори, що зумовлюють утворення ґрунтів та їх характер. Ці фактори назвали факторами ґрунтоутворення. До них відносяться: біологічний (рослинний і тваринний світ), кліматичний, материнська порода, рельєф і вік ґрунту, антропогенний (господарська діяльність людини).

Розглянемо вплив окремих факторів і умов ґрунтоутворення на формування ґрунтового покриву.

Клімат. На хід ґрунтоутворюючого процесу дуже впливають кліматичні особливості місцевості. З них найбільш істотне значення має загальний радіаційний баланс поверхні, а також баланс тепла і вологи.

У помірно холодних вологих районах (тайгово-лісова зона) кількість опадів більша від випаровування. У ґрунті утворюються постійні низхідні струмені ґрунтової вологи. Вони виносять з його верхніх горизонтів всі розчинні та, частково, колоїдальні сполуки. Ґрунти збіднюються солями, по їх профілю інтенсивно пересуваються колоїди.

У помірно теплих, помірно вологих районах (лісостепова і північна частіни степової зони) прибуток і видаток вологи приблизно зрівноважені. Навесні і восени переважають низхідні струмені, тоді як влітку вони змінюються висхідними. Тому тут рівень залягання різних солей непостійний. У тому числі рухлива і лінія закипання, яка показує рівень залягання карбонатів у ґрунті. Поєднання тепла і вологи найсприятливіше для накопичення в ґрунті гумусу. У посушливих теплих і жарких районах (степи, напівпустеля, пустеля) випаровування з поверхні ґрунту різко переважає над кількістю опадів. Більш-менш глибоке промивання може відбуватися лише навесні і частково восени. Тому на знижених елементах рельєфу солі інтенсивно піднімаються до поверхні, утворюючи солончаки і солонцеві ґрунти. Внаслідок нестачі вологи рослинність бідна, і тому в ґрунтах накопичується мало гумусу.

У тропічних і субтропічних вологих районах у ґрунтах відбуваються глибокі процеси хімічного розкладання мінералів. Розвивається багата рослинність, рештки якої потрапляють у ґрунт. Однак, завдяки дуже сприятливому поєднанню тепла і вологи, рослинні рештки швидко мінералізуються. Гумусу накопичується порівняно небагато. Розчинні солі повністю видаляються, завдяки чому ґрунти набувають кислого характеру.

Одними з найбільш істотних факторів ґрунтоутворення є **рослинний покрив,** ґрунтові мікроорганізми і, меншою мірою, тваринний світ. Рослинність, перш за все, є джерелом гумусу в ґрунті. Вона впливає на мінеральну частину, зумовлюючи складні явища перетворення і перерозподілу речовин у ґрунті. У природі є велика різноманітність рослинних формацій, які схематично можна об’єднати в кілька груп: деревну, трав’яну (лучну і степову), пустельну, болотну, солонцеву.

Ліси поширені у вологих районах майже всіх поясів земної поверхні (крім полярного). У зв’язку з цим лісові рослинні формації дуже різноманітні. Однак вплив їх на ґрунт має низку істотних загальних рис. Перш за все, під лісами утворюються більш-менш постійні низхідні течії ґрунтової вологи, що виносять у глибокі горизонти солі, основи, колоїдні речовини. При розкладанні лісової підстилки утворюються агресивні фульвокислоти. Впливаючи на ґрунт, вони розкладають ряд мінералів, в тому числі алюмосилікати, звільняючи колоїдні сполуки: силікатну кислоту, гідрати оксидів

тощо. Вступаючи у вбирний комплекс, водень фульвокислот збільшує рухомість глинних мінералів і надає ґрунтам кислої реакції. Залежно від характеру лісових формацій, водного режиму ґрунтів, кліматичних умов, рельєфу та інших факторів продукти розкладу, диспергованні глинні мінерали і гумус або пересуваються по профілю ґрунту, формуючи елювіальні та ілювіальні горизонти, або залишаються на місці свого утворення. У зв'язку з цим під деревною рослинною формацією можуть утворюватися підзолисті ґрунти (лісова зона), мерзлотно-тайгові (Середньосибірське плоскогір'я), сірі лісові (південь лісової зони і лісостеп), бурі лісові ґрунти (західні області помірного поясу і гірські країни), червоноземи і жовтоземи (вологі субтропіки) та латерити (тропічний пояс).

При розкладанні трав'яної рослинності утворюється, в основному, група гумінових речовин. Тому під трав'яною формацією мінеральна частина ґрунту не розкладається. У процесі ґрунтоутворення нагромаджується темний грубодисперсний гумус. Ґрунти набувають нейтральної, а іноді і слабколужної реакції.

Під трав'яною рослинністю помірного поясу на луках, в умовах підґрунтового зволоження, утворюються дернові та лучні ґрунти; у степах, в умовах атмосферного зволоження – чорноземи і каштанові ґрунти; в пустелях і напівпустелях помірного і теплого субтропічного поясів – сіро-бурі ґрунти і сіроземи. Виняток становлять дернові ґрунти мерзлотно-тайгової зони, де накопичується кислий гумус. У зв'язку з цим ґрунти набувають кислої реакції. Болотна рослинність представлена, в основному, мохами, які мають високу вологоємкість. Вона зумовлює утворення в певних умовах рельєфу болотних ґрунтів.

Різні, навіть незначні зміни в характері рослинності різко відбиваються на ґрунтовому покриві. Так, поява мохів на луках швидко призводить до заболочення ґрунтів; заселення луків кущами сприяє опідзоленню: зміна болотної рослинності лучними травами (при осушенні) зумовлює перехід болотного ґрунту в перегнійно-лучний тощо.

Велику роль у формуванні ґрунтів відіграє також **тваринний світ**. У ґрунтах живе багато комах і їх лялечки, різні види червів, гризуни, а іноді і великі ссавці. Всі вони беруть участь у процесі ґрунтоутворення. Комахи та їх лялечки ретельно подрібнюють рослинний опад, готуючи його до наступної переробки мікроорганізмами. Цим вони прискорюють процес мінералізації органічних решток, а разом крізь тим і процес накопичення гумусу. Дощові черви, пропускаючи ґрунт через свій кишковий тракт, склеюють його в грудочки, сприяючи цим самим утворенню структури. Трупи тварин, що розкладаються в ґрунті, також є джерелом для накопичення гумусу, багатого на Нітроген. У пустелях, де рослинність дуже бідна, а тварин, що живуть у ґрунті, багато, це джерело може стати основним.

Істотне значення в ґрунтоутворенні має **рельєф місцевості.** Рельєф видозмінює кліматичні умови, створює на різних своїх елементах різний

мікроклімат. Так, на південних схилах сніг тане швидше, ніж на плато і на схилах північної експозиції. До моменту зникання снігу ґрунт тут ще не відтанув і тому значна частина снігових вод стікає по схилу, не просочуючись в землю. Південні схили більше прогріваються і швидше висихають. Отже, мікроклімат їх сухіший і тепліший. Тому і ґрунти вище закипають, менш вилуговані, містять менше гумусу, ніж ґрунти навколишніх плато. Протилежна картина спостерігається на північних схилах. Води, що стікають по схилах, збираються на знижених елементах рельєфу, зволожують річкові долини, днища балок. Тут нерідко утворюються болотні ґрунти і торфовища.

У створенні мікроклімату відіграє роль не лише макро-, а й мікрорельєф. Особливу роль відіграє мікрорельєф у посушливих областях. Найменші нерівності поверхні дуже впливають на ступінь зволоженості ґрунтів. У западинах відбувається вилуговування, а сухі горби є ніби ґнотами, що тягнуть вологу вгору, зумовлюючи засоленість і утворення солончаків. Добре розвинений мікрорельєф у напівпустелі є однією з найголовніших причин надзвичайної строкатості ґрунтового покриву.

Характер ґрунтів великою мірою залежить і від **властивостей материнської породи.** Ґрунт успадковує від породи насамперед її механічний склад. У свою чергу, механічний склад сприяє створенню в ґрунті того чи іншого водного режиму. Так, піщані ґрунти легко промиваються, глинисті – легко заболочуються тощо. Механічний склад має велике значення і в питаннях родючості ґрунтів, оскільки впливає на їх водний режим і забезпечення елементами живлення.

Вік ґрунту впливає на його склад та родючість. За 100 років утворюється 0,5–2 см ґрунту.

РОЗДІЛ 3
ОСНОВНІ МОРФОЛОГІЧНІ ОЗНАКИ ГЕНЕТИЧНИХ ГОРИЗОНТІВ

Поняття про ґрунтовий профіль і профільний метод вивчення ґрунтів у кінці XIX століття ввів у науку В. В. Докучаєв.

Ґрунтовий профіль – це певне вертикальне чергування генетичних горизонтів у межах ґрунтового індивідуума. Основними складовими частинами ґрунтового профілю є генетичні горизонти.

У сучасному ґрунтознавстві **під генетичними горизонтами розуміють однорідні, зазвичай паралельні шари ґрунту, які сформувались у процесі ґрунтоутворення, що різняться між собою морфологічними ознаками, складом і властивостями.**

Профіль ґрунту характеризує зміну його властивостей по вертикалі. Залежно від напрямку ґрунтоутворення спостерігається закономірний розподіл і зміна гранулометричного, мінералогічного та хімічного складу, фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунтового тіла від поверхні до підстилаючої породи. Ці зміни можуть бути поступовими, що відображаються плавним ходом профільної кривої, а також різкими, з декількома максимумами та мінімумами.

З чим пов’язане явище диференціації вихідної ґрунтотворної породи на генетичні горизонти та формування з їх послідовності профілю в цілому? Головними чинниками цього процесу є вертикальні потоки речовин та енергії (причому як висхідні, так і низхідні), а також відповідний розподіл живої речовини (кореневих систем, тварин і мікроорганізмів).

Будова ґрунтового профілю специфічна для кожного типу ґрунту, тому служить його основною діагностичною характеристикою. Генетична цілісність, єдність ґрунтового профілю – основна властивість ґрунтового тіла, що формується в процесі педогенезу з ґрунтотворної породи як єдине ціле, що розвивається у часі в єдності його генетичних горизонтів.

Щоб вивчити профіль ґрунту та ознаки його генетичних горизонтів, треба викопати яму 1,5–2 м завглибшки з вертикальною стіною (рис. 1.4), на якій помітні окремі горизонти.

За ознаками окремих генетичних горизонтів визначають тип ґрунту, що дає певне уявлення про його родючість, походження, агрономічні властивості тощо.

Під час вивчення ґрунтів виникла потреба умовного позначення генетичних горизонтів. В. В. Докучаєв позначив їх індексами, використовуючи для цього букви латинського алфавіту: А – верхній гумусовий, або акумулятивний, горизонт; В – перехідний горизонт, що лежить безпосередньо під горизонтом А, і горизонт С – (порода), на якій утворився ґрунт.

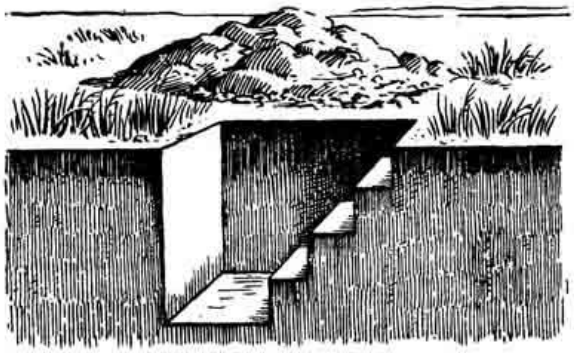


Рис. 1.4. ***Яма для дослідження ґрунтових горизонтів***

В окремих генетичних горизонтах часто виділяють ще й підгоризонти (A_1, A_2 або B_1, B_2, B_3).

В Україні генетичні горизонти позначають індексами, запропонованими акад. О. Н. Соколовським та його учнями (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Індекси генетичних горизонтів ґрунту

Назва горизонтів	**За системою В. В. Докучаєва**	**За системою О. Н. Соколовського**	**Коротка характеристика**
1	**2**	**3**	**4**
Торф'яний	*a_m*	*Т*	Формується на поверхні в умовах постійного надмірного зволоження
Торф'яний мінералізований	*a_m*	*ТС*	Орний торф'яний горизонт, змінений осушенням і обробітком
Лісова підстилка або степова повсть	Ао	*Но, Нл, Нс*	Шар відмерлих органічних решток рослин і тварин
Дерновий	*Ad*	*Нd*	Формується під трав'янистою рослинністю, половину і більше об'єму становлять корені рослин
Перегнійний або торфово-перегнійний	*А*	*ТН*	Гумусно-акумулятивний, вміст органічної речовини 15–35 %, мулуватий, чорний, постійно або періодично насичений водою

Добавлено примечание ([v1]):

Продовження таблиці

1	2	3	4
Гумусний	*A; A_1*	*H*	Гумусно-акумулятивний горизонт з вмістом органічних речовин до 15 %
Орний	*$A_{ОРН}$*	*H*	Поверхневий гумусний горизонт, змінений обробітком
Елювіальний	*A_2*	*E*	Освітлений, білястий, розташований під гумусним горизонтом (підзолистий, осолоділий та ін.)
Ілювіальний (перехідний)	*B (B_1, B_2, B_3)*	*I*	Глинисто-ілювіальний *(Bt)*, залізисто-ілювіальний *(Bf)*, гумусо-ілювіальний *(Bh)*, сольовий *(Bsa)*, гіпсовий *(Bcs)* та ін.
Глейовий	*G*	*Gl*	Формується в умовах постійного надмірного зволоження, має сизе або оливкове забарвлення, іноді з іржавими плямами
Солонцевий	*B_1*	*Sl*	Характерний для солонців, має високий вміст обмінного Na^+
Карбонатний	*Bк*	*Iк, Pк*	
Материнська порода	*C*	*P*	

Часто один горизонт позначають двома або трьома індексами, наприклад, Нр, Нс, Рк або Рі та ін. При цьому основний показник ставлять першим, а другий пишуть з малої літери.

Наведені індекси дають уявлення про тип ґрунту, його генетичні горизонти і ті ознаки, якими він відрізняється від інших типів ґрунтів.

Кожний горизонт має певну товщину, що вимірюється в сантиметрах, а товщина всіх горизонтів до ґрунтотворної породи становить глибину (товщину) профілю даного ґрунту. Глибина кожного горизонту в одній і тій самій відміні ґрунту може бути різна. Наприклад, гумусовий горизонт (Н) у чорноземах буває від 25 до 125 см і більше.

Глибина профілю різних ґрунтів залежно від процесу ґрунтоутворення і стадії розвитку ґрунту буває від 20 см (ґрунти пустель) до 200 або й 250 см (чорноземи).

3.1. Забарвлення ґрунту

Забарвлення ґрунту – це найбільш доступна і, перш за все, помітна морфологічна ознака, суттєвий показник належності ґрунту до того чи іншого типу, що визначається кольором тих речовин, з яких він складається, а також гранулометричним складом, фізичним станом і ступенем зволоження.

Багато ґрунтів одержали назву відповідно до свого забарвлення – підзол, чорнозем, бурозем, сірозем, червонозем, каштановий, коричневий тощо. Ці назви відомі науковцям усього світу. Вони увійшли у термінологічний апарат світового ґрунтознавства.

Забарвлення ґрунту та його окремих горизонтів може дати багато для розуміння суті процесів, що відбуваються у ґрунті, його генезису (походження), оскільки воно відображає хімічний склад твердої фази. Ця морфологічна ознака має велике агрономічне значення. Практики-землероби знають, що родючість ґрунту залежить від багатства його на гумус, а значить – від наявності та інтенсивності чорного або темно-сірого кольору.

За С. О. Захаровим, найбільш важливими для забарвлення ґрунту є такі три групи сполук: 1) гумус; 2) сполуки Феруму; 3) силікатна кислота, $CaCO_3$ та каолін.

Гумусові речовини в більшості випадків зумовлюють чорне, темно-сіре, сіре забарвлення ґрунту. Часом чорне забарвлення може бути зумовлене й іншими причинами: невеликими плямами (пунктуаціями) оксидів і гідроксидів мангану (підзолисті ґрунти), ферум (II) сульфіту (болотні ґрунти), материнської породи (юрські глини, вуглисті сланці).

Ферум (III) оксид надає ґрунтові червоного, брудно-помаранчевого та жовтого кольору. Зі сполук Fe^{3+} найбільшу роль у забарвленні відіграють його безводні та водні оксиди.

Сполуки Ферум (II) оксид надають ґрунтові сизуватих, зеленуватих, голубуватих тонів (вівіаніт $Fe_3(PO_4)_2 \cdot H_2O$ в болотних ґрунтах). Кремнезем (SiO_2), кальцій карбонат ($CaCO_3$), каолініт ($H_2Al_2Si_2O_4 \cdot H_2O$ зумовлюють білий та білястий колір. У деяких випадках помітну роль у білястих відтінках відіграють гіпс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), легкорозчинні солі (NaCl, Na_2SO_4 та інші).

Різне співвідношення вказаних груп речовин визначає велику різноманітність ґрунтових кольорів, відтінків, зведених С. О. Захаровим в одну схему (рис. 1.5).

На забарвлення впливає структурний стан ґрунту. Агрегати, що знаходяться в грудкуватому, зернистому або глинистому стані, здаються темнішими, ніж безструктурні. Великий вплив на забарвлення має вологість ґрунту, вологі ґрунти здаються темнішими.

Забарвлення ґрунтів важко охарактеризувати одним кольором, тому треба вказувати ступінь та інтенсивність кольору (наприклад, світло-бурий, темно-бурий), відмічати відтінки (білястий з жовтуватим відтінком),

називати проміжні тони (коричнево-сірий, сіро-бурий). У ґрунтознавстві прийнято домінуючу ознаку вказувати останньою. При неоднорідному забарвленні горизонтів їх характеризують як пістряві або плямисті. При цьому визначають основний тон забарвлення й колір плям.

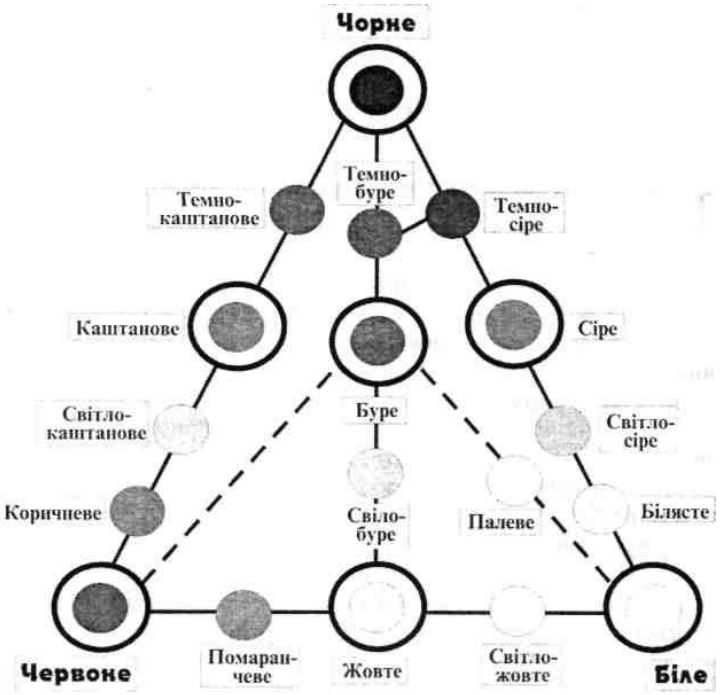


Рис. 1.5. ***Типи забарвлення ґрунтів (трикутник Захарова)***

3.2. Структура ґрунту

Структура – це відмінності (агрегати), на які може розпадатися ґрунт.

Агрегати складаються зі з'єднаних між собою механічних елементів. Форми, розміри і якісний склад структурних відмінностей у різних ґрунтах і горизонтах неоднаковий. Розрізняють, за С. О. Захаровим, три основні типи структури, кожен з яких ділиться на дрібніші одиниці (табл. 1.2, рис. 1.6). Ґрунт може бути структурним і безструктурним. При структурному стані маса ґрунту розділена на відмінності тієї чи іншої форми та величини. При безструктурному стані окремі механічні елементи, що складають ґрунт, не з'єднані між собою, а існують окремо або залягають суцільною зцементованою масою.

Таблиця 1.2

Класифікація структурних агрегатів (за С. О. Захаровим)

Рід		Вид	Розмір, мм
Назва	**Ознаки**		
1 тип. КУБОПОДІБНА – рівномірний розвиток агрегатів по трьох осях			
1. Брилиста	Неправильна форма і нерівна поверхня	1. Крупнобрилиста	>100
		2. Дрібнобрилиста	100–10
2. Грудкувата	Неправильна округла форма, нерівні округлі і жорсткі поверхні розлому, грані не виражені	3. Крупногрудкувата	100–30
		4. Грудкувата	30–10
		5. Дрібногрудкувата	10–2,5
		6. Пилувата	<2,5
3. Горіхувата	Майже правильна форма, грані добре виражені, поверхня рівна, ребра гострі	7. Крупногоріхувата	>10
		8. Горіхувата	10–7
		9. Дрібногоріхувата	7–5
4. Зерниста	Майже правильна форма, інколи – округла з вираженими гранями або жорсткими і матовими, або гладкими й блискучими	10. Крупнозерниста	5–3
		11. Зерниста	3–1
		12. Дрібнозерниста (порохувата)	1–0,5
II тип. ПРИЗМОПОДІБНА – розвиток агрегатів переважно по вертикальній осі			
5. Стовпоподібна	Відмінності слабо оформлені, з нерівними гранями й заокругленими ребрами	13. Крупностовпоподібна	>50
		14. Стовпоподібна	50–30
		15. Дрібностовпоподібна	<30
6. Стовпчаста	Правильної форми з добре вираженими вертикальними гранями, округлою верхньою основою і плоскою нижньою	16. Крупностовпчаста	50–30
		17. Дрібностовпчаста	<30
7. Призматична	Грані добре виражені з рівною глянцюватою поверхнею	18. Крупнопризматична	50–30
		19. Призматична	30–10
		20. Дрібнопризматична	10–5
		21. Тонкопризматична	<5
		22. Олівцева (при довжині > 50 мм)	<10
III тип. ПЛИТОПОДІБНА – розвиток агрегатів переважно по горизонтальній осі			
8. Плитчаста	Досить розвинуті "поверхні спайності" по горизонталі	23. Сланцювата	>5
		24. Плитчаста	5–3
		25. Пластинчата	3–1
		26. Листова	<1
9. Лускувата	Порівняно невеликі горизонтальні "площини спайності" й часто гострі грані	27. Шкаралупувата	>3
		28. Груболускувата	3–1
		29. Дрібнолускувата	<1

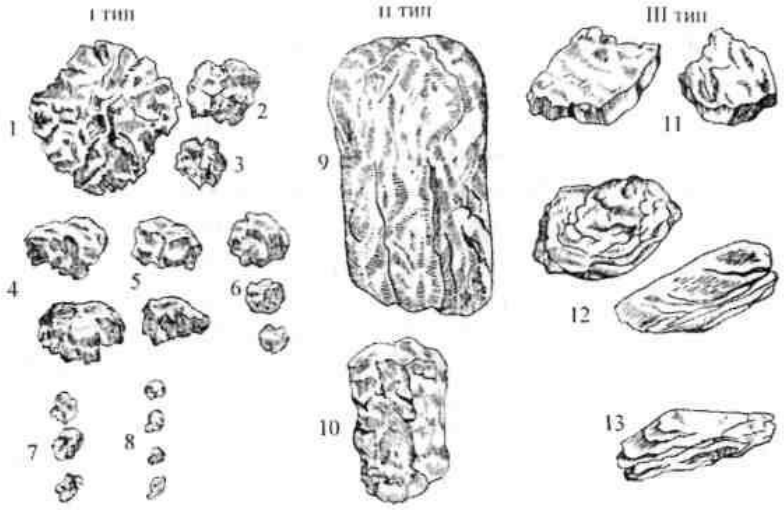


Рис. 1.6. ***Найголовніші види структури ґрунту (за С. О.З ахаровим): I тип: 1 – крупногрудкувата; 2 – грудкувата; 3 – дрібногрудкувата; 4 – крупногоріхувата; 5 – горіхувата; 6 – дрібногоріхувата; 7 – крупнозерниста; 8 – зерниста; II тип: 9 – стовпчаста; 10 – призматична; III тип: 11 – сланцювата; 12 – пластинчата; 13 – листова***

Структурні відмінності в горизонті не бувають одного розміру і форми. Частіше структура буває змішаною, при описі зазначають це двома або трьома словами в послідовності зростання кількості відповідних агрегатів: грудкувато-зерниста, грудкувато-пластинчато-пилувата тощо.

Для різних генетичних горизонтів ґрунтів характерні певні форми структури: грудкувата, зерниста – для дернових, гумусових горизонтів, пластинчато-лускувата – для елювіальних, горіхувата – для ілювіальних у сірих лісових ґрунтів тощо.

При оцінюванні ґрунтової структури потрібно відрізняти морфологічне поняття структури від агрономічного. В агрономічному розумінні оптимальною є тільки грудкувато-зерниста структура розміром від 0,25 до 10 мм.

3.3. Гранулометричний склад ґрунту

Первинні ґрунтові часточки, представлені мінеральними зернами, органічними та органо-мінеральними гранулами, що вільно суспендуються у воді після руйнування клейких матеріалів, називаються механічними (*гранулометричними) елементами або елементарними ґрунтовими частинками (ЕҐЧ).*

Гранулометричний склад переважної більшості ґрунтів приблизно на 90 % представлений ЕҐЧ мінеральної природи. ЕҐЧ можуть мати будь-яку

геометричну форму: шар, куб, призма тощо. Умовно форму їх приймають за кулеподібну, враховуючи так званий ***ефективний діаметр.*** Механічні частинки приблизно однакового діаметра об'єднують у фракції, оскільки вони мають подібні властивості. У ґрунтознавстві відомо кілька класифікацій механічних елементів, проте загальновизнаною є класифікація М. О. Качинського, яку широко використовують у навчальній і науковій літературі (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Класифікація елементарних ґрунтових частинок (за М. О. Качинським)

Назва фракції механічних елементів	Розмір механічних елементів, мм
Каміння	>3
Гравій	3–1
Пісок крупний	1–0,5
Пісок середній	0,5–0,25
Пісок дрібний	0,25–0,05
Пил крупний	0,05–0,01
Пил середній	0,01–0,005
Пил дрібний	0,005–0,001
Мул грубий	0,001–0,0005
Мул тонкий	0,0005–0,0001
Колоїди	<0,0001

Крім того, М. М. Сибірцев усі механічні елементи ґрунту поділив на дві групи фракцій: ***фізичний пісок*** (>0,01 мм) і ***фізичну глину*** (<0,01 мм), відокремивши в складі ЕҐЧ скелет (часточки крупніші 1 мм) і дрібнозем (менші 1 мм).

Кожна фракція має певні характерні властивості, по-різному впливає на властивості ґрунтів, що пояснюється неоднаковим мінералогічним і хімічним складом, фізичними та фізико-хімічними її властивостями.

Фракція ***каміння*** представлена переважно уламками гірських порід. Каменястість – явище незадовільне, оскільки наявність у ґрунті значної кількості включень літогенного походження призводить до збільшення енергетичних затрат ґрунтової біоти на їх огинання при рості чи русі, а також до ускладнення його обробітку та прискорення зносу сільськогосподарських знарядь. За ступенем каменястості ґрунти поділяють на некам'янисті – вміст каміння не перевищує 0,5 %, слабокам'янисті – 0,5–5 %, середньокам'янисті – 5–10 %, сильнокам'янисті – понад 10 %. За типом каменястості ґрунти можуть бути валунні, галечникові та щебенюваті.

Гравій – складається з уламків первинних мінералів. Високий вміст гравію в ґрунтах не впливає на обробіток, але створює несприятливі властивості, такі як низька вологоємність, провальна водопроникність і відсутність водопідйомної здатності.

Піщана фракція – складається з уламків первинних мінералів, перш за все кварцу та польових шпатів. Ця фракція має високу водопроникність, не набухає, не пластична, а також має певну вологоємність та капілярність. На ґрунтах із великим вмістом цієї фракції та за інших сприятливих умов добре розвивається фітоценоз із підвищеною вимогливістю до повітряного та теплового режиму, зокрема непогані врожаї дає картопля.

Крупнопилувата фракція мало чим відрізняється від піску, тому її властивості дуже схожі. Проте ***середньопилувата*** фракція збагачена слюдами, що значно підвищує пластичність і зв'язність. **Середній пил** дисперсніший, ліпше утримує вологу, але має слабку водопроникність, нездатний до коагуляції та не бере участі у структуроутворенні і фізико-хімічних ґрунтових процесах. Як наслідок, ґрунти, збагачені цими фракціями, будуть мати відповідні властивості. ***Пил дрібний –*** досить високодисперсна фракція, що складається з первинних і вторинних мінералів. Здатна до коагуляції, бере участь у структуроутворенні, має поглинальну здатність, містить значну кількість гумусових речовин. Велика кількість неагрегованого дрібного пилу в ґрунтах спричиняє такі негативні властивості, як низька водопроникність, значна кількість недоступної вологи, висока здатність до набухання й усадки, липкість, тріщинуватість, висока щільність складення.

Мул складається переважно з високодисперсних вторинних мінералів. Із первинних подекуди зустрічаються кварц, ортоклаз, мусковіт. Мулиста фракція займає провідне місце у формуванні фізико-хімічних властивостей ґрунтів. Мул містить значну кількість гумусу та елементів живлення для рослин. Ця фракція відіграє провідну роль у структуроутворенні. Має високу ємність поглинання та коагуляційну здатність. Проте надвисокий вміст мулу в ґрунтах є причиною погіршення їх фізичних властивостей.

Колоїдна частина – найважливіша з точки зору формування обмінних властивостей та структури ґрунту.

Кількісне визначення механічних елементів називають ***гранулометричним аналізом.*** Під ***гранулометричним (механічним) складом*** ґрунтів і ґрунтоутворюючих порід розуміють відносний вміст фракцій механічних елементів. В основу класифікації ґрунтів за механічним складом покладено співвідношення фізичного піску і фізичної глини. Найдосконалішою в наш час є класифікація М. О. Качинського (табл. 1.4).

Згідно з даною класифікацією, ґрунт має основну назву за вмістом фізичного піску і фізичної глини і додаткову за вмістом фракції, що переважає: гравійної (3–1 мм), піщаної (1–0,05 мм), крупнопилуватої (0,05–0,01 мм), пилуватої (0,01–0,001 мм) і мулистої (0,001 мм). Наприклад, дерново-середньопідзолистий ґрунт на морені містить фізичної глини 24,0 %, піску 42,6 %, крупного пилу 33,4 %, середнього пилу 6,57 % і дрібного 9,6 %. Основною назвою гранулометричного складу даного ґрунту буде легкосуглинковий, додатковою – крупнопилувато-піщаний.

Таблиця 1.4

Класифікація ґрунтів і порід за гранулометричним складом (за М. О. Качинським)

НАЗВА ҐРУНТУ ЗА ГРАНСКЛАДОМ	ВМІСТ ФІЗИЧНОЇ ГЛИНИ (частинок, менших 0,01 мм)		
	ҐРУНТИ		
	Підзолистого типу ґрунтоутворення (не насичені основами)	Степового типу ґрунтоутворення, чорноземи, жовтоземи, дернові, пустельні	Солонці й сильно-солонцюваті
Пісок пухкий	0–5	0–5	0–5
Пісок зв'язний	5–10	5–10	5–10
Супісок	10–20	10–20	10–15
Суглинок легкий	20–30	20–30	15–20
Суглинок середній	30–40	30–45	20–30
Суглинок важкий	40–50	45–60	30–40
Глина легка	50–65	60–75	40–50
Глина середня	65–80	75–85	50–65
Глина важка	80–100	85–100	65–100

Класифікація складена з урахуванням генетичної природи ґрунтів та здатності їх глинистої фракції до агрегування, що залежить від вмісту гумусу, складу обмінних катіонів, мінералогічного складу. Чим вища ця властивість, тим слабше проявляються глинисті властивості при рівному вмісті фізичної глини. Тому степові ґрунти, червоноземи та жовтоземи, як більш структурні, переходять у категорію більш важких при вищому вмісті фізичної глини, ніж солонці та ґрунти підзолистого типу.

Кожний тип ґрунту характеризується своїм специфічним профільним розподілом фракцій, особливо тонкодисперсних. Наприклад, у підзолистих, дерново-підзолистих ґрунтів, солонців – елювіально-ілювіальний тип розподілу; у чорноземів, дернових ґрунтів – рівномірно-акумулятивний тощо.

Гранулометричний склад ґрунту має важливе значення в педогенезі, у формуванні родючості ґрунту. Від нього залежать водні, теплові, повітряні, загальні фізичні й фізико-механічні властивості ґрунту. Механічний склад ґрунту зумовлює окисно-відновні умови, величину ємності вбирання, перерозподіл у ґрунті зольних елементів, накопичення гумусу тощо. Інтенсивність багатьох ґрунтотворних процесів залежить від гранскладу: на піщаних породах вона незначна, на суглинкових – досить висока. Від гранскладу залежать умови укорінення фітоценозу та чисельність риючої фауни, а також спосіб обробітку ґрунту, строки польових робіт, норми добрив, розміщення сільськогосподарських культур. Наприклад, легкі (піщані та супіщані) ґрунти легко піддаються обробітку, швидко прогріваються, мають добру водопроникність та повітряний режим. Але мають низьку вологоєм-

ність, бідні на гумус і елементи живлення, мають незначну поглинальну здатність, піддаються вітровій ерозії. Важкі (важкосуглинкові й глинисті) ґрунти мають високу зв'язність й вологоємність, краще забезпечені поживними речовинами та гумусом. Безструктурні важкі ґрунти мають несприятливі фізичні й фізико-хімічні властивості: слабку водопроникність, здатність запливати й утворювати кірку, високу щільність і т. п. Найкращими з цієї точки зору є суглинкові ґрунти.

3.4. Складення ґрунту

Складення – це зовнішнє вираження щільності та пористості ґрунту. Воно залежить від гранулометричного складу, структури, а також діяльності ґрунтової фауни, розвитку кореневих систем рослин і т. ін.

За ***ступенем щільності*** ґрунти поділяються на ***злиті*** (дуже щільні), ***щільні, пухкі*** та ***розсипчасті.***

Злитий стан характеризується дуже щільним приляганням часток, які утворюють здебільшого зцементовану масу; ніж у неї входить важко, його можна тільки увігнати. Характерний для ілювіальних горизонтів солонців і зцементованих озалізнених горизонтів підзолистих ґрунтів. Щільний стан (консистенція) потребує значних зусиль для вдавлювання ножа в ґрунт. Вона типова для ілювіальних горизонтів суглинкових і глинистих ґрунтів. Пухка консистенція спостерігається в добре оструктурених гумусових горизонтах, а також в орних, якщо ґрунт обробляли в стиглому стані. Розсипчаста консистенція характерна для орних горизонтів, піщаних і супіщаних ґрунтів, у яких частинки ґрунту не зв'язані між собою.

Пористість (шпаруватість) характеризується формою та величиною пор усередині структурних відмін та між ними. За розташуванням пор усередині структурних відмін розрізняють такий стан ґрунту:

1) ***тонкопористий –*** ґрунт пронизаний порами діаметром менше 1 мм;
2) ***пористий –*** ґрунт містить пори діаметром 1–3 мм;
3) ***губчастий –*** зустрічаються пустоти розміром від 3 до 4 мм;
4) ***ніздрюватий –*** є пустоти діаметром 5–10 мм;
5) ***комірчастий –*** пустоти перевищують 10 мм;
6) ***трубчастий –*** пустоти у вигляді каналів, проритих землерийками.

Залежно від геометрії порового простору одні й ті ж типи ґрунтів можуть мати дещо неоднакові водно-повітряні властивості. Це пов'язано з тим, що в більш крупних за розміром порах зосереджується повітря, а в дрібних, які ще називаються капілярами – вода. Оптимальні умови складаються, коли в едафотопі поровий простір гармонійно розподілений за розміром: і крупних, і дрібних пустот удосталь.

Складення – важливий показник агрономічної оцінки ґрунту, від якого залежить можливість обробітку сільськогосподарськими знаряддями, а також проникнення води та коренів рослин на потрібну глибину.

3.5. Новоутворення і включення

Новоутворення – це нагромадження речовин різної форми й хімічного складу, які формуються і відкладаються в горизонтах ґрунту в процесі ґрунтоутворення.

Хімічні новоутворення за формою поділяються на такі групи:

1) ***вицвіти та нальоти –*** хімічні речовини виступають на поверхні ґрунту або на стінці розрізу у вигляді тонесенької плівки;

2) ***кірки, примазки, патьоки –*** виступають на поверхні ґрунту або по стінках тріщин і утворюють шар невеликої товщини;

3) ***прожилки та трубочки –*** речовини займають ходи черв'яків або коренів, пори та тріщини ґрунту;

4) ***конкреції та стягнення –*** скупчення різних речовин більш-менш округлої форми;

5) ***прошарки –*** речовини накопичуються у великих кількостях, насичуючи окремі шари ґрунту.

За складом хімічні новоутворення бувають:

1) ***легкорозчинні солі*** (NaCl, $CaCl_2$, Na_2SO_4 та інші). Вони трапляються в засолених ґрунтах в умовах степу, пустелі. Найбільш характерні їх форми – нальоти, вицвіти, білі кірки та примазки, крупинки та окремі кристалики солей;

2) ***гіпс*** ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Також зустрічається в засолених ґрунтах. Білого й жовтуватого кольору, у вигляді окремих прожилок, псевдоміцелію (густої сітки дуже тоненьких прожилків), конкрецій, іноді – шкоринки або вицвіту на поверхні ґрунту. Характерний для каштанових, бурих напівпустельних, засолених ґрунтів, сіроземів;

3) ***вапно*** ($CaCO_3$) – білого кольору, зустрічається в дуже різноманітних формах у товщі профілю. До найбільш розповсюджених відносять плями й вицвіти розпливчастої форми; плісняву зі скупчень дуже тонких кристалів; білоочки – яскраві, компактні, різко окреслені плями; прошарки й псевдоміцелій по тонких порах ґрунту; трубочки з маси кристалічного або борошнистого вапна по ходах коренів; конкреції; прошарки лугового мергелю, що можуть досягати декілька десятків сантиметрів у товщину. Розрізняються за скипанням з 10 %-ним розчином HCl. Характерні для чорноземів, каштанових, бурих напівпустельних, засолених та низки інших ґрунтів;

4) ***гідроксиди:*** феруму (III), алюмінію, мангану у комплексі **з** органічними речовинами й сполуками фосфору – іржаво-бурого, кавового або чорного кольору. Основні форми – натікання (плівки, примазки), плями розпливчастої форми, конкреції, трубочки, ортзанди (тонкі ниткоподібні прошарки) у піщаних ґрунтах; ортштейни (більш потужні прошарки, які цементують масу ґрунту). Характерні для підзолистих, дерново-підзолистих, заболочених і болотних ґрунтів;

5) ***сполуки феруму (II)*** ($FeCO_3$, $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$) – блакитного, сизуватого або зеленкуватого кольору. Форми – розпливчасті плями та вицвіти в болотних і заболочених ґрунтах. На свіжих зразках вирізняються легко, а

на висушених зникають, тому що окиснюються на повітрі до бурого кольору;

6) ***кремнезем*** (SiO_2) – білястого кольору, утворює присипку на поверхні структурних відмін. Характерний для сірих лісових ґрунтів, опідзолених чорноземів, солодей. Розпізнається важко, рекомендується розламати структурну відміну і порівняти колір її поверхні та внутрішньої маси;

7) ***гумусові речовини*** – чорного або темно-бурого кольору, утворюють патьоки, надаючи агрегатам глянцюватого вигляду. Зустрічаються в середній частині профілю підзолистих і солонцюватих ґрунтів, солонців, солодей та інших ілювійованих ґрунтів.

Серед ***біологічних новоутворень*** у ґрунтах зустрічаються:

1) ***копроліти*** – екскременти червів і личинок комах, частинки ґрунту, що пройшли через їх органи травлення. Мають вигляд добре склеєних водостійких однорідних грудочок ґрунту, зустрічаються в пустотах, проробленних тваринами, і на поверхні ґрунту, характерні для багатих на фауну ґрунтів;

2) ***кротовини*** – ходи землерийок, засипані масою ґрунту, являють собою великі плями округлої або овальної форми, що за кольором і станом різко відрізняються від іншої маси горизонту, типові для чорноземів;

3) ***кореневини –*** сліди зігнилих великих коренів дерев, характерні для лісових ґрунтів;

4) ***червоточини*** – хвилясті ходи-канальці дощових червів, зустрічаються в багатьох ґрунтах;

5) ***дендрити*** – відбитки дрібних коренів на поверхні структурних відмін, часто забарвлені в темний колір за рахунок гумусу, утвореного при розкладі коренів, зустрічаються в різних ґрунтах.

На відміну від новоутворень, **включення** – це сторонні тіла у профілі ґрунту, присутність яких не пов’язана з процесом ґрунтоутворення.

До включень належать:

1) ***літогенні*** (кам’янисті) включення – уламки гірських порід;

2) ***біогенні*** – залишки тварин і рослин у вигляді мушель, кісток, коренів, шматочків листя, хвої;

3) ***антропогенні*** – уламки цегли, черепки посуду і т. ін., зумовлені діяльністю людини.

У промерзаючих ґрунтах можливе виділення ***кріогенних*** (крупні кристали льоду) включень.

РОЗДІЛ 4
ОРГАНІЧНА РЕЧОВИНА ҐРУНТУ

4.1. Фази ґрунту

Як ми вже зазначали, ґрунт – багатофазне полідисперсне природне тіло. Фаза – сукупність однорідних за складом матеріальних комплексів, які входять до складу системи. Дисперсна природа ґрунтів зумовлює наявність між "каркасними" частинками пустот або пор, що заповненні водою чи повітрям, чи одночасно тим і іншим. У ґрунтознавстві ці компоненти прийнято називати фазами.

Тому можна стверджувати, що ґрунтова вода з розчиненими у ній речовинами є **рідкою фазою.** Ґрунтове повітря буде називатись **газовою фазою**. Тверді частинки об'єднуються за своїми подібними властивостями щодо густини та твердості у **тверду фазу**.

Тверда фаза ґрунту – це його основа (матриця), яка формується в процесі ґрунтоутворення з материнської гірської породи, значною мірою зберігає її склад та властивості. Це полідисперсна й полікомпонентна система, що утворює твердий каркас ґрунту. Вона складається з первинних і вторинних мінералів, органічних залишків, частково розкладених і перетворених на гумус. Показниками, які характеризують тверду фазу, а як наслідок і ґрунт, є механічний, хімічний і мінералогічний склад, складення, структура й пористість. Тверда фаза, в свою чергу, складається з мінеральної та органічної частин. Особливо велике значення в ґрунтоутворенні має органічна частина ґрунту – органічні речовини. Як зазначалось вище, до складу органічної речовини ґрунту входять органічні рештки, продукти їх розкладу, неспецифічні органічні речовини та власне гумус. Неспецифічні органічні сполуки – це цукри, амінокислоти, білки, органічні основи, дубильні речовини, органічні низькомолекулярні кислоти тощо. У більшості ґрунтів вони складають одиниці процентів від загального вмісту органічної речовини.

Рідка фаза ґрунту (ґрунтовий розчин) – це вода в ґрунті з розчиненими мінеральними й органічними сполуками. Це динамічна фаза, яка має дуже важливе значення для ґрунтоутворення. Під її впливом відбуваються майже всі елементарні ґрунтові процеси. Г. М. Висоцький назвав ґрунтовий розчин "кров'ю землі". Вона заповнює весь поровий простір. Вміст і властивості ґрунтового розчину залежать від водно-фізичних властивостей ґрунту та його стану на даний момент згідно з умовами ґрунтового та атмосферного зволоження за даної погоди.

Газова фаза ґрунту – це ґрунтове повітря, яке заповнює вільні від води пори. У зв'язку з біологічними процесами склад ґрунтового повітря відрізняється від атмосферного. Рідка й газова фази ґрунту є антагоніс-

тами, тому перебувають у динамічній рівновазі. Чим вологіший ґрунт, тим він менш аерований, і навпаки.

4.2. Джерела гумусу у ґрунті. Перетворення органічних речовин у ґрунті та процес гумусоутворення

Невід'ємною складовою частиною будь-якого ґрунту є органічна речовина, тобто сукупність живої біомаси й органічних решток рослин, тварин, мікроорганізмів, продуктів їх метаболізму і специфічних новоутворених темнозабарвлених гумусових речовин, що рівномірно пронизують ґрунтовий профіль. Складний комплекс органічних сполук ґрунту зумовлений різним складом органічних решток, що надходять у ґрунт, неоднаковою спрямованістю мікробіологічного процесу, різноманітними гідротермічними умовами тощо. У складі органічної речовини ґрунту знаходяться всі хімічні компоненти рослин, бактеріальної та грибної плазми, а також продуктів їх подальшої взаємодії й трансформації. Це тисячі сполук, середній час існування яких у ґрунті може варіювати від доби до тисяч років.

Джерелом гумусу є органічні рештки вищих рослин, мікроорганізмів і тварин, що живуть у ґрунті. Залишки зелених рослин надходять у ґрунт у вигляді наземного опаду та відмерлої кореневої системи рослин. Кількість органічної речовини, що надходить до ґрунту, різна і залежить від ґрунтово-рослинної зони, складу, віку та густоти насаджень, а також від ступеня розвитку трав'янистого покриву.

Найбільш суттєвим джерелом ґрунтової органіки є *рослинність,* яка мобілізує та акумулює в едафотопах запас потенційної енергії та біофільних елементів у надземних і підземних органах рослин, у їх рештках.

Продуктивність рослинності у різних екосистемах неоднакова: від 1–2 т/га н рік сухої речовини в тундрах до 30–35 т/га у вологих тропічних лісах. Під трав'янистою рослинністю основним джерелом гумусу є корені, маса яких у метровому шарі ґрунту складає 8–28 т/га (Степ). Трав'яниста рослинність у зоні хвойних та мішаних лісів (Полісся) на суходільних луках накопичує 6–13 т коренів на гектар у метровому шарі ґрунту, під багаторічними посівними травами – 6–15 т/га; однорічною культурною рослинністю – 3,1–15 т/га органічних решток. Під лісовою рослинністю рослинний опад утворює підстилку, участь коренів у гумусоутворенні незначна. По профілю вміст кореневих решток із глибиною зменшується. Ці залишки нерідко використовуються ґрунтовою фауною та мікроорганізмами, внаслідок чого відбувається трансформація органічної речовини у вторинні форми.

Хімічний склад органічних решток дуже різноманітний: вода (70–90 %), білки, ліпіди, лігнін, смоли, воски, дубильні речовини. Переважна більшість цих сполук високомолекулярні (мол. маса 10^4–10^6). Деревина розкладаєть-

ся повільно, тому що містить багато смол і дубильних речовин, які трансформуються лише специфічною мікрофлорою. Натомість дуже швидко розкладаються бобові трави, збагачені білками та вуглеводами. Зольних елементів у траві багато, а у деревних мало. В орних ґрунтах джерелом для гумусоутворення служать залишки культурних рослин і органічні добрива.

Значна роль у гумусоутворенні належить *ґрунтовій фауні,* яку за розмірами поділяють на чотири групи: мікро-, мезо-, макро-, мегафауну. Причому переважно саме мікро- та мезофауна беруть активну участь у переробці органічної речовини ґрунту, сприяючи цим гумусоутворенню.

Загальна біомаса мікроорганізмів у метровому шарі ґрунту складає до 10 т/га (приблизно 0,5–2,5 % від маси гумусу), їх залишки становлять близько третини залишків рослин. Біомаса водоростей – 0,5–1 т/га, а біомаса безхребетних – 12,5–15 т/га (більша частина цієї біомаси формується червами).

Хімічний склад живих організмів такий (в % до сухої речовини):

1) бактерії – зола 2–10 %, білки 40–70 %, ліпіди та дубильні речовини 1–40 %;

2) водорості – зола 20–30 %, целюлоза 5–10 %, геміцелюлоза 50–60 %, білки 10–15 %, ліпіди та дубильні речовини 1–30 %;

3) багаторічні трави – зола 5–10 %, целюлоза 25–40 %, геміцелюлоза 25–35 %, білки 5–12 %, лігнін 15–20 %, ліпіди та дубильні речовини 2–10 %;

4) листя дерев – зола 3–8 %, целюлоза 15–25 %, геміцелюлоза 10–20 %, білки 4–10 %, лігнін 20–30 %, ліпіди та дубильні речовини 5–15 %.

Від хімічного складу джерел залежить характер гумусоутворення та якість гумусу.

Потрапляючи до ґрунту, органічні рештки піддаються різним механічним, біохімічним і фізико-хімічним перетворенням. ***Першим етапом*** перетворень є розщеплення органічних залишків. Він відбувається за допомогою ґрунтової фауни, флори, мікроорганізмів. Органічні залишки при цьому втрачають свою анатомічну будову, складні органічні сполуки трансформуються в простіші і більш рухомі, тобто в проміжні продукти розщеплення. Ці процеси мають біокаталітичний характер, оскільки відбуваються за участю ферментів.

Перша фаза розкладу органічних залишків – їх фізичне руйнування, подрібнення. *Друга фаза* – гідроліз органічних речовин: білки, наприклад, розщеплюються на пептиди, а потім – на амінокислоти; вуглеводи, такі як целюлоза, крохмаль, – на моносахариди; уронові кислоти, жири – на гліцерин і жирні кислоти; лігнін, смоли, дубильні речовини – на ароматичні сполуки. *Третя фаза* розщеплення – окисно-відновні процеси, що за допомогою ферменту оксиредуктази викликають повну мінералізацію органічних речовин: відбувається дезамінування амінокислот, декарбоксилювання органічних кислот тощо.

Реакції дуже різноманітні, їх характер визначається умовами, складом органічного матеріалу. В аеробних умовах іде окиснення, в анаеробних – відновлення. У кінцевому вигляді амінокислоти мінералізуються до CO_2, H_2O, оксидів азоту в аеробних умовах, у вуглеводи – в анаеробних. Вуглеводи, приєднуючи кисень, перетворюються спочатку на органічні кислоти, альдегіди, спирти, потім – на CO_2 та H_2O, а при нестачі кисню відбувається їх бродіння й утворюються метан, спирт, низькомолекулярні органічні кислоти. Аналогічні перетворення до мінеральних речовин відбуваються з іншими проміжними продуктами розщеплення. Дуже швидко мінералізуються цукор, крохмаль, гірше – білки, целюлоза, погано – лігнін, смоли та воски.

Швидкість розщеплення органічних залишків зменшується в анаеробних умовах аж до повного припинення цього процесу й утворення торфу. Більшість органічних залишків окиснюються до вуглекислого газу та води. А менша частина проходить *другий етап* перетворень – *гуміфікацію,* тобто синтез гумусних речовини. Рівень гуміфікації органічних решток залежить від гідротермічного режиму, ботанічного та біохімічного складу решток, їх кількості.

Природа утворення гумусних речовин цікавила дослідників протягом усього періоду розвитку ґрунтознавства. За цей час було висунуто кілька гіпотез походження гумусу. Значний внесок у вивчення процесів гуміфікації зробили В. Р. Вільямс, Л. М. Александрова, І. В. Тюрін, М. М. Кононова, Д. С. Орлов, М. І. Лактіонов та ін.

На сьогодні найбільш поширеними є дві концепції гумусоутворення. *Конденсаційна (полімеризаційна)* – розроблена М. М. Кононовою, В. Фляйгом. Засновники теорії стверджують, що гумусові речовини – це продукт конденсації структурних фрагментів, які утворились в результаті первинного розкладу органічних сполук циклічного характеру (лігнін, дубильні речовини, смоли і т. п.). Одночасно відбувається полімеризація шляхом окиснення циклічних сполук ферментами типу фенолоксидаз через семихінони до хінонів і взаємодією останніх з амінокислотами та пептидами. На думку М. І. Лактіонова (1978), дискусійним залишається питання про участь в конденсації крупніших фрагментів лігніну та про подальше визрівання гумінових кислот як не тільки абіотичний процес. Такий підхід пояснює будову міцел гумусових сполук як колоїдних поверхнево-активних речовин: гідрофобне ядро органічного колоїду представлене агрегатом фенольної частини молекули, а зовнішня гідрофільна частина – амінокислотною (пептидною) частиною макромолекул. Переважаючими іоногенними групами на поверхні таких молекул будуть –COOH, $–NH_2$.

Концепція біохімічного окиснення розроблена Л. М. Александровою. За її визначенням, гуміфікація – складний біо-фізико-хімічний процес трансформації проміжних високомолекулярних продуктів розкладання органічних решток в особливий клас органічних сполук – гумусні кислоти. Провідне значення в процесі гуміфікації мають реакції повільного біохіміч-

ного окиснення, у результаті яких утворюється система високомолекулярних органічних кислот. Гуміфікація – тривалий процес, в результаті якого відбувається поступова ароматизація молекул гумусових кислот не за рахунок конденсації, а шляхом часткового відщеплення найменш стійкої частини макромолекули новоутвореної гумусової кислоти. Система гумусових кислот у подальшому вступає в реакцію із зольними елементами рослинних залишків і мінеральної частини ґрунту. При цьому єдина система поступово розщеплюється на декілька фракцій за молекулярною масою, деталями будови молекули, ступенем розчинності.

Установлено, що швидкість і спрямованість гуміфікації залежать від багатьох факторів. Основними серед них є кількість і хімічний склад рослинних решток, водний і повітряний режими, склад ґрунтових мікроорганізмів, реакція ґрунтового розчину, гранулометричний склад ґрунту тощо. Певне співвідношення даних факторів і їх взаємодія зумовлюють певний тип гуміфікації органічних решток: фульватний, гуматно-фульватний, фульватно-гуматний і гуматний.

Водно-повітряний режим ґрунту впливає на гуміфікацію так:

1) в аеробних умовах можливі такі варіанти: а) при достатній кількості вологи, температурі 25–30 °С розклад і мінералізація відбуваються інтенсивно, тому гумусу накопичується мало; б) при нестачі вологи утворюється мало органічної маси взагалі, сповільнюються її розклад і мінералізація, гумусу утворюється мало;

2) в анаеробних умовах при постійному надлишку води, а також при її нестачі уповільнюється розклад органічних залишків, у результаті діяльності анаеробних мікроорганізмів утворюються метан і водень, які пригнічують мікробіологічну активність, гумусоутворення дуже слабке, органічні залишки консервуються у вигляді торфу (болотні ґрунти);

3) чергування оптимальних гідротермічних умов із деяким періодичним висушуванням ґрунту – найбільш сприятливий варіант для гумусоутворення, відбувається поступовий розклад органічних залишків, достатньо енергійна гуміфікація, закріплення гумусу в засушливі періоди (чорноземи).

Характер рослинності є потужним фактором, що впливає на гумусоутворення. Оскільки трав’яниста рослинність щорічно відмирає, вона дає найбільший рослинний опад, в основному – безпосередньо в ґрунті у вигляді кореневих залишків, що сприяє швидкому з’єднанню продуктів їх розкладу з мінеральною частиною й захисту від надлишкової мінералізації – вміст гумусу в ґрунті збільшується. Хімічний склад трав’янистої рослинності, багатої на білки, вуглеводи, кальцій, сприяє її швидкому розщепленню, утворенню м’якого гумусу – найбільш цінного його типу. Дерев’яниста рослинність, збагачена восками, смолами, дубильними речовинами, які погано розкладаються переважно грибною мікрофлорою, сприяє накопиченню дуже кислих продуктів розщеплення решток, процеси йдуть переважно в лісовій підстилці, гумус утворюється грубий, накопичується у верхньому малопотужному горизонті.

Крім того, на гумусоутворення, його напрямок впливають кількість і склад мікроорганізмів, фізичні властивості, механічний та хімічний склад ґрунту. Найкращі умови створюються у ґрунтах, багатих на Са, які мають близьку до нейтральної реакцію середовища, середній вміст мікроорганізмів, середній гранулометричний склад, добру оструктуреність.

Гумусові речовини розкладаються *(мінералізуються)* спеціальними мікроорганізмами, особливо при наявності органічних речовин, що ще не гуміфікувались. Проте розклад гумусу – процес тривалий і потребує участі великої групи мікроорганізмів. Стійкість гумінових кислот пов'язана зі сферичною формою молекул, що складаються з багатьох гетерогенних одиниць, які нерегулярно з'єднанні ковалентними зв'язками. Найбільш інтенсивно відбувається мінералізація фульвокислот. Максимальна швидкість мінералізації спостерігається при оптимальних для мікроорганізмів вологості та температурі, зменшується при надлишковому зволоженні, у важких ґрунтах. Особливо різке зменшення вмісту гумусу в ґрунті спостерігається при застосуванні високих доз азотних добрив. Це пов'язано з активацією ґрунтових мікроорганізмів, що включають у свої метаболічні цикли органічну речовину ґрунту. Здатність розкладати гумус притаманна багатьом мікроорганізмам але провідна роль у цих процесах належить грибам і актиноміцетам (зокрема, нокардіям). У процесі розкладу гумусових речовин вивільнюється велика кількість елементів живлення рослин, особливо азоту.

4.3. Гумус: склад, властивості

Гумус – це гетерогенна динамічна полідисперсна система високомолекулярних азотистих ароматичних сполук кислотної природи.

Вміст гумусу в поверхневих горизонтах ґрунтів коливається від 0,5 до 20 %, різко або поступово зменшуючись з глибиною.

Характерною особливістю гумусових речовин є їх гетерогенність, тобто наявність різних за стадією гуміфікації, молекулярною масою, хімічним складом, а значить властивостями, компонентів.

Гумусні речовини поділяють на три групи сполук: гумінові кислоти, фульвокислоти, гуміни.

Гумінові кислоти (ГК) темно-коричневого або чорного забарвлення, розчинні в слабких лугах, утворюючи гумати, слабкорозчинні у воді. До їх складу входять Карбон (50–62 %), Гідроген (2,8–6,6 %), Оксиген (31–40 %), Нітроген (2–6 %) і зольні елементи. Елементний склад молекул гумінових кислот непостійний. Молекулярна маса коливається від 4 тис. до 100 тис. ат. од. Хімічні властивості, ємність вбирання, взаємодія з мінералами ґрунту зумовлені наявністю в молекулі ГК функціональних груп (карбоксильної, фенолгідроксильної, амідної, карбонільної тощо).

Молекула гумінової кислоти має складну будову і складається з: 1) ядра – це ароматичні та гетероциклічні угрупування (азотовмісні гетеро-

цикли, феноли, ароматичні альдегіди, 50–65 % маси молекули гумінової кислоти); 2) периферійної частини гумінової кислоти, що складається з аліфатичного ланцюжка (вуглеводневі та амінокислотні групи, 25–40 % від маси молекули) та функціональних груп (карбоксильних, гідроксильних, амінних тощо, 10–25 %). Наявність карбоксильних та гідроксильних груп зумовлює кислотні властивості, ємність поглинання, розчинність, здатність утворювати органо-мінеральні сполуки. Водні розчини гумінових кислот слабко кислі (pH = 5,5–6). Розчини гумінових кислот пересуваються в електричному полі, при всіх значеннях pH молекули мають негативний заряд.

Фульвокислоти (ФК) світло-жовтого, світло-бурого забарвлення, розчинні у воді й лугах, утворюючи фульвати, їх елементарний склад відрізняється від складу гумінових кислот. Вони містять Карбон (41–46 %), Гідроген (4–5 %), Нітроген (3–4 %), Оксиген (44–48 %). Отже, фульвокислоти містять менше Карбону і більше Оксигену, ніж гумінові, а також відрізняються співвідношенням ядра і периферійної частини в молекулі (слабко виражене ядро і більша частина периферії). Водні розчини фульвокислот сильно кислі (pH = 2,6–2,8), молекулярна маса коливається від 2 до 500 тис. ат. од., енергійно руйнують мінеральну частину ґрунту, дуже лабільні.

Гумін тепер прийнято називати рештками, що не гідролізуються. Це сукупність гумінових і фульвокислот, які міцно зв'язані з мінеральною частиною ґрунту. До їх складу входять також компоненти рослинних решток, що важко розкладаються мікроорганізмами: целюлоза, лігнін, вуглинки. Гуміни не розчиняються в жодному розчиннику, тому їх називають інертним гумусом.

4.4. Груповий та фракційний склад гумусу

У будь-якому ґрунті гумус представлений гуміновими кислотами, фульвокислотами та їх солями.

Груповий склад гумусу – сумарна кількість гумінових, фульвокислот і гуміну.

Його показник – відношення гумінових кислот (Сгк) до фульвокислот (Сфк), яке коливається від 0,4 до 3. За цим відношенням розрізняють фульватний (Сгк : Сфк < 0,6), гуматно-фульватний (0,6–0,8), фульватно-гуматний (0,8–1,2) та гуматний (>1,2) типи гумусу.

У складі гумусу чорнозему переважають гумати, Сгк : Сфк > 1,7, в підзолистих ґрунтах переважають фульвокислоти (Сгк : Сфк ~ 0,8), у сірому лісовому це співвідношення близьке до 1.

Фракційний склад гумусу – кількість окремих фракцій гумінових і фульвокислот різного ступеня стійкості зв'язку з мінеральною частиною ґрунту.

4.5. Екологічне значення гумусу та регулювання його вмісту

Гумусні речовини мають дуже важливе значення в ґрунтоутворенні, формуванні родючості ґрунту, живленні рослин. Роль окремих компонентів гумусу в цих процесах неоднакова, оскільки вони мають різні властивості. В землеробстві з давніх-давен відомо – чим більше гумусу в ґрунті, тим він родючіший. Гумінові кислоти надають ґрунтам темного забарвлення навіть при незначному вмісті гумусу. Такі ґрунти, порівняно зі світлими, краще поглинають сонячне проміння і тому мають кращий тепловий режим, що позитивно впливає на ріст і розвиток рослин. Через погану розчинність у воді вони накопичуються у верхньому шарі ґрунту і в такий спосіб формують гумусний горизонт.

Основна маса гумінових кислот перебуває в ґрунті у стані колоїдних міцел, що зумовлює підвищення ємності вбирання даного ґрунту. А родючість, як відомо, залежить від величини ємності вбирання. Чим більше у ґрунті міститься увібраних основ, тим більший запас поживних речовин для рослин: 100 г сухої маси гумінових кислот убирає 400–600 мг-екв. Жоден глинистий мінерал у природі не має такої високої ємності вбирання.

На поверхні тонкодисперсних часток ґрунту гумінові кислоти реагують із залізом і алюмінієм, утворюючи органо-мінеральні дисперсні системи – гелі. Колоїди гумінових кислот цементують механічні частки ґрунту у процесі формування міцних, водостійких структурних агрегатів. Поліпшення структурного складу ґрунту також позитивно впливає на його родючість.

Гумінові кислоти містять багато зольних елементів, які при мінералізації гумусу переходять у легкодоступну для рослин форму. Отже, гумусні речовини зумовлюють регулярне засвоєння поживних речовин рослинами. Саме цим пояснюється загальновідомий факт: чим більше в ґрунтах гумусу, тим вища біологічна продуктивність рослин. Отже, гумус є поживою для мікроорганізмів, а для вищих рослин – джерелом зольних елементів і Нітрогену.

Гумус відіграє біогеохімічну роль: Ферум, Алюміній, мікроелементи концентруються й мігрують у земній корі у формі органо-мінеральних сполук. Акумуляція гумусу, торфу, вугілля веде до концентрації Урану, Германію, Ванадію, Молібдену, Купруму, Кобальту, Ніколу та інших елементів.

Інакше на ґрунтоутворення впливають фульвокислоти та їх солі. Завдяки легкій розчинності вони швидко вимиваються в нижні горизонти ґрунту і навіть за межі ґрунтового профілю. В умовах, де переважає синтез фульвокислот, ґрунти, як правило, бідні на гумус. Крім того, фульвокислоти є агресивними сполуками і здатні руйнувати мінерали ґрунту (карбонати, гідроксиди, алюмосилікати) та здійснювати хімічне вивітрювання. Разом із неспецифічними кислотами вони є основним фактором процесу підзолоутворення в ґрунтах тайгово-лісових областей та інших регіонів із гумідним кліматом. Значна кількість фульвокислот синтезується також у ґрунтах, які

погано аеруються (провітрюються), наприклад, у важких і перезволожених. За цих умов процеси розкладання органічних решток відбуваються повільно, тут нагромаджується багато нерозкладених органічних решток. Такі ґрунти мають кислу реакцію, що негативно впливає на їх родючість. За наявності в ґрунтах дво- і тривалентних катіонів утворюються фульвати. Фульвокислоти при цьому нейтралізуються, і процес підзолоутворення не проявляється. Таке явище, зокрема, спостерігається на карбонатних породах.

Отже, рівень родючості ґрунту залежить не лише від кількості гумусу, а й від його якості.

РОЗДІЛ 5
ҐРУНТОВІ КОЛОЇДИ

5.1. Будова ґрунтових колоїдів та їх головні ознаки

Ґрунт – полідисперсна система, а його найдрібніші частинки (розміром менші за 0,0001 мм) називаються ґрунтовими колоїдами. Цей термін уведений англійським ученим Томасом Гремом. **Колоїди –** це двофазна система, яка складається з дисперсної фази (колоїдні частинки) та дисперсійного середовища (ґрунтовий розчин).

Г. Вігнер запропонував колоїдну частинку назвати колоїдною міцелою. Основу колоїдної міцели складає ядро (рис. 1.7). Природа ядра визначає поведінку ґрунтових колоїдів. Ядро колоїдної міцели є складною сполукою аморфної або кристалічної будови різного хімічного складу. На поверхні ядра розміщується шар іонів, що міцно утримуються зарядом, – шар потенціал-визначаючих іонів. Ядро міцели разом із шаром потенціал-визначаючих іонів має назву гранули. Між гранулою й розчином, який оточує колоїд, виникає термодинамічний потенціал. Під його впливом із розчину притягаються іони протилежного знаку (компенсуючі йони). Навколо ядра колоїдної міцели утворюється подвійний електричний шар, який складається із шару потенціал визначаючих іонів і шару компенсуючих іонів. Компенсуючі йони розміщуються навколо гранули двома шарами: один – нерухомий шар, який міцно утримується електростатичними силами потенціал-визначаючих іонів: зовнішній – дифузний шар, який утримується значно меншими силами і тому може замінюватись іншими катіонами, зумовлюючи цим фізико-хімічну (обмінну) поглинальну здатність ґрунтів. Гранула разом із нерухомим шаром компенсуючих іонів називається колоїдною частинкою. Між колоїдною частинкою й розчином, що оточує, виникає електрокінетичний потенціал (дзета-потенціал). Під його впливом знаходиться другий (дифузний) шар компенсуючих іонів, які мають здатність до еквівалентного обміну на йони того самого знаку заряду з оточуючого розчину.

Колоїдна міцела електрично нейтральна. Головна маса її належить гранулі, тому заряд останньої розглядається як заряд усього колоїду.

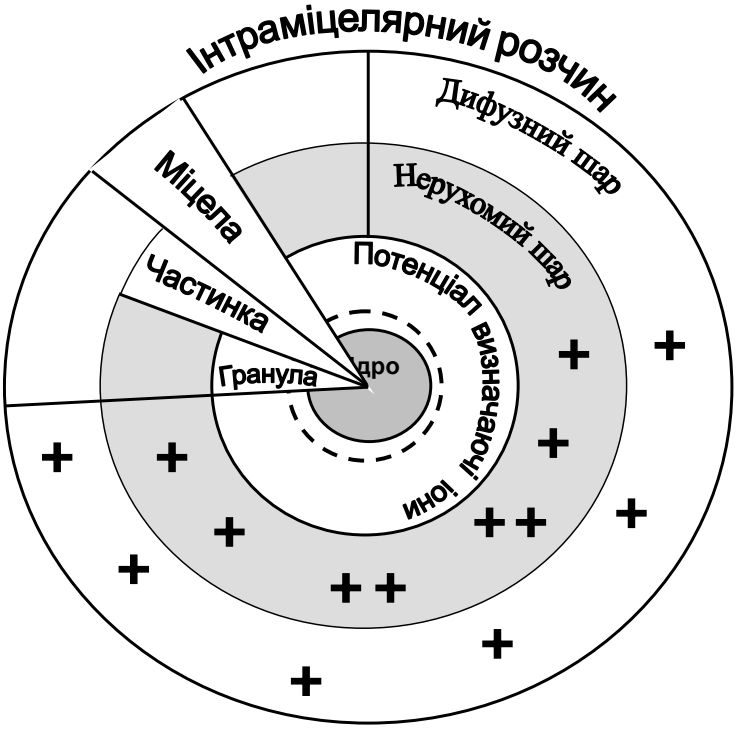


Рис. 1.7. ***Схема будови колоїдної міцели (за М. І. Горбуновим)***

Колоїдна частинка складається не з однієї, а з цілої групи молекул, чим вона відрізняється від молекули істинного (справжнього) розчину. Колоїдні частинки, суспензовані у воді, набувають однойменного електричного заряду, гідратуються, що й підтримує їх у розчині. Знак заряду зумовлюється природою колоїду. Так, гідрати Феруму й Алюмінію мають переважно позитивний заряд, глина, гумус і SiO_3^- – негативний. Знак заряду частково залежить і від реакції (pH). Так, Ферум і Алюміній у кислому середовищі заряджені позитивно, а при pH вище 8,0–8,2 – негативно. При pH 7,8–8,0 вони зовсім не мають заряду, через те не можуть переходити в розчин та пересуватися по ґрунтовому профілю. У ґрунті переважають негативні колоїди.

5.2. Класифікація ґрунтових колоїдів

На основі досліджень К. К. Гедройца й О. Н. Соколовського можна визначити речовинний склад ґрунтових колоїдів: він може бути *органічним, мінеральним і органо-мінеральним. Органічні* колоїди – гумус, до складу якого входять фульвокислоти, гумінові кислоти та їх солі. *Мінеральні* – це

глинисті мінерали, колоїдні форми SiO_2, алюміній гідроксиду, ферум (II та III) гідроксидів, силікатної кислоти. *Органо-мінеральні* колоїди утворилися внаслідок з'єднання гумусових кислот із глинистими мінералами. Склад і кількісне співвідношення мінеральних, органічних і органо-мінеральних колоїдів у ґрунті залежить від характеру ґрунтоутворюючих порід і типу ґрунтоутворення.

По відношенню до води ґрунтові колоїди поділяють на: гідрофільні – добре гідратуються, бубнявіють у воді, міцно утримують навколо себе декілька шарів орієнтованих молекул води, більш стійкі в колоїдному розчині. Це колоїди органічних речовин та вторинних глинистих мінералів. Тоді як гідрофобні – слабко гідратуються, слабко бубнявіють, здатні згортатися і швидко осаджуються. Це колоїди мінерального походження.

Колоїди можуть знаходиться в двох станах: золь та гель. Можливий перехід з одного стану в інший. Рідина з завислими в ній колоїдальними частинками називається *колоїдальним золем. Я*кщо колоїдальні частинки втрачають свій заряд, вони осідають на дно посудин, утворюючи драглистий осад – гель. Цей процес називається коагуляцією. Осідання може відбуватися і при зіткненні різнойменно заряджених колоїдів, наприклад гумусу і Феруму, глини й Алюмінію (взаємна коагуляція) тощо. Коагуляція відбувається також внаслідок висихання, замерзання, старіння тощо. Завдяки своїм надзвичайно малим розмірам колоїди мають величезну питому поверхню, а значить, і величезну силу поверхневого натягу. Внаслідок цього вони мають високу вбирну здатність, різко виявлені клейкі властивості, здатність утримувати воду тощо. Вони зумовлюють такі важливі властивості ґрунтів, як пластичність, в'язкість, гігроскопічність. На них зосереджені поживні для рослин елементи.

Ґрунтові колоїди завдяки електрокінетичним властивостям відіграють велику роль у ґрунтоутворенні. Вони здатні поглинати ф обмінювати йони дифузного шару міцели на йони розчину, що їх оточує. На цій особливості базуються методи хімічної меліорації ґрунтів та внесення добрив.

5.3. Природа та види поглинальної здатності ґрунтів

На початку XIX ст. італійці Д. Ламбрушіні й П. Герцері провели дослідження з поглинання ґрунтом поживних елементів із розчину, а також забарвлених і пахучих речовин. Пізніше А. Гекстебль і Д. Томсон виявили поглинання ґрунтом аміачних та інших солей, яке супроводжувалося переходом у розчин кальцію. Це були передумови для ґрунтовних досліджень англійця Г. Уея. Він довів, що при пропусканні крізь ґрунт солей калію й амонію ці основи поглинаються, а кислотні залишки залишаються в розчині, з'єднуючись з еквівалентною кількістю кальцію. Поглинальною здатністю володіє перегній і особливі мінеральні сполуки цеоліти –

розчинені в соляній кислоті силікати. Пізніше К. К. Гедройц провів свої фундаментальні дослідження, на основі яких опублікував "Вчення про поглинальну здатність ґрунтів" (1922) і "Ґрунтовий поглинальний комплекс і ґрунтові ввібрані катіони як основа генетичної класифікації ґрунтів" (1925).

Поглинальною здатністю ґрунту називається його властивість обмінно чи необмінно поглинати різні тверді, рідкі й газоподібні речовини або збільшувати їх концентрацію на поверхні ґрунтових колоїдних частинок. К. К. Гедройц виділив п'ять її видів:

1. *Механічна поглинальна здатність* – це властивість ґрунтів поглинати тверді частинки, що надходять із водним або повітряним потоком, розміри яких перевищують розміри ґрунтових пор. Вода при цьому очищається від завису, що "дозволяє використати ґрунт для очищення питних і стічних вод". При будівництві зрошувальних систем властивість ґрунтів поглинати тверді частинки використовується для замулювання дна і стінок каналів із метою зменшення фільтрації (кольматаж каналів, водосховищ).

2. *Хімічна поглинальна здатність* ґрунту – це утворення в ґрунті важкорозчинних і нерозчинних сполук, які фіксуються ґрунтом і не вимиваються. Так, наприклад, якщо в ґрунт, який містить кальцієві солі, надходить розчин натрій фосфат, то внаслідок обмінної реакції випадає важкорозчинний кальцій фосфат і фосфат-іон затримується ґрунтом:

$$3CaSO_4 + 2Na_3PO_4 = Ca_3(PO_4)_2 + 3Na_2SO_4.$$

Саме так у ґрунті можуть вбиратися не тільки катіони. Катіони й аніони, які надійшли до ґрунту з атмосферними, поливними і ґрунтовими водами, утворюють із солями ґрунтового розчину нерозчинні або важкорозчинні сполуки.

3. Біологічне поглинання спричиняється здатністю живих організмів (корені рослин, мікроорганізми), які живуть у ґрунті, поглинати різні елементи. Живі організми мають вибіркову здатність до елементів живлення. Так, у великих кількостях можуть закріплюватися Нітроген, Фосфор, Калій, Кальцій та інші сполуки. При розкладанні відмерлих тканин ці елементи знову надходять у ґрунтовий розчин.

4. *Фізична поглинальна здатність* – це здатність колоїдних частинок поглинати із ґрунтових розчинів молекули речовин. Кожна частинка оточена молекулярним шаром води, що утримується дуже великими силами, зумовлюючи підвищене натягування водяної плівки. Якщо молекули розчинених у ґрунтовій воді речовин притягуються до частинок сильніше, ніж молекули води, у поверхневому шарі зростає концентрація речовини. Це й буде позитивне фізичне поглинання. Адсорбція відіграє велику роль у рухливості різних сполук ґрунту. Речовини, що позитивно адсорбуються, охороняються від вимивання, ті ж, що негативно адсорбуються, – легко вимиваються. У виробничому відношенні важливо, що за рахунок фізичної вбирної здатності ґрунт може вбирати газоподібні сполуки (наприклад, аміак при внесенні в ґрунт аміачної води).

5. *Фізико-хімічна, або обмінна, поглинальна здатність* – це здатність ґрунту поглинати й обмінювати йони, що знаходяться на поверхні колоїдних частинок, на еквівалентну кількість іонів розчину, що взаємодіє з твердою фазою ґрунту. Ця властивість ґрунту зумовлена наявністю у його складі так званого ґрунтового поглинального комплексу (ГПК), пов'язаного з ґрунтовими колоїдами.

5.4. Ґрунтовий поглинальний комплекс. Екологічне значення поглинальної здатності

ГПК – це сукупність мінеральних, органічних і органо-мінеральних сполук високого ступеня дисперсності, нерозчинних у воді і здатних поглинати й обмінювати поглинуті йони.

Головним механізмом фізико-хімічної, або обмінної, поглинальної здатності ґрунтів є процеси сорбції. Обмінна сорбція катіонів – це здатність катіонів дифузного шару ґрунтових колоїдів обмінюватися на еквівалентну кількість катіонів навколишнього розчину. Обмінними катіонами у ґрунті зазвичай є: Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, AL^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, H^{+}. Головні закономірності сорбції катіонів відбуваються за законами, які встановив К. К. Гедройц.

Перший закон – **закон дії мас.** За цим законом, поглинатиметься з розчину той катіон, якого в ньому знаходиться більша кількість. Користуючись цим законом, можна штучно, збільшуючи концентрацію того чи іншого катіона в ґрунтовому розчині, змінювати катіонний склад ґрунту, що має величезне практичне значення.

Другий закон – це **закон енергії поглинання.** При однаковому вмісті катіонів у розчині будуть поглинатися в першу чергу катіони більшої валентності і більшої атомної маси. Виняток становить водень, який, незважаючи на свою легку вагу, поглинається енергійніше за решту катіонів. Тобто енергія поглинання катіонів у ряді різновалентних іонів збільшується з підвищенням валентності йона:

$$Li^{+}<Na^{+}<K^{+}<NH_4^{+}<Cs^{+}<Mg^{2}<Ca^{2+}<Al^{3+}<Fe^{3+}.$$

Третій, найважливіший закон – **закон еквівалентності обміну**. Скільки катіонів або аніонів поглинається ґрунтом, стільки ж (в еквівалентній кількості) витісняється з вбирного комплексу в ґрунтовий розчин. Наприклад, один іон Кальцію заміщує два йони гідрогену, а два йони Натрію заміщують один іон Магнію тощо.

Ґрунти здатні сорбувати також і аніони. Сорбція аніонів залежить від заряду, будови і хімічних властивостей ґрунтового поглинального комплексу. Сорбція аніонів викликається позитивним зарядом колоїдних часток гідроксидів Феруму, Алюмінію. За здатністю сорбуватись на ґрунтових частинках аніони розміщуються так:

$$Cl^{-} \sim NO_3^{-} < SO_4^{2-} << PO_4^{3-} < SiO_4^{4-} < OH^{-}.$$

При збільшенні в ґрунтовому поглинальному комплексі Алюмінію, Феруму і в присутності відколів ґрунтових мінералів, при зниженні pH середовища сорбція аніонів збільшується.

Аніони Cl^- і NO_3^- практично не поглинаються ґрунтом. У поглинанні аніонів велику роль відіграють процеси солеутворення. При взаємодії розчинних солей утворюються нові нерозчинні у воді солі (сульфати, карбонати, фосфати), які переходять у тверду фазу. Так поглинаються ґрунтом іони $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-},Ю PO_4^{3-}. Механізм поглинання ґрунтом фосфат-іонів складний і різноманітний.

Обмінна поглинальна здатність ґрунту зумовлена наявністю у ньому ґрунтового поглинального комплексу (ҐПК). Поглинальна здатність ґрунту – одна з найважливіших його властивостей, яка в основному визначає родючість ґрунту і характер ґрунтоутворення. Вона забезпечує та регулює поживний режим ґрунтів, сприяє накопиченню багатьох елементів живлення рослин, регулює реакцію ґрунту, його водно-фізичні властивості. Від того, які катіони знаходяться у поглинальному комплексі, значною мірою залежать властивості ґрунтів. У цьому відношенні К. К. Гедройц поділив ґрунти на 2 групи:

1. *Ґрунти, насичені основами:* 1) ґрунти, насичені двовалентними основами (Ca^{2+} і Mg^{2+}); 2) ґрунти солонцюваті, що містять поглинутий Na^+.

2. *Ґрунти, ненасичені основами* (ці ґрунти містять поглинутий H, Al, Fe).

До першої групи він відніс ґрунти, в яких у ввібраному стані немає Гідрогену та Алюмінію. До першої підгрупи відносяться ґрунти, насичені Кальцієм і Магнієм. У цих ґрунтах колоїдальний комплекс грубодисперсний (частинки крупні). Реакція ґрунтового розчину завжди нейтральна, через те що при обміні з будь-якими катіонами утворюються лише нейтральні солі. Колоїди знаходяться у стані незворотних гелів і не піддаються пептизації при надлишку вологи, ґрунти добре оструктурені, мають сприятливі фізичні властивості. У степовій зоні за наявності багатої рослинності в ґрунтах накопичується багато гумусу, вони набувають структури. До цієї групи належать чорноземи, лучні, каштанові, сіроземи та інші ґрунти, які утворилися переважно під трав'яною рослинністю. В умовах напівпустель та пустель гумусу мало, структури немає.

До другої підгрупи К. К. Гедройц відніс ґрунти, в складі поглинутих основ яких поряд з Ca і Mg є йон Na. Натрій, навіть у незначних кількостях, дуже змінює ґрунт. Він насамперед розпилює, диспергує ґрунтові колоїди, переводячи їх із стану гель у стан золь, колоїди мають можливість пересуватися по ґрунтовому профілю. Низхідними струменями води вони вимиваються на деяку глибину, утворюючи щільні ілювіальні горизонти. Це негативно впливає на водно-фізичні властивості: підвищену щільність, погану водопроникність, слабку водовіддачу, низьку доступність ґрунтової вологи рослинам (солонці, солонцюваті ґрунти). Крім того, Натрій,

реагуючи з кальцій карбонатом ґрунтового розчину, утворює соду, досить отруйну для рослин. Реакція ґрунту стає лужною.

Друга велика група ґрунтів – це ґрунти, ненасичені основами. До неї належать ті різновиди ґрунтів, у вбирному комплексі яких є йони гідрогену й алюмінію. Обмінюючись з будь-якими солями, вони виділяють у ґрунтовий розчин кислоти або кислі солі.

Алюміній сульфат, як сіль дуже слабкої основи і сильної кислоти, також зумовлює кислу реакцію ґрунтового розчину. За наявності у ґрунтовому поглинальному комплексі у складі обмінних катіонів значної кількості H^+ і Al^{3+} колоїди легко руйнуються в результаті кислотного гідролізу, ґрунти погано оструктурені (підзолисті ґрунти). Поглинальну здатність ґрунтів можна регулювати внесенням органічних добрив, глини, торфу, вапнуванням, гіпсуванням, травосіянням тощо.

5.5. Кислотність ґрунту, її форми

На ріст і розвиток рослин, а також на життєдіяльність мікроорганізмів істотно впливає кислотність ґрунтового розчину (реакція ґрунту). Теоретично pH змінюється від 1 до 14, але в ґрунтах відхилення його можуть бути в межах від 3 до 9, рідко 10. При цьому нейтральна реакція становить pH – 7, кисла – < 7, а лужна – > 7.

Різні рослини потребують для росту і розвитку певної кислотності ґрунтового розчину. Для розвитку більшості культурних рослин потрібна нейтральна реакція ґрунту (pH 6–7,5).

Ґрунти півночі (тундрові, болотні, підзолисті) мають кислу реакцію; ґрунти степів (чорноземи) – практично нейтральну; ґрунти півдня (каштанові, бурі) – лужну. У ґрунті йони гідрогену можуть перебувати у двох станах: вільному у ґрунтовому розчині і у ввібраному колоїдними частинками. У зв’язку з цим кислотність ґрунту також має дві форми: активну і потенціальну.

Активна кислотність ґрунту зумовлена наявністю в ґрунтовому розчині вільних іонів гідрогену, а потенційна – як вільними, так і ввібраними йонами при переході їх у ґрунтовий розчин після реакцій обміну. При внесенні мінеральних добрив, залежно від солі, що діє на ґрунт, кількість іонів водню, які надходять у розчин, може бути різною. У зв’язку з цим потенціальна кислотність, в свою чергу, поділяється на обмінну і гідролітичну.

Обмінна кислотність – це та кількість водню, яка виділяється в розчин при обробці ґрунту нейтральною сіллю, зазвичай калій хлоридом. Останній витісняє лише ті йони гідрогену (або алюмінію), які знаходяться у поверхневих частинах дифузного шару, тобто найбільш слабко зв’язані з колоїдною частинкою. Це "найшкідливіші" йони, які найлегше витісняються з ґрунтового розчину і надають йому кислої реакції. У більшості ґрунтів їх небагато. Гідролітична кислотність – це кількість Гідрогену або Алюмінію,

яка витісняється з ґрунту розчином гідролітично-лужної солі. Як правило, для визначення цієї величини користуються натрій ацетатом (CH_3COONa). Розчин його має лужну реакцію (pH–8,2). У лужному середовищі витіснення Гідрогену з ґрунту проходить значно інтенсивніше. Вважають, що при цьому витісняються всі йони гідрогену, які знаходяться у поглинальному комплексі ґрунту. Отже, гідролітична кислотність включає в себе обмінну і завжди більша за неї.

Знаючи обмінну і гідролітичну кислотність, завжди можна обчислити, скільки потрібно внести в ґрунт Кальцію у формі вапна або іншої речовини для того, щоб знищити кислу реакцію ґрунтового розчину і запобігти подальшому надходженню в нього кислот. Цей процес називається вапнування ґрунтів. Він застосовується у нас в зоні підзолистих ґрунтів.

РОЗДІЛ 6
РІДКА ТА ГАЗОВА ФАЗИ ҐРУНТУ

Вода в природі виконує дві функції: забезпечує багато фізичних і хімічних процесів; є потужною транспортною геохімічною системою, яка сприяє переміщенню речовин у просторі. У житті ґрунту вода виконує 6 функцій: вона є одним із факторів ґрунтоутворення й процесів вивітрювання мінералів; гумусоутворення; хімічні реакції відбуваються тільки у водному середовищі; під впливом води проходить формування ґрунтового профілю; регулювання температури ґрунту відбувається за допомогою води; вона є одним із факторів життя рослин та організмів, а також родючості ґрунтів.

6.1. Стан і форми води в ґрунтах

Стан води в ґрунті, закони її переміщення та доступності для рослин, водоспоживання рослинами, водно-фізичні властивості та водний режим ґрунтів вивчали Г. М. Висоцький (1899), О. А. Роде (1965), Н. А. Качинський (1970) та інші. Вода в ґрунті розміщується в порах і обволікає тверді його частинки.

Порції ґрунтової води, які мають однакові властивості, називаються формами води.

Вологість ґрунту – дуже динамічна величина, що залежить від кількості опадів і температури; при цих рівних умовах – від гранскладу й гумусованості ґрунту. Головним джерелом вологи в ґрунті є опади.

Вода в ґрунті зазнає впливу різноманітних сил, з допомогою яких вона пересувається або затримується. Головними силами, які діють на ґрунтову воду, є сорбційні, меніскові та гравітаційні. Сорбційні сили виникають завдяки специфічній будові молекули води. Вона складається з диполів, які являють собою тіла з полюсами. Вони несуть заряди протилежного знака, які мають властивість асоціюватись один з одним, притягуватись іонами та колоїдними частинками: явище притягування диполів води йонами та ґрунтовими частинками називається гідратацією. Вона виявляється в утворенні гідратної оболонки навколо йонів і колоїдних частинок.

Меніскові (капілярні) сили зумовлюються поверхневим натягом води. На її поверхні утворюється вільна енергія через односторонній напрямок дії на молекули поверхневого шару. Наявність вільної енергії викликає прагнення до максимального зменшення поверхні рідини. Оскільки вода добре змочує більшість тіл, біля стінок посудини (особливо малого діаметра) виникає викривлення поверхні води і утворюється меніск. Викривлення поверхні веде до зменшення поверхневого тиску, з чим і пов’язане явище капілярного підняття води.

Гравітаційні сили впливають в основному на вільну вологу в ґрунті.

З фізичної точки зору вода може знаходитись у трьох станах – твердому, пароподібному, рідкому. Тверда вода – лід, який утворюється при від'ємній температурі сезонно або постійно, малоактивний кристалічний стан води. Це потенційне джерело води рідкої й пароподібної, в яку лід переходить при таненні й випаровуванні.

Пароподібна вода – міститься в ґрунті при будь-якій вологості в порах, вільних від рідкої води. Її у ґрунті мало, не більше 0,001 %, вона знаходиться у вигляді водяного пару. Ця вода рухається від ділянок з високою пружністю водяного пару до ділянок із нижчою пружністю, із верхніх шарів ґрунту – в атмосферу, а за певних умов конденсується в рідкий стан. Тобто цей стан води відіграє помітну роль у формуванні водного режиму ґрунту (вміст її може складати до 150 $м^3$/га).

Рідка вода – знаходиться в порах, найдоступніша рослинам, найрухоміша, відіграє винятково важливу роль у ґрунтах. Виділяють хімічно зв'язану, фізично зв'язану та вільну форми рідкої ґрунтової води залежно від характеру її зв'язку з твердою фазою ґрунту.

Хімічно зв'язана. Входить до складу твердої фази ґрунту, не пересувається, не бере участі у фізичних процесах, не випаровується за температури 100 °С, у формуванні водного режиму участі не бере. Ділиться на конституційну – група OH^- у хімічних сполуках типу $Fe(OH)_3$, кристалізаційну – молекули води у речовинах типу $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Фізично зв'язана (сорбована). Це вода, сорбована поверхнею ґрунтових часток у вигляді плівки, вона може сорбуватись як із пароподібного, так і рідкого стану. Фізично зв'язана вода за міцністю зв'язку з твердими частинками ґрунту поділяється на:

а) щільнозв'язану (гігроскопічну). Це вода, поглинута ґрунтом із пароподібного стану. Властивість ґрунту сорбувати пароподібну воду називають гігроскопічністю. Ця вода утримується частинками ґрунту під дуже великим тиском, тому нерухома, дуже ущільнена, густина її досягає 1,5–1,8 г/$см^3$, замерзає за температури –78 °С, не розчиняє речовини, не доступна рослинам.

За фізичними властивостями гігроскопічна вода наближається до твердих тіл.

Кількість води, яка може сорбуватись ґрунтом, залежить від відносної вологості повітря. Наприклад, за відносної вологості повітря 20–40 % має місце сорбція води безпосередньо ґрунтовими частинками з утворенням моно-, бімолекулярного шару. Подальше збільшення відносної вологості повітря зумовлює зростання товщини водяної плівки.

Максимальна кількість води, яку може поглинути ґрунт з пароподібного стану за відносної вологості повітря приблизно 95–100 %, називається максимальною гігроскопічністю (МГ).

При вологості ґрунту, що дорівнює МГ, товщина плівки з молекул води досягає 3–4 шарів. На величину МГ суттєво впливає величина питомої поверхні ґрунтових частинок (мінералогічний, гранулометричний склад,

гумусованість). Чим більше в ґрунті мулистих та, особливо, колоїдних частинок, тим більше буде гігроскопічної води. МГ – одна з найважливіших ґрунтово-гідрологічних констант. Для різних ґрунтів значення максимальної гігроскопічності різне:

- піщані ґрунти – 0,5–1,3 %;
- легкосуглинкові – 1,5–3 %;
- важкосуглинкові – 5–8 %;
- глинисті – 10–12 %.
- торф'яні – 18–22 %;

б) пухкозв'язану (плівчасту). Ґрунт не може сорбувати пароподібну форму більше від МГ, але рідку воду може сорбувати і в більших кількостях. Вода, яка утримується в ґрунті сорбційними силами зверху МГ, – це вода плівкова, або пухкозв'язана. Вона утворює полімолекулярну плівку навколо ґрунтових частинок. Товщина її досягає декількох десятків і навіть сотень діаметрів молекул води. Плівкова вода може переміщуватися в рідкому стані від ґрунтових частинок з більш товстими водяними плівками до частинок, у яких вони тонші. Швидкість її руху декілька сантиметрів на рік.

Вміст її у ґрунті залежить від тих же факторів, що і вміст гігроскопічної. У середньому для більшості ґрунтів її кількість складає 7–15 %, деколи в глинистих ґрунтах досягає 30–35 % і знижується у піщаних до 3–5 %.

Максимальна кількість плівкової води у ґрунті називається максимальною молекулярною вологоємністю (ММВ).

Вільна вода. Це вода, яка міститься в ґрунті понад ММВ, знаходиться поза дією сорбційних сил. У ґрунтах вона присутня у двох формах:

а) капілярна вода – утримується в ґрунті в порах малого діаметра (< 8 мм) капілярними (менісковими) силами. Ці сили виникають внаслідок наявності на поверхні рідини ненасичених молекул, які є джерелом надлишкової поверхневої енергії. Це веде до утворення на поверхні рідини нібито плівки, що має поверхневий натяг, або поверхневий тиск. Він є різницею між атмосферним тиском і тиском рідини. Капілярна вода рідка, рухома, розчиняє й переміщує речовини, доступна рослинам. Ділиться на капілярно-підвішену, капілярно-підперту й капілярно-посаджену залежно від джерела зволоження ґрунту.

Капілярно-підвішена вода заповнює капілярні пори при зволоженні згори (після дощу, поливу). Вона може рухатись у всіх напрямках.

Капілярно-підперта вода утворюється в ґрунтах при піднятті води знизу від горизонту ґрунтових вод по капілярах на деяку висоту. Може підніматись від 0,5 до 6 м. Висота й швидкість капілярного підняття води залежать від діаметра пор, а значить – від гранскладу, структурності, будови профілю ґрунту. Так, висота капілярного підняття води для різних ґрунтів коливається в межах:

- піщані – 18–22 см;
- супіщані – 100–150 см;

- суглинкові – 150–300 см;
- глинисті – 600–1000 см;
- лес – 250–350 см;
- торф – 50–80 см.

Капілярно-посаджена вода утворюється у шаруватій ґрунтовій товщі дрібнозернистого шару при підстиланні його шаром крупнозернистом, над межею зміни цих шарів;

б) гравітаційна вода – переміщується в ґрунті під дією гравітаційних сил, тобто під дією власної ваги, знаходиться поза впливом сорбційних і капілярних сил, рідка, має високу розчинну здатність, рухома, доступна рослинам.

Рух гравітаційної води крізь ґрунт називається фільтрацією.

Гравітаційна вода ділиться на просочувану й підперту (підземну). Просочувана – це вода, яка пересувається по порах і тріщинах згори вниз, коли її кількість перевищує стримувальну здатність меніскових сил. Підземна (вода водоносних горизонтів) – насичує ґрунтово-підґрунтову товщу до повної вологоємності й утримується в ґрунті за рахунок малої водопроникності порід, що підстилають ґрунт. Вона міститься у водоносному шарі – породі, яка легко пропускає вільну воду і насичена нею (галечник, піщаники, піски, вапняки тощо).

Водоупор – порода, яка не пропускає або слабко пропускає воду (глина, важкі суглинки, сланці).

Верховодка – приурочена до горизонтів ґрунтового профілю, залягає на лінзах водотривких горизонтів (I, G_1, багаторічна мерзлота, глинисті прошарки). Не має значного водозбору, формується локально після опадів, сніготанення.

Ґрунтова вода – розташована в першому від поверхні постійному водоносному горизонті. Формується за рахунок атмосферних опадів у межах великого водозбору, не перекривається водотривкою покрівлею, не напірна.

Міжпластова вода – знаходиться у водоносних горизонтах, що залягають між водотривкими пластами. Виділяється: напірна вода (артезіанська), що знаходиться у водоносних горизонтах, перекритих і підстелених водотривкими пластами, приурочена до пластів, що синклінально залягають, має напір, може мати зв’язок із ґрунтовими водами; безнапірна – не приурочена до синклінальних пластів, а тому не має гідравлічного напору.

Наявність значної кількості гравітаційної води – явище несприятливе, свідчить про надлишкове зволоження, приводить до утворення гідроморфних ґрунтів.

6.2. Водно-фізичні властивості ґрунту

Водно-фізичними властивостями ґрунту називають сукупність властивостей, які визначають поведінку ґрунтової води в його товщі. Найбільш важливими водними властивостями є: водоутримуюча здатність ґрунту, його вологоємність, водопідйомна здатність, потенціал ґрунтової води, водопроникність.

Водоутримуюча здатність – це здатність ґрунту утримувати воду, яка міститься в ньому, від стікання під дією сили земного тяжіння; кількісною характеристикою водоутримуючої здатності є вологоємність.

Вологоємність ґрунту – здатність поглинати й утримувати певну кількість води. Залежно від сил, що утримують воду в ґрунті, виділяють наступні види вологоємності: максимальну адсорбційну (МАВ), максимальну молекулярну (ММВ), капілярну (КВ), найменшу (НВ), повну (ПВ).

МАВ – найбільша кількість води, яка може бути утримана сорбційними силами на поверхні ґрунтових часток, відповідає кількості щільно зв'язаної води, що міститься в ґрунті, приблизно дорівнює максимальній гігроскопічності (МГ).

ММВ – характеризує верхню межу вмісту в ґрунті плівкової води. Залежить, в основному, від гранскладу ґрунту (глина – 25–30 %, пісок – 5–7 %). Це важлива гідрологічна константа, бо є нижньою межею доступної для рослин води.

КВ – найбільша кількість капілярно-підпертої води, яка може утримуватись ґрунтом, що знаходиться в межах капілярної кайми. Залежить від пористості ґрунтів і від висоти шару насиченого ґрунту над дзеркалом ґрунтових вод, тому КВ не є константою.

НВ – максимальна кількість капілярно-підвішеної води, яку може утримати ґрунт після стікання надлишку води при глибокому заляганні ґрунтових вод. Залежить від гранскладу, структурності ґрунту (піщані – 5–10 %, супіщані – 10–20%, суглинкові – 20–30 %, глинисті – 30–45 %). Це одна з найважливіших гідрологічних характеристик ґрунту, константа, верхня межа оптимального зволоження.

ПВ – найбільша кількість вологи, яку може вмістити ґрунт при повному заповненні всіх пор, за винятком защемлених, тому ПВ приблизно дорівнює пористості ґрунту (в об'ємних процентах).

До ґрунтово-гідрологічних констант відносяться також максимальна гігроскопічність (описана вище); вологість в'янення (ВВ) – це вологість, при якій рослини проявляють ознаки стійкого в'янення. ВВ ~ 1,5 МГ – це нижня межа доступної для рослин вологи. ВВ приблизно дорівнює ММВ, але залежить не тільки від властивостей ґрунту, а й від типу рослин; вологість розриву капілярного зв'язку (ВРК) – це кількість води, при якій розривається суцільний потік капілярної води в ґрунті, ~ 65–70 % від НВ, відповідає нижній межі оптимальної зволоженості ґрунту. Усі ґрунтово-гідрологічні

константи виражаються в частках від маси або об'єму абсолютно сухого ґрунту.

Водопроникність – це здатність ґрунтів всмоктувати й пропускати крізь себе воду, яка надходить з поверхні.

Це одна з важливих ґрунтово-гідрологічних характеристик, що впливає на особливості формування стоку, водний режим ґрунту. Процес руху води має два етапи: всмоктування (інфільтрація) та просочування (фільтрація).

Інфільтрація – заповнення водою вільних пор ґрунту під впливом сорбційних, меніскових, гравітаційних сил і градієнта напору.

Фільтрація – безперервний рух води в насиченому ґрунті під впливом градієнта. Межею між всмоктуванням і фільтрацією вважають установлення постійної швидкості фільтрації.

Водопроникність ґрунтів знаходиться в тісній залежності від їх гранулометричного складу і хімічних властивостей, структурного стану, щільності, вологості й тривалості зволоженості. Дуже знижує водопроникність ґрунтів наявність набряклих колоїдів, особливо насичених Натрієм або Магнієм. При зволоженні таких ґрунтів вони швидко набрякають і робляться практично водонепроникними. Ґрунти структурні, пухкі, характеризуються великим коефіцієнтом всмоктування й фільтрації.

Водопроникність ґрунтів вимірюється об'ємом води, який переходить через одиницю площі поперечного перерізу за одиницю часу (коефіцієнтом фільтрації). Величина ця дуже динамічна й змінюється як за профілем ґрунтів, так і просторово. Оцінити водопроникність ґрунтів важкого механічного складу можна за шкалою, яку запропонував Н. А. Качинський (1970): водопроникність (у см) за 1 годину при тиску 5 кПа і температурі води 10 °С більше 1000 – провальна; 1000–500 – надлишково висока; 500–100 – найкраща; 100–70 – добра; 70–30 – задовільна; < 30 – незадовільна. Водопроникність має як позитивну, так і негативну роль. При низькій водопроникності можуть спостерігатися такі негативні явища, як вимокання культур, застій води на поверхні ґрунту, заболочення, стік води по поверхні схилу і розвиток ерозії. При дуже високій водопроникності не створюється достатній запас води в кореневмісному шарі ґрунту, а при зрошенні спостерігаються великі втрати води, що призводить до екологічних проблем. Для підвищення водопроникності використовується глибоке розпушування, щілювання, піскування, збагачення органічною речовиною, штучне структуроутворення.

Водопідіймальна здатність ґрунту – це його властивість викликати висхідне пересування в ньому води за рахунок капілярних сил.

Висота і швидкість капілярного підняття води в основному визначаються гранулометричним і структурним станом ґрунту, його пористістю. Чим важчі ґрунти і менш структурні, тим більша потенційна висота підняття води по капілярах, а швидкість підйому менша. Капілярні сили починають проявлятись у порах діаметром 8 мм, але особливо яскраво – у порах діаметром 0,1–0,003 мм.

Доступність ґрунтової води для рослин є винятково важливою характеристикою, яка визначає значною мірою родючість ґрунтів. Рослини в процесі життя поглинають дуже велику кількість води. Вони витрачають її на транспірацію та утворення біомаси. Витрати води з ґрунту рослинами характеризується транспіраційним коефіцієнтом (ТК) – кількістю води, яка необхідна для утворення одиниці сухої маси рослини. Для більшості культурних рослин ТК коливається в межах 400–600, досягаючи деколи 1000, тобто для утворення 1 т сухої органічної речовини біомаси витрачається 400–600 т і більше води з ґрунту. За доступністю для рослин ґрунтова вода може бути поділена на форми:

1. Недоступна для рослин – це вся міцно зв'язана вода, так званий її мертвий запас. Недоступність пояснюється тим, що утримуюча сила поверхні ґрунтових частинок набагато більша, ніж всмоктувальна сила коренів. Мертвий запас води в ґрунтах відповідає приблизно максимальній адсорбційній вологоємності.

2. Дуже важкодоступна для рослин – в основному пухкозв'язана (плівчаста) вода. Важка доступність зумовлена її низькою рухомістю. Вода не встигає підтікати до точок її споживання, тобто до кореневих волосків. Вміст води в ґрунті, який відповідає вологості в'янення, є нижньою границею продуктивної доступної вологи.

3. Важкодоступна вода лежить у межах між вологістю в'янення й вологістю розриву капілярного зв'язку.

4. Середньодоступна вода відповідає діапазону від вологості розриву капілярів до найменшої вологоємності. Ця вода рухома, й рослини можуть поглинати її. Різниця між найменшою вологоємністю та вологістю в'янення – це діапазон фізіологічно активної води в ґрунті.

5. Легкодоступна, яка переходить у надлишкову воду, відповідає діапазону вологості від найменшої до повної вологоємності.

Повітряно-фізичні властивості ґрунтів – це сукупність фізичних властивостей ґрунтів, які визначають стан і поведінку ґрунтового повітря у профілі. Найбільш важливими є: повітроємність, повітровміст, повітропроникність, аерація.

Загальною повітроємністю ґрунтів називають максимально можливу кількість повітря, яка вміщується в повітряно-сухому ґрунті непорушеної будови за нормальних умов.

Повітроємність ґрунтів залежить від їх гранулометричного складу, складення, ступеня оструктуреності. Слід розрізняти капілярну й некапілярну повітроємність. Ґрунтове повітря, яке міститься в капілярних порах малого діаметра, характеризує капілярну повітроємність ґрунтів. Велика кількість у ґрунті цього повітря свідчить про низьке переміщення газів у межах ґрунтового профілю. Це характерно для важкоглинистих, безструктурних, щільних ґрунтів, що набухають, викликає в них оглеєння.

Повітровміст (Рв) – кількість повітря, яке міститься в ґрунті при визначеному рівні зволоження.

Оскільки повітря і вода в ґрунтах є антагоністами, тому існує чітка від'ємна кореляція між волого- і повітровмістом.

Повітропроникність – здатність ґрунту пропускати крізь себе повітря. Вона визначає швидкість газообміну між ґрунтом і атмосферою. Залежить від гранскладу ґрунту та його оструктуреності, від об'єму й будови порового простору. Переважно визначається некапілярною пористістю. Потрібно також звернути увагу на залежність некапілярної пористості від стану поверхні ґрунту, його розпущеності, наявності кірки.

Повітрообмін (газообмін), або аерація, – це обмін газами між ґрунтовим повітрям й атмосферою.

Аерація визначається великою кількістю факторів як безпосередньо ґрунтових, так і зовнішніх, а саме:

1) атмосферними умовами – коливаннями температури повітря, зміною атмосферного тиску, кількістю опадів та їх розподілом, інтенсивністю та об'ємом випарування і транспірації води;

2) фізичними властивостями ґрунту – гранулометричним складом, структурою, станом поверхні, щільністю, кількістю та якістю пор аерації, температурним режимом і режимом їх вологості;

3) фізичними властивостями газів – швидкістю їх дифузії;

4) фізико-хімічними реакціями у ґрунтах по ланцюгу: поглинаючий комплекс – ґрунтовий розчин – газова фаза.

Основним фактором аерації в ґрунті, газообміну між ґрунтом й атмосферою є дифузія.

Дифузія – це переміщення газів відповідно до парціального тиску. Дифузія газів залежить від довжини вільного пробігу молекул окремих газів (O_2, N_2, CO_2) та швидкості їх руху. Оскільки швидкість теплового руху молекул дуже велика (для O_2, N_2, CO_2, H_2 і парів H_2O ця швидкість відповідно дорівнює 461, 493, 393, 1838, 615 м/с), то якщо б дифузія залежала тільки від теплового руху молекул, вона в атмосфері проходила б миттєво. Внаслідок незначної довжини вільного пробігу молекул газів (для O_2, N_2, CO_2, H_2 і парів H_2O в середньому відповідно дорівнюють $10{,}22\cdot10^{-5}$; $9{,}5\cdot10^{-5}$; $6{,}5\cdot10^{-5}$; $17{,}8\cdot10^{-5}$; $0{,}72\cdot10^{-5}$ м) вони зіштовхуються одна з одною і за одиницю часу проходять значно меншу відстань. Тому дифузія газів у ґрунті завжди повільніша, ніж у вільній атмосфері (в 2–20 разів).

Сучасний склад земної атмосфери має біогенну природу. Велику роль у формуванні атмосфери відіграє газообмін між її приземним шаром і ґрунтом. Атмосферне повітря – це суміш газів, серед яких основними є чотири: азот, кисень, аргон, вуглекислий газ. Склад атмосферного повітря постійний, вміст його основних компонентів змінюється незначно. В атмосферному повітрі міститься в об'ємних частках: азоту (N_2) – 78,08; кисню (O_2) – 20,95; аргону (Ar) – 0,93; вуглекислого газу (CO_2) – 0,03.

Ґрунтове повітря відрізняється динамічністю. Найбільш рухомими в ґрунтовому повітрі є O_2 і CO_2. Їх вміст у ґрунтах дуже коливається відповідно до інтенсивності споживання кисню й продукування вуглекислого

газу, а також швидкості газообміну між ґрунтом і атмосферою. У ґрунтовому повітрі може бути CO_2 в десятки й сотні разів більше, ніж в атмосферному, а концентрація кисню може знижуватись з 20,9 до 15–10 % і нижче. В зораних, добре аерованих ґрунтах кількість CO_2 в ґрунтовому повітрі не перевищує 1–2 %, а кількість O_2 не буває нижче 18 %. В зораних ґрунтах важкого гранулометричного складу вміст CO_2 може досягати 4–6 % і більше, а O_2 падати до 8–15 %. Кількість азоту в ґрунтовому повітрі мало відрізняється від атмосферного. Деякі зміни його вмісту відбуваються внаслідок зв'язування азоту бульбочковими бактеріями та проявом процесу денітрифікації.

Кисень виконує величезну роль у біосфері в цілому і в ґрунтовому повітрі зокрема. Достатній вміст кисню забезпечує необхідний рівень мікробіологічної діяльності, дихання коренів рослин і ґрунтових тварин. Дефіцит кисню пригнічує розвиток кореневих волосків, викликає масову загибель сходів рослин, провокує розвиток хвороботворних мікроорганізмів. Анаеробний процес починає розвиватися при зниженні вмісту кисню до 2,5 %. Концентрація кисню в ґрунтовому повітрі коливається від 0 до 21,0 %.

Існує думка, що вуглекислий газ атмосфери на 90% має ґрунтове походження. Процеси дихання, розкладання постійно поповнюють запаси CO_2. Вуглекислий газ забезпечує асиміляційний процес рослин. Водночас його надлишок у складі ґрунтового повітря (більше 3 %) пригнічує розвиток рослин, уповільнює пророщування насіння, скорочує надходження води в рослинні клітини. Оптимальні рівні концентрацій CO_2 в складі ґрунтового повітря коливаються в межах 0,3–3,0 %. Існує високоінформативний показник біологічної активності ґрунтів, так зване "дихання ґрунтів". Воно характеризується швидкістю виділення CO_2 за одиницю часу з одиниці поверхні. Коливається від 0,01 до 1,5 г/м^2 за год.

Динаміка ґрунтового повітря визначається сукупністю всіх явищ надходження, переміщення й трансформації газів у межах ґрунтового профілю, а також взаємодією газової фази з твердою, рідкою й живою фазами ґрунту. Вона має добовий і сезонний (річний) хід. Крім того, ґрунтове повітря різко реагує на додаткове надходження вологи в ґрунт. Добова динаміка визначається добовим ходом атмосферного тиску, температури, освітлення, зміною швидкості фотосинтезу. Ці параметри контролюють інтенсивність дифузії, дихання коренів, мікробіологічної активності, інтенсивність сорбції й десорбції, розчинності й дегазації. Сезонна (річна) динаміка визначається річним ходом атмосферного тиску, температур та опадів і тісно пов'язаними з ними вегетаційними ритмами розвитку рослинності та мікробіологічної діяльності.

ЛІТЕРАТУРА ДО ЧАСТИНИ І

1. Вернандер Н. Б. Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства / Н. Б. Вернандер. – К. : Радянська школа, 1965. – 177 с.

2. Добровольский В. В. География почв с основами почвоведения / В. В. Добровольский. – М. : Высшая школа, 1989.

3. Назаренко І. І. Ґрунтознавство : підручник / І. І. Назаренко, С. М. Польчина, В. А. Нікорич. – Чернівці, 2003. – 400 с.

4. Чорний І. Б. Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства / І. Б. Чорний. – К. : Вища школа, 1995.

ЧАСТИНА ІІ
ҐРУНТ ЯК ДЖЕРЕЛО ВОДИ І МІНЕРАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ РОСЛИННИХ ОРГАНІЗМІВ

- **Водний обмін рослин**
- **Кореневе живлення рослин**

РОЗДІЛ 1
ВОДНИЙ ОБМІН РОСЛИН

1.1. Структура та властивості води, її фізіологічна роль

У рослинних тканинах вода становить 70–95 % сирої маси. Вона відіграє першочергову роль в усіх життєвих процесах організму.

Роль води в клітині дуже різноманітна. Усі відомі на землі форми життя не можуть існувати без води. При зниженні вмісту води у клітинах та тканинах до критичного рівня (наприклад, у спор, у насінні при повному дозріванні) живі структури переходять у стан анабіозу.

Вода у біологічних об'єктах виконує такі функції:

1. Об'єднує усі частини організму, від молекул до тканин та органів у єдине ціле. У тілі рослин вода утворює безперервний потік від вологи ґрунту до поверхні розподілу рідина–газ у листках, з яких вона випаровується.

2. Є найважливішим розчинником та середовищем для біохімічних реакцій.

3. Бере участь в упорядкуванні структури клітин, входить до складу молекул білків, визначаючи їх конформацію, підтримує структуру гідрофобних ділянок білкових молекул та ліпопротеїдів.

4. Метаболіт та безпосередній компонент біохімічних процесів: при фотосинтезі є донором протонів водню, при диханні у циклі Кребса бере участь у окиснювальних процесах, необхідна для гідролізу тощо.

5. Структурна вода бере участь у мембранних процесах завдяки високій протонній та електронній провідності.

6. Головний компонент у транспортній системі вищих рослин – у судинах ксилеми та ситовидних трубках флоеми, при переміщенні речовин по симпласту та апопласту.

7. Терморегулюючий фактор – захищає тканини від різких коливань температури завдяки високій теплоємності та великій питомій теплоті пароутворення.

8. Гарний амортизатор при механічних впливах на організм.

У процесі еволюції рослинні організми набували все більшої відносної незалежності від води. Для водоростей вода є середовищем існування, а для наземних споровим вона потрібна у період розмноження – рух гамети за допомогою джгутиків залежний від рідинно-краплинної води. Насінні рослини не потребують води для статевого процесу розмноження, у них удосконалюються механізми надходження та економного використання води.

Молекула води H_2O складається з двох атомів Гідрогену та одного атому Оксигену (рис. 2.1). Вона може перебувати у трьох агрегатних станах: газоподібному, рідкому та твердому. У кожному із них вода має різну структуру. Залежно від стану речовин, у якій знаходиться, вона набуває нових властивостей. Твердий стан води може бути кристалічним (лід) або некристалічним (склоподібний, аморфний). Останній утворюється при миттєвому заморожуванні рідким азотом, при цьому молекули не встигають вишикуватися у кристалічну ґратку. При замерзанні з утворенням кристалічної води спостерігається пошкодження клітин, а з утворенням аморфної – зберігаються.

Розглядають дві моделі рідкої води (рис. 2.1). За однією вода – це тримірна структура тетраедрично скоординованих молекул води (модель неперервної структури води). Фактори навколишнього призводять до деформації (розтягування, згинання) водневих зв'язків, але не до їх руйнування. За другою моделлю вода розглядається як сукупність молекул, які по-різному асоційовані водневими зв'язками. Найбільшого поширення набула *модель миготливих кластерів* (Франк, Уен, 1957) (рис. 2.1, *в).*

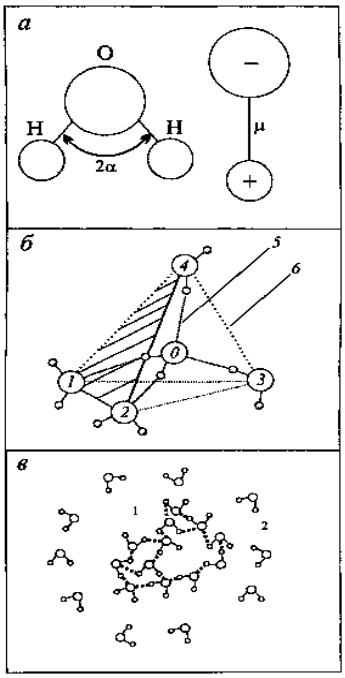


Рис. 2.1. ***Структура води:***
а – молекула води (μ – дипольний момент, 2α – валентний кут);
б – тетраедрична структура води (0, 1, 2, 3, 4 – молекули води, 5 – водневі зв'язки, 6 – ребро тетраедра);в – модель миготливих кластерів (1 – кластер, 2 – неасоційовані молекули води)

Кластери – це недовгоіснуючі асоціати молекул води. Вони постійно розпадаються і знову утворюються як кооперативні структури. Г. Неметі і Х. Шерага оцінили, що за температури 20 °С приблизно 70 % молекул води перебувають у вигляді кластерів і лише 30 % молекул не асоційовані. З підвищенням температури кількість кластерів води та їхній розмір зменшуються.

1.2. Фізичні властивості води

Вода характеризується такими фізичними властивостями:

1. Густина. При нормальному атмосферному тиску (0,1013 МПа або 1 атм чи 760 мм рт. ст.) та підвищенні температури від 0 до 4 °С об'єм води зменшується, а її густина досягає максимального значення при 4 °С (1 г/см^3, при цьому маса 1 см^3 води становить 1 г). При подальшому підвищенні температури густина зменшується. При замерзанні об'єм води збільшується на 11 %, при таненні – навпаки. З підвищенням тиску температура замерзання зменшується через кожні 13,17 МПа (130 атм) на 1 °С. Тому на глибинах вода не замерзає. Із збільшенням температури до 100 °С густина зменшується на 4 %.

2. Температура замерзання води – 0 °С, а температура кипіння – 100 °С (при нормальному атмосферному тиску). Із збільшенням тиску температура кипіння збільшується, а температура замерзання зменшується.

3. Теплота пароутворення – кількість теплоти, яку потрібно надати 1 кг води для переведення його з рідкого у газоподібний стан.

4. Теплоємність – це кількість теплоти, яку потрібно надати 1 кг води, для підвищення температури на 1 °С. Теплоємність води в 5–30 разів вища, ніж теплоємність інших речовин. Виняток становить водень та амоніак, які мають вищу теплоємність, ніж вода. Від 0 до 35 °С питома теплоємність води (та ще і ртуті) зменшується, а потім збільшується. Питома теплоємність води при 16 °С умовно взята за одиницю і є еталоном для інших речовин.

5. Вода має високу розчинну здатність. У воді аніони та катіони роз'єднуються, а навколо них утворюються гідратні оболонки.

Висока теплоємність захищає рослину від різкого підвищення температури при високій температурі повітря, а висока теплота плавлення бере участь у терморегуляції рослин. Висока температура кипіння та теплоємність свідчать про сильне притягування між сусідніми молекулами, в результаті чого рідка вода володіє великим внутрішнім щепленням.

1.3. Вміст та стан води в органоїдах, клітинах та окремих органах рослин

Розрізняють такі форми води у клітинах рослин:

1. Вільна вода – 95 %.
2. Зв'язана вода:

- зв'язана осмотично (гідратує розчинені речовини – йони та молекули);
- колоїдно зв'язана – це інтраміцелярна вода, що міститься всередині колоїдної системи (у тому числі й імобілізована вода, що входить до складу фібрилярних структур макромолекул), та інтерміцелярна вода, яка знаходиться на поверхні колоїдів та між ними;
- капілярно зв'язана – міститься у клітинних стінках і судинах провідної системи.

Вільна вода легко рухається, вступає у різні біохімічні реакції, випаровується в процесі транспірації та замерзає за низьких температур. 95 % води є розчинником та дисперсійним середовищем.

Вміст води в різних органах рослин коливається у широких межах. Він змінюється залежно від:

- умов навколишнього середовища (більша вологість – більший вміст води в рослині);
- віку рослини – у період інтенсивного росту вміст води у рослині буде більшим;
- органу рослин (у листках соняшника він становить 81 %: у стеблі – 88 %, а в корені – 71 %. У повітряно-сухого насіння – 6–11 %, тому і усі процеси життєдіяльності загальмовані);
- виду рослин.

Вода міститься у живих клітинах, мертвих елементах ксилеми та в міжклітинниках (у пароподібному стані).

У рідкому стані вода міститься у клітинних оболонках (30–50 %), вакуолі (98 %), протоплазмі (95 %). У міжфібрилярному просторі вона утримується силами поверхневого натягу. Частково вода адсорбується поверхнею фібрил клітинної оболонки.

Форми води в клітині:

- у вакуолі – осмотично зв'язана та вільна;
- у клітинній оболонці – капілярно зв'язана та колоїдно зв'язана, а також вільна;
- у цитоплазмі – вільна, колоїдно та осмотично зв'язана.

Інтенсивність фізіологічних процесів, перш за все, залежить від наявності вільної води. Вода утримується у клітинах за рахунок осмосу і набубнявіння біоколоїдів.

Клітинні оболонки, в основному, утримують воду за рахунок високої гідрофільності пектинових та целюлозних складових. Розрізняють малорух-

ливу (вода мікрокапілярів і та, що утримується на мікрофібрилах целюлози) та рухливу (міститься у великих капілярних проміжках) воду.

Цитоплазма містить близько 95 % води (за масою). Значна кількість води міститься всередині гідрофільних білків. У гідрофобних зонах білків вода має структуру льоду. Інші хімічні речовини також впливають на вміст води.

Пластиди, мітохондрії та ядра містять близько 50 % води (40 % води утримується ліпідами та ліпофільними речовинами).

Вакуоля містить 98 % води, у якій містяться цукри, органічні кислоти, солі, неорганічні йони, катіони, аніони, ферменти, білки тощо. Внутрішній вміст вакуолі є розчином, гідрофільною колоїдною фракцією.

1.4. Ґрунт як джерело води для рослин. Вплив зовнішніх умов на надходження води в рослину

На надходження води у рослину впливає:

1. Температура. У 1864 р. Ю. Сакс з'ясував, що при зниженні температури швидкість надходження води різко зменшується. Восени для рослин характерне осіннє в'янення. Це пов'язаное з виникненням водного дефіциту, оскільки надходження води у корінь сповільнюється через низьку температуру ґрунту, а інтенсивність транспірації висока, оскільки підвищилася температура повітря. Причинами сповільнення надходження води за знижених температур є:
   - підвищення густини води, відповідно, зменшення її рухливості;
   - зменшення проникності цитоплазми для води;
   - зменшення швидкості всіх метаболічних процесів, у результаті чого, зменшується осмотичний тиск клітин кореня.
2. Аерація ґрунту. Зниження аерації також гальмує надходження води. Це пов'язано зі зменшенням інтенсивності дихання клітин кореня, що призводить до порушення функцій, які вони виконують. Після сильних дощів проміжки ґрунту заповнюються водою, кисень не потрапляє до клітин кореня, процес дихання у клітинах сповільнюється, корінь не може поглинати воду, і тому на сонці при інтенсивній транспірації рослини в'януть.
3. Усі фактори навколишнього середовища та внутрішні фактори, які знижують рівень метаболізму. Наприклад, надлишок вуглекислого газу, дихальні отрути викликають сповільнення надходження води у рослину.

Великий вплив на надходження води у рослину відіграє вміст води у ґрунті та концентрація ґрунтового розчину. Вода надходить у корінь, коли всисна сила кореня більша за силу утримання води у ґрунті. Зменшення вмісту води у ґрунті призводить до збільшення концентрації ґрунтового розчину, а отже, до підвищення сили утримання води в ґрунті.

Таким чином, вода буде надходити у рослину при певному значенні градієнта водного потенціалу в системі: "ґрунт – рослина – атмосфера".

Як зазначалось вище (частина І, п. 6.1), виділяють такі форми води у ґрунті:

1. Гравітаційна вода. Займає великі проміжки між частинками ґрунту, доступна для рослин, але легко переміщується у нижні горизонти ґрунту під дією сили тяжіння, тому міститься у ґрунті лише відразу після дощів.

2. Капілярна вода. Дана форма води заповнює капіляри ґрунту, добре доступна, утримується у капілярах силами поверхневого натягу.

3. Плівкова вода. Дана форма води оточує колоїдні частинки ґрунту. Вода периферичних шарів гідратаційних оболонок може поглинатися клітинами кореня. Чим ближче до колоїдних частинок, тим з більшою силою вода утримується, а отже стає менш доступною для рослин.

4. Гігроскопічна вода. Адсорбується сухим ґрунтом за відносній вологості повітря 95 %. Дана форма води рослинам недоступна.

Кількість води (в %) у ґрунті, при якій рослина починає в'янути, називають **коефіцієнтом в'янення.** Початок в'янення мало залежить від виду рослин тому, що рослини в'януть в момент, коли вода у ґрунті перестає рухатися. Якщо в'янення починається при одній і тій же вологості у різних рослин, то інтервал в'янення (період від початку до загибелі рослини) різний. Наприклад, для бобів тривалість в'янення становить декілька діб, а для проса – декілька тижнів. Значення даного коефіцієнт для різних типів ґрунтів різне. Так, на чорноземах рослини починають в'янути при більшій вологості, ніж на підзолистих ґрунтах. Це пов'язано з тим, що він має більш тонкий механічний склад і з більшою силою утримує вологу. При в'яненні деяка кількість води все ж таки надходить у рослину, тому коефіцієнт в'янення не свідчить про воду, повністю недоступну рослині.

Кількість води, що недоступна рослині, називають **мертвим запасом вологи** у ґрунті. Він залежить від його механічного складу. Чим більше глинистих частинок у ґрунті, тим більший мертвий запас. Ґрунти більш тонкого механічного складу характеризуються більшою вологоємкістю. Кількість доступної води у ґрунті дорівнює різниці повної вологоємності (максимальної кількості води, що може утримувати ґрунт) і мертвого запасу. Так, суглинисті ґрунти мають не тільки найбільший мертвий запас, але і найбільший запас доступної води.

1.5. Надходження та переміщення води по рослині

Перші рослини, які жили у воді, проблем з забезпеченням нею не мали. Після виходу рослин на сушу з'явилась потреба пристосуватись, щоб забезпечити насиченість клітин водою, оскільки значна її частина втрачається у процесі випаровування. У зв'язку з цим у різних рослин виникли різні пристосування. Так, лишайники всмоктують воду всією поверхнею тіла. За нестачі вологи вони впадають у стан анабіозу. Вищі рослини мають спеціальні пристосування для поглинання води. Наземні рослини поглинають воду з ґрунту, а також невелику її кількість із атмосфери. Для епіфітів атмосферна волога є основним джерелом води. Вони мають повітряні корені з багатошаровою тканиною з порожнистих клітин з

тонкими стінками, які, як губка, всмоктують пароподібну воду. Таке явище спостерігається і в листках всіх інших рослин. Якщо коренева система знаходиться у сухому ґрунті, а листя стикається з насиченою парами води атмосферою, то вода буде надходити через листки до клітин кореня в ґрунт.

Поглинута клітинами кореня вода рухається до провідних елементів ксилеми згідно з градієнтом водного потенціалу, що виникає завдяки транспірації та силі кореневого тиску. Вода у корені рухається не лише по живих клітинах. У 1932 р. німецький фізіолог Е. Мюнх виділив у кореневій системі два відносно незалежні один від одного об'єми, по яких рухається вода, – **апопласт та симпласт.**

Апопласт – це вільний простір кореня, що складається з міжклітинних проміжків, клітинних оболонок і судин ксилеми.

Симпласт – сукупність протопластів всіх клітин, які відмежовані напівпроникною мембраною. Завдяки плазмодесмам симпласт являє собою єдину систему.

Апопласт розділений на 2 об'єми: перший – у корі кореня до клітин ендодерми і другий – по інший бік ендодерми (включає судини ксилеми).

Клітини ендодерми завдяки пояскам Каспарі є бар'єром для руху води по вільному простору (між клітинними проміжками та клітинними оболонками). Рух води по корі кореня відбувається по апопласту, частково по симпласту, потім у клітини ендодерми – по симпласту і в судини ксилеми.

Далі вода рухається по судинній системі кореня, стебла, листка. Ксилема складається з судин (трахей) та трахеїд. Рух води вгору відбувається по ксилемі, яка створює незначний опір. Деяка кількість води рухається поза ксилемою, у якій опір більший (не менше, ніж на три порядки). Тому поза ксилемою рухається лише 1–10 % від загального току води.

З судинної системи вода потрапляє у черешок або листковий слід і далі рухається по судинах листка. У листковій пластинці судини розміщені в жилках, які, розгалужуючись, стають дедалі тоншими. Чим густіша сітка жилок, тим менший опір воді. Через це густина жилкування – важлива ознака ксероморфної структури листка – є характерною ознакою стійких до посухи рослин. Іноді дрібних відгалужень жилок так багато, що вони підводять воду майже до кожної клітини. Якщо у клітині вода знаходиться у рівноважному стані (рівновага між вакуолею, цитоплазмою та клітинною оболонкою), то водні потенціали всіх структур клітини рівні. Якщо в результаті транспірації зменшується насиченість водою клітинних стінок паренхімних клітин, то вона передається всередину клітини і її водний потенціал падає. Вода рухається з клітини у клітину завдяки градієнту всисної сили. Рух води відбувається, в основному, по клітинних стінках, де опір менший, а не по симпласту. Таким чином, по судинах вода рухається завдяки присисній силі транспірації і відповідно до цього за участю градієнта водного потенціалу. На висоту більше 10 м майже ніякий насос підняти воду не може, а дерева транспортують воду іноді навіть вище 100 м. Це явище можна пояс-

нити теорією щеплення, яку сформулювали російський вчений Е. П. Вотчал та англійський фізіолог Е. Діксон (кінець XIX ст.). Згідно з нею вода у капілярних трубках судин ксилеми піднімається вгору завдяки присмоктувальному впливу транспірації, силі кореневого тиску, дії сили щеплення молекул води одна з одною (сили когезії) та сил прилипання стовпа води до гідрофільних стінок судин (сили адгезії). Дві останні перешкоджають утворенню біля стінок порожнин судин, заповнених повітрям (або парами води) і здатних закупорити судину. У разі, коли в окремі членики судин потрапляє повітря, вони, навпаки, виключаються із загального току руху води.

Швидкість руху води за добу змінюється. Вдень вона значно більша. Швидкість руху води у хвойних не більша 0,5–1 см за годину, а у листяних – 43,6 см/год.

У 1920 р. індійський вчений Дж. Ч. Бос прийшов до висновку, що діаметр стовбура вдень зменшується, а вночі збільшується. Це відбувається тому, що вдень транспірація посилюється, водний потенціал листків зменшується, натяг водних ниток стає сильнішим, в результаті чого вони тоншають і діаметр стовбура зменшується. Судини також дещо звужуються, але повністю звузитися не можуть завдяки кільчастим та спіральним потовщенням.

Таким чином, по судинах вода рухається завдяки:

1. Присмоктувальній силі транспірації.
2. Силі кореневого тиску.
3. Силам щеплення між молекулами води (силі когезії).
4. Силам щеплення води зі стінками судин (силі адгезії).

1.6. Основні двигуни водного току

У рослин існує два основні двигуни водного току:

1. Верхній – транспірація, або присмоктувальна сила випаровування.
2. Нижній – сила кореневого тиску.

При транспірації виникає градієнт водного потенціалу. У клітини, яка втрачає воду, він зменшується, і тому вода починає рухатися від клітини, яка має вищий водний потенціал, до клітини, потенціал якої нижчий. Тобто вода переміщується в бік меншого водного потенціалу. Таким чином, напрям руху води у листку – від ксилеми до клітин паренхими листка, з яких вода випаровується. Транспірація як верхній двигун мало пов’язана з функціонуванням кореневої системи. Вода може надходити у пагони і через мертву кореневу систему, при цьому поглинання води навіть прискорюється.

Нижнім двигуном є кореневий тиск – це сила, що викликає однобічний потік по судинах і не залежить від процесу транспірації. Кореневий тиск можна вимірювати, приєднуючи манометр до кінця, що залишився після зрізування надземних органів рослин. Величина кореневого тиску становить 0,1–0,15 МПа (Д. А. Сабінін).

Механізм дії кореневого тиску потребує більш детального вивчення. Його намагаються пояснити наступними двома гіпотезами:

1. Клітини кореня поляризовані завдяки проходженню у різних частинах клітини різних процесів обміну. У першій частині клітини (та, що ближча до поверхні кореня) відбувається розщеплення (наприклад, крохмаль розщеплюється до більш простих цукрів), в результаті чого концентрація розчинних речовин зростає (c_1). У другій частині (та, що далі від поверхні кореня) все навпаки – концентрація розчинних речовин зменшується завдяки синтезу складних речовин (c_2). Отже, $c_1>c_2$. Величина всисної сили першої частини клітини становить $S_1=p_1–T$, а іншої – $S_2=P_2–T$ (тургорний тиск однаковий в усіх частинах клітини). Якщо перша частина клітини межує з водою, то її всисна сила дуже мала і умовно її можна прирівняти до 0: $S_1=0$. Тому $p_1=T$ і, відповідно, всисна сила другої частини клітини дорівнює різниці осмотичних тисків першої і другої частин клітини: $S_2=p_2–p_1$. Оскільки $p_1>p_2$, то S_2 має від'ємне значення. Таким чином, перша частина клітини, яка межує з водою, її поглинає, а в іншій частині спостерігається секреція води. Якщо тургорний тиск перевищує осмотичний тиск, то клітина виділяє воду. Ці процеси відбуваються в усіх клітинах паренхіми кореня, і в результаті вода переміщується від поверхневих клітин, які поглинають воду, до провідних елементів ксилеми кореня. Цей механізм пояснює механізм кореневого тиску лише при достатній кількості води у навколишньому середовищі.

2. У судинах центрального циліндру кореня завжди є розчин певної концентрації, який має всисну силу, що дорівнює осмотичному тиску. Оскільки у мертвих клітинах ксилеми тургорний тиск відсутній, то вода буде відсмоктуватися від ближчих клітин. Втрачаючи воду, вони розвивають велику всисну силу, що дає змогу "забирати" воду від сусідньої з нею клітини, що її містить. Найменша всисна сила клітини, яка знаходиться біля жилки листка, а найбільша – тієї, яка міститься на краю листка. Щоб вода рухалась, потрібно, щоб всисна сила кожної наступної клітини зростала на 0,1 атм.

1.7. Гутація та "плач" рослин

Основні двигуни водного току працюють незалежно один від одного. Так, у листках зрізаної гілки, яку помістили у воду, транспірація не припиняється, хоча коренева система відсутня. Незалежність функціонування кореневого тиску від транспірації доводять явища гутації та "плачу" рослин.

Гутація – це процес виділення на кінцях та зубчиках листкової пластинки краплиннорідкої води з невеликою кількістю розчинних речовин. Таку рідину назвали гутою. Дане явище особливо характерне для тропічних рослин, які живуть в умовах підвищеної вологості.

Гутація спостерігається при високій вологості повітря, що призводить до закривання продихів та припинення продихової транспірації. Незалежно від цього корінь продовжує поглинати воду і нагнітати її у рослину. В

результаті надлишок води виділяється крізь спеціальні водні утвори – гідатоди. Гідатоди – це водні продихи, які локалізовані у зубчиках листка. У своєму складі вони містять паренхімну тканину – епітему. До неї під дією кореневого тиску надходить ксилемний сік із судин ксилеми. Крізь клітини епітеми він "відфільтровується", в результаті чого у клітинах лишаються нітрогеновмісні сполуки, а водний розчин крізь субепідермальну порожнину і водний продих виділяється назовні. У гуті виявлено мінеральні та органічні речовини.

"Плач" рослин спостерігається навесні у дерев з нерозвинутими листками. У такому разі інтенсивний ксилемний потік рідини, рухаючись знизу вгору, виділяється крізь пошкодження ксилеми (надрізи стовбура, надломлені краї гілок), тобто поранене дерево "плаче". Це свідчить про значний кореневий тиск біля основи стовбура у цей період. Він може сягати не менше 1,013 МПа (10 атм). Рідину, що виділяється, назвали пасокою – це вода з розчиненими речовинами. Концентрація пасоки значно більша від концентрації гути.

1.8. Транспірація та її значення для рослин. Особливості будови листка як орган транспірації

Транспірація – це фізіологічний процес випаровування води рослиною. Основний орган транспірації – листок.

К. А. Тімірязєв назвав транспірацію необхідним фізіологічним злом, оскільки у таких об’ємах, у яких вода поглинається рослиною, вона їй не потрібна. Майже половина поглинутої сонячної енергії рослина використовує саме на транспірацію. Незважаючи на це, процес транспірації потрібен і виконує певні функції:

- захищає рослину від перегрівання на прямому сонячному промінні. При транспірації температура листка знижується на 7 ºС. Перегрівання призводить до руйнування хлоропластів, зниження інтенсивності фотосинтезу (оптимальна температура 30–35 ºС). Отже, багато рослин завдяки транспірації здатні активно функціонувати за підвищених температур;
- створює безперервний потік води від кореневої системи до листка, який позв’язує усі органи рослини у єдине ціле;
- забезпечує надходження з ґрунту і транспортування по рослині розчинених мінеральних і частково органічних поживних речовини.

Впродовж еволюційного розвитку рослин листок формувався як орган фотосинтезу і транспірації, тому особливості його будови пов’язані з проходженням саме цих процесів.

Середня товщина листкової пластинки – 100–200 мкм. Клітини мезофілу листка (палісадна та губчаста паренхіма) розміщені рихло, між ними сформована система міжклітинників, що становить 15–25 % від об’єму листка. Площа внутрішньої поверхні листка значно більша за площу його

зовнішньої поверхні. Вода у міжклітинниках випаровується з усіх відкритих ділянок клітин мезофілу. Листок вкритий покривною тканиною – епідермісом, що складається з компактно розміщених клітин, зовнішні стінки яких потовщені. Листя більшості рослин вкрите кутикулою, до складу якої входять оксомонокарбонові кислоти, які містять 16–28 атомів Карбону і 2–3 ОН-групи. Пов'язуючись одна з одною ефірними зв'язками кислоти утворюють ланцюги. Склад та товщина кутикули бувають різними. Так, у світлолюбних та посухостійких рослин кутикула більш розвинута порівняно з тіневитривалими та вологостійкими. Кутикула разом з клітинами епідермісу є бар'єром на шляху випаровування води, і тому її видалення у багато разів підвищує інтенсивність транспірації. На поверхні епідермісу часто розміщуються волоски, лусочки, які знижують швидкість руху повітря над його поверхнею і розсіюють світло, що захищає листок від надмірної втрати води при транспірації.

Зв'язок внутрішньої системи листка з атмосферою здійснюється за рахунок продихів. Продихи – це універсальні пристосування листка, які здатні закриватися та відкриватися залежно від вмісту води у рослині. Кількість продихів залежить від виду рослин – 1–60 тис./см^2. Більша кількість продихів наземних рослин розміщена на нижній поверхні листкової пластинки. Діаметр продихової щілини дорівнює 3–12 мкм.

1.9. Типи транспірації. Регуляція продихової транспірації

Відомо кілька шляхів випаровування води з поверхні рослини і, відповідно, типів транспірації:

- крізь перидерму – перидермальна;
- крізь зовнішні стінки клітин епідермісу і кутикулу – кутикулярна;
- крізь стінки клітин мезофілу у міжклітинний простір і далі крізь продихи – продихова.

Перидермальна транспірація. Випаровування води крізь вторинну покривну тканину – перидерму. Інтенсивність транспірації залежатиме від цілісності тканини і кількості сочевичок.

Кутикулярна транспірація. При відкритих продихах втрата парів води крізь кутикулу незначна порівняно з загальною транспірацією. Якщо ж продихи закриті (в умовах посухи), кутикулярна транспірація має важливе значення для рослин. Її інтенсивність залежить від виду рослини (особливостей будови листка) і віку листкової пластинки. У різних видів частка кутикулярної транспірації порівняно з загальною може сягати аж 50 %. Так, магнолії та хвойні мають товстий шар кутину у кутикулі, що призводить до незначної втрати води, а рослини з тонким шаром кутикули на листку більшою мірою страждають від втрат води.

Частка кутикулярної транспірації у молодих листках, які мають тонкий шар кутикули, становить близько 50 %, у сформованих – 10 %, а у старіючих листків внаслідок пошкодження кутикули може підвищувати аж до 30 %.

Продихова транспірація. Основна частка води випаровується через продихи. Розрізняють наступні етапи транспірації:

І етап. Перехід води з клітинних оболонок (краплинно-рідкий стан води) у міжклітинники (пароподібний стан води). Це, власне, і є фізичним процесом випаровування. Уже на цьому етапі рослина здатна регулювати транспірацію – *позапродихова* регуляція. Її механізм пов'язаний з:

- сталим співвідношенням води в усіх складових клітини: зменшення води в одній із них призводить до зміни її вмісту у інших;
- залежністю напрямку дії сил поверхневого натягу від насиченості цитоплазми водою. Так, при достатній кількості води у цитоплазмі капіляри клітинної оболонки насичені водою, меніск води у капілярах має випуклу форму. У цьому разі сили поверхневого натягу сприяють швидкому випаровуванню молекули води. І навпаки – при нестачі води меніск має ввігнуту форму, випаровування води мінімальне.

ІІ етап. Переміщення парів води з міжклітинників на зовнішній бік листкової пластинки крізь продихи. Поверхня усіх клітинних стінок, що межують із міжклітинниками, у 10–30 разів більша від поверхні листка. При закритих продихах міжклітинний простір насичений парами води, при цьому випаровування припиняється. При відкритих продихах частина парів рухається у навколишній простір і їх нестача поповнюється шляхом випаровування води з поверхні клітин.

На даному етапі спостерігається *продихова* регуляція транспірації – її залежність від ступеня відкритості продихів. Нестача води у листку призводить до автоматичного закривання продихів. Повне їх закривання зменшує інтенсивність транспірації до 10 %. Зменшення діаметра продихової щілини не завжди призводить до відповідного скорочення транспірації, а лише у разі її закриття більше ніж наполовину.

При відкритих продихах поверхня продихових щілин становить 1–2 % від площі листкової пластинки.

ІІІ етап. Дифузія парів води з зовнішньої поверхні листка у подальші шари атмосфери. Регуляція транспірації на цьому етапі відбувається *факторами навколишнього середовища*.

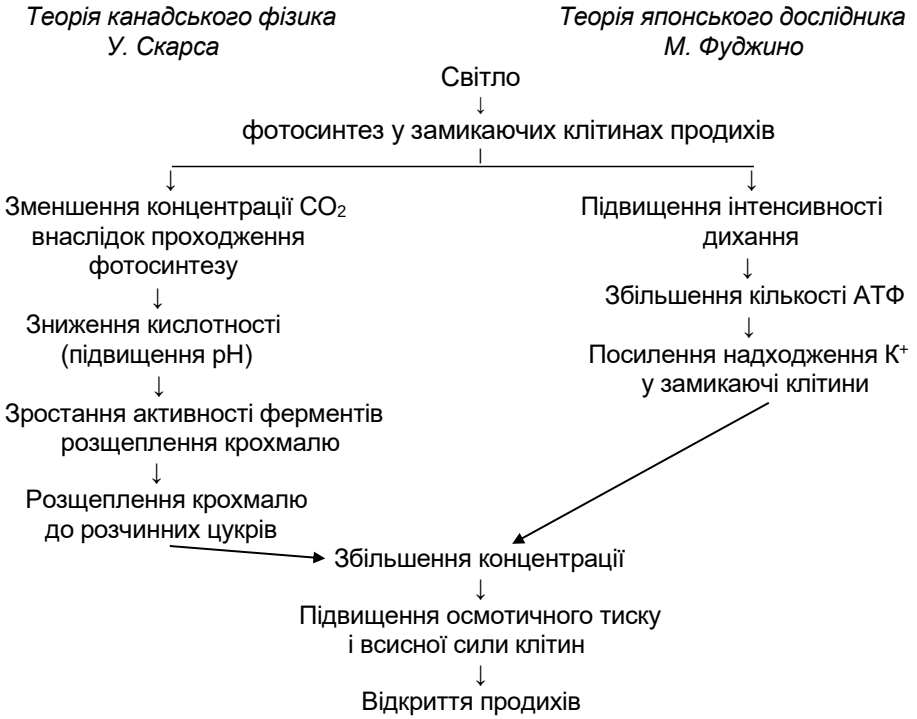
1.10. Вплив зовнішніх умов на ступінь відкритості продихів

Механізм відкривання і закривання продихів пов'язаний із вмістом води у рослині і наповненістю нею замикаючих клітин продихів. Вміст води в рослині, у свою чергу, залежить від умов навколишнього середовища. Тому розрізняють три типи реакцій продихового апарату (три типи руху продихів) на умови навколишнього середовища:

1. Гідропасивна реакція (гідропасивний рух) – пасивне закривання продихів внаслідок механічного тиску переповнених водою паренхімних клітин, які межують із замикаючими. Такий рух продихів спостерігається при перезволоженні навколишнього середовища (після сильних дощів чи надмірного поливу) і як наслідок переповненні клітин водою. Продихи відкриються лише після втрати води рослиною за рахунок кутикулярної і перидермальної транспірацій або за рахунок гутації. Тимчасове закривання продихів може стати причиною гальмування процесів фотосинтезу.

2. Гідроактивна реакція (гідроактивний рух продихів) – відкривання і закривання продихів, викликані змінами вмісту води у замикаючих клітинах продихів.

3. Фотоактивна реакція (фотоактивний рух продихів).



Фотоактивний рух продихів пов'язаний з відкриванням продихів на світлі і закриванням у темряві. Це має пристосувальне значення – відкриття продихів на світлі сприяє активному надходженню вуглекислого газу (CO_2) до хлоропластів, що є необхідною умовою фотосинтезу. Механізм фотоактивного руху потребує більш детального дослідження. Відомо, що світло впливає на відкриття продихів опосередковано – через зміну концентрації CO_2 у замикаючих клітинах. При зниженні концентрації CO_2 до певного значення, що залежить від виду рослин і змінюється при нестачі вологи, продихи відкриваються, а при підвищенні – закриваються.

Існує дві теорії, які пояснюють механізм фотоактивного руху продихів. Обидві теорії мають право на існування. Це доводить реакція продихів на дію абсцизової кислоти, яка попереджає відкриття продихів та стимулює їх закривання. Ця речовина – фітогормон, який сповільнює синтез ферментів розщеплення крохмалю, а також приводить до зменшення кількості АТФ.

Стан продихів відображає забезпеченість рослини водою. Закриті продихи свідчать про порушення водного обміну, і як наслідок, про недостатнє надходження у рослину вуглекислого газу.

1.11. Добові рухи продихів у різних рослин. Добовий хід процесу транспірації

За добовим рухом продихів розрізняють 3 групи рослин:

1. Рослини, у яких вночі продихи завжди закриті, вранці відкриваються, і впродовж дня їх стан залежить від умов навколишнього середовища: закриваються при нестачі води і відкриваються при достатній її кількості. Представники – хлібні злаки.

2. Рослини, у яких продихи вранці відкриваються, а вдень, залежно від умов навколишнього середовища, відкриті або закриті. Стан продихів вночі залежить від їх стану впродовж дня: якщо вдень були закриті, то вночі відкриваються, і навпаки. Представники – люцерна, конюшина, горох, боби.

3. Рослини, у яких вночі продихи завжди відкриті, а впродовж дня їх стан залежить від умов навколишнього середовища: відкриті або закриті. Представники – сукуленти.

Інтенсивність транспірації змінюється впродовж доби і залежить від умов навколишнього середовища і внутрішнього стану рослинного організму. Так, зменшення цього показника у нічний період пов'язано з підвищенням вологості повітря, зниженням температури, відсутністю світла та закриттям продихів. Транспірація вночі становить 3–5 % денного показника. Вдень зміна інтенсивності транспірації відповідає змінам метеофакторів (температури, світла, вологості). Максимальна тривалість транспірації впродовж доби – 12–13 год. Від фізіологічного стану рослин транспірація мало залежить.

Періодичність добової зміни інтенсивності транспірації залежить від виду рослин та погодних умов. За добовим ходом транспірації виділяють:

1. Гідростабільні види (дерева, тіньовитривалі рослини, більшість злаків тощо). У них максимальна інтенсивність транспірації спостерігається за максимальної денної температури. У обідній час цей показник зменшується у зв'язку з гідроактивним закриванням продихів, оскільки у цей період випаровування води перевищує її надходження у рослину. Зниження температури у передвечірні години може викликати збільшення інтенсивності транспірації. У гідростабільних видів спостерігаються незначні добові зміни осмотичного тиску і кількості води в клітинах.

2. Гідролабільні види. У них впродовж дня продихи завжди відкриті, і зміна інтенсивності транспірації пропорційна зміні температури. Таким чином, швидкість випаровування води рослиною максимальна в обідній час, а мінімальна – вночі. Це призводить до значних добових змін осмотичного тиску і кількості води в клітині.

1.12. Показники транспірації. Вплив на транспірацію умов навколишнього середовища

Транспірацію можна охарактеризувати наступними показниками:

- *інтенсивність транспірації* – кількість води (г), яка випаровується рослиною за одиницю часу (год) з одиниці поверхні листкової пластинки ($м^2$). За даними М. О. Максимова, у більшості рослин інтенсивність транспірації становить вдень 15–250, а впродовж ночі – 1–20 г/$м^2$ за годину;

- *економність* (або *швидкість витрати водного запасу*) – частка (%) води (мг), яку випаровує рослина за одиницю часу, по відношенню до її загального вмісту у рослині (кг). Розрахунки проводять по відношенню до свіжої чи сухої маси листка, а не до його поверхні. За даними М. О. Максимова, швидкість витрати водного запасу у різних рослин різна і становить 10–80 %;

- *продуктивність транспірації* – кількість сухої речовини (г), що утворюється при випаровуванні кожних 1000 г води. У помірному кліматі даний показник рослин становить 1–8 г (в середньому 3 г);

- *відносна транспірація* – відношення води, що випаровується листком, до води, що випаровується з вільної водної поверхні тієї ж площі за однаковий час. Даний показник завжди менший одиниці;

- *транспіраційний коефіцієнт* – кількість води (г), що випаровується рослиною при накопиченні нею 1 г сухої речовини. У зоні помірного клімату даний показник становить 125–1000 г (у середньому 300 г).

На синтез речовин свого тіла рослина використовує лише 0,2 % поглинутої води, а решта 99,8 % випаровується.

Залежність випаровування води з вільної водної поверхні від умов навколишнього середовища описується рівнянням Дальтона:

$$V = k(F-f)760/p,$$

де V – об’єм води, що випарувалася з одиниці поверхні;
k – коефіцієнт дифузії води;
F – пружність парів води, що насичують даний простір;
f – пружність парів води в навколишньому просторі;
760 – нормальний атмосферний тиск (в мм рт. ст.);
p – атмосферний тиск у момент досліду.

Залежність інтенсивності транспірації від факторів навколишнього середовища також можна охарактеризувати даним рівнянням, але за

відсутності переміщення повітряних мас (відсутності вітру), а також враховуючи здатність рослин регулювати обмінні процеси.

Так, інтенсивність транспірації залежить від:

1. Насиченості атмосфери (f) та міжклітинників (F) парами води, або дефіциту вологості (F-f). Спостерігається прямопропорційна залежність: чим більший дефіцит вологості, тим більша інтенсивність транспірації. Хоча інтенсивність транспірації змінюється не так різко порівняно з розрахунками за формулою. Це пов'язано з продиховою і позапродиховою регуляцією рослин, в результаті яких вплив умов навколишнього середовища виявляється не так різко.

2. Температури. З підвищенням температури збільшується швидкість випаровування, а отже, кількість парів води, що насичують даний простір (F). Чим більша пружність парів води, що насичують даний простір, тим більший дефіцит вологості, що сприятиме збільшенню інтенсивності транспірації.

3. Вологості ґрунту. Зі збільшенням вологості ґрунту збільшується кількість води, що надходить у рослину, а отже, і кількість парів води, що насичують даний простір (F). У результаті цього транспірація посилюватиметься. І навпаки: чим більша величина осмотичного потенціалу ґрунтового розчину, тим менша інтенсивність транспірації при рівності інших умов.

4. Освітлення. На світлі інтенсивність транспірації підвищується у зв'язку з:

- підвищенням температури листкової пластинки, що прискорює випаровування води. Отже, вплив світла на транспірацію посилюватиметься зі збільшенням вмісту хлорофілу. У зелених рослин розсіяне світло підвищує транспірацію на 30–40 %;
- збільшенням проникності цитоплазми для води;
- відкриттям продихів.

5. Вітру. Він перемішує шари повітря, в результаті чого посилюються кутикулярна транспірація та третій етап продихової транспірації. При суховіях гаряче повітря може проникати у міжклітинники, в результаті чого продихова транспірація посилюється уже і на першому етапі.

1.13. Вплив на рослину нестачі води

При порушенні водного балансу рослин (співвідношення інтенсивності транспірації та швидкості надходження води у рослину) виникає водний дефіцит. Залежно від умов виникнення розрізняють два типи водного дефіциту і, відповідно, два типи в'янення.

1. *Тимчасовий водний дефіцит.* Виникає при атмосферній посусі. Опівдні, коли швидкість надходження води менша за інтенсивність транспірації, вміст води у рослинному організмі зменшується – виникає водний дефіцит. Впродовж ночі за рахунок поглинання коренем води з ґрунту він зникає, і клітини набувають тургорного стану. Такий дефіцит є причиною

тимчасового в'янення рослин. Шкідливим наслідком такого в'янення є закриття продихів, що призводить до зменшення інтенсивності фотосинтезу, накопичення сухої речовини та швидкості росту рослини. З іншого боку, тимчасове в'янення виконує і захисну роль – продихи закриваються, зменшується інтенсивність транспірації і рослина протягом деякого часу зберігає воду (перечікує посуху).

2. *Залишковий водний дефіцит.* Виникає при ґрунтовій посусі, коли у ґрунті не лишається доступної для поглинання рослиною води. Вечірня нестача води впродовж ночі посилюється, і на ранок водний дефіцит лишається, а протягом наступного дня ще і посилюється. Такий водний дефіцит є причиною *тривалого (або глибокого) в'янення* рослин. У такому разі спостерігається загальне виснаження всього організму. Наслідки можуть бути незворотніми та згубними для рослини.

Механізм в'янення. Перші стадії в'янення схожі з першими стадіями плазмолізу: зменшення води у клітині призводить до зменшення об'єму цитоплазми. Але в подальшому ці процеси відрізняються. Так, при плазмолізі вода з цитоплазми проникає у зовнішній розчин, що міститься між клітинною оболонкою та протоплазмою, а об'єм протоплазми зменшується. У результаті ж в'янення, втрачаючи воду при транспірації, протоплазма скорочується і тягне за собою клітинну оболонку, на якій утворюються складки. При цьому тканина, орган і рослина в цілому втрачають форму та механічне положення.

Порушення у фізіологічній діяльності рослин при в'яненні можуть бути більш або менш сильними, зворотніми чи не незворотніми. Це залежить від тривалості зневоднення та виду рослин. Спостерігається наступне:

1. Зменшення кількості вільної води у рослині і, як результат, збільшення в'язкості цитоплазми, концентрації клітинного соку, осмотичного тиску та всисної сили.

2. Збільшення проникності мембран, зменшення їх здатності до вибіркового поглинання речовин, поява явища екоосмосу (переміщення йонів з клітин у зовнішній розчин).

3. Порушення гідратної оболонки та зміна конфігурації білків-ферментів і їх активності: активність ферментів синтезу зменшується, а ферментів розпаду, навпаки, збільшується.

4. Закривання продихів і, як результат, зменшення надходження вуглекислого газу та кисню у клітини, зниження інтенсивності фотосинтезу.

5. Збільшення інтенсивності дихання на перших етапах в'янення, але при цьому енергія виділяється у вигляді тепла, а не використовується на синтез АТФ. На наступних стадіях в'янення дихання сповільнюється.

6. Порушення нуклеїнового обміну: гальмування синтезу ДНК, посилення розщеплення ДНК і РНК.

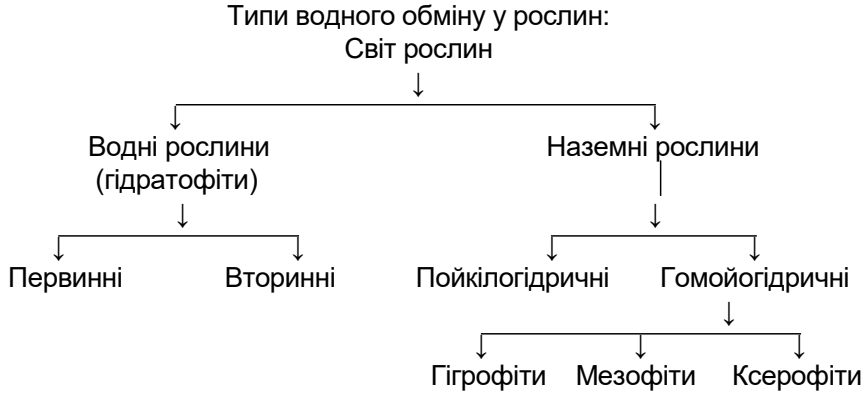
7. Припинення росту рослин через зниження інтенсивності фотосинтезу та дихання.

8. Посилення процесів розщеплення складних органічних речовин до простих органічних і неорганічних. Наприклад, крохмалю до цукрів, білків до амінокислот і далі до амоніаку, який отруює рослину.

Першими страждають коренева система, а також старіші листки, оскільки молоді відтягують від них воду. У результаті цього гинуть кореневі волоски і посилюється окорковіння коренів, зменшується зона всмоктування і проникність клітин кореня для води. Усі ці зміни подовжують час відновлення нормального функціонального стану рослинного організму.

Сила негативного впливу водного дефіциту залежить від фази онтогенезу рослини. Найчутливіші рослини у критичні періоди, а саме – періоди найінтенсивнішого росту і формування органів: проростання, закладання квіткових бруньок, квітування, формування пилку і запліднення (Ф. Д. Сказкін, В. В. Анікієв). Менш чутливі рослини у період спокою.

1.14. Особливості водного режиму у різних екологічних груп рослин



Гідратофіти поглинають воду усією поверхнею тіла, тому підтримання функціонального стану внутрішнього середовища пов'язане із захистом від надлишкового надходження води. Первинними гідратофітами є водорості, а вторинними – водні квіткові рослини, для яких характерні риси і первинних гідратофітів і наземних рослин.

Наземні рослини інтенсивно випаровують воду, тому механізми регуляції пов'язані з захистом від зневоднення. За здатністю пристосовувати водний обмін до коливань водозабезпечення їх поділяють на пойкілогідричні та гомойогідричні.

До пойкілогідричних організмів відносять бактерії, ціанеї, водорості, гриби, лишайники. Нестача води не призводить до втрати їх життєдіяльності. Дані організми є гідролабільними видами. До даної групи з покрито-

насінних рослин відносяться лише деякі (злаки сухих степів), але їх пилкові зерна і зародки (насіння) потребують наявності води.

Гомойогідричні організми – це наземні папороті, голонасінні та квіткові. Для них характерна регуляція кутикулярної та продихової транспірацій. У даних рослин не спостерігається різкого коливання вмісту води, вони відносяться до гідростабільних видів. Їх поділяють на 3 групи:

1. Гігрофіти – рослини, занурені у воду повністю або частково, та рослини вологих місць зростання (калюжниця, деякі фіалки).

2. Мезофіти – рослини умов середнього рівня водозабезпечення. Вони не мають яскравих пристосувань до надлишку або нестачі вологи (листяні дерева, трави лісів та луків, культурні рослини).

3. Ксерофіти – рослини посушливих місць зростання. Вони здатні пристосовуватися до нерегулярного водозабезпечення в процесі онтогенезу.

Дана група рослин фізіологічно неоднорідна: є рослини як із низькою, так і високою інтенсивністю транспірації. За фізіологічними особливостями пристосування до посушливих умов зростання їх можна поділити на 4 основні групи.

1. *Ефемери*. Їх вегетаційний період приурочений до вологого періоду, тобто рослини уникають посухи. Наприклад, маки.

2. *Несправжні ксерофіти* (за М. О. Максимовим), або сукуленти. Дані рослини також уникають посухи, але шляхом накопичення вологи у м'ясистих органах (стеблах, листках, коренях). Для зниження інтенсивності транспірації надземні органи часто вкриті товстим шаром кутикули, листки видозмінюються у колючки, вдень продихи закриваються. Оскільки сукуленти ростуть у місцях з чергуванням періодів дощів та посухи, їх коренева система розгалужена і розміщена у поверхневих шарах ґрунту (для швидкого поглинання якомога більшої кількості води). Осмотичний тиск клітин низький. При використанні накопиченої вологи вони швидко в'януть і гинуть, тобто до зневоднення вони не стійкі. Представниками даної групи є кактуси, алое, очиток їдкий, молодило руське тощо.

3. *Справжні ксерофіти*. Рослини, які активно борються з посухою, добуваючи воду. Їх коренева система добре розгалужена, проникає глибоко у ґрунт, іноді сягаючи ґрунтових вод. Рослини мають добре розвинену провідну систему. Для них характерна ксероморфна структура (листя тонке з густою сіткою жилок та великою кількістю продихів, клітини листка малі, але їх дуже багато). Навіть за високих денних температур продихи даних рослин відкриті, інтенсивність транспірації дуже висока. Фотосинтез рослин даної групи відбувається за досить високих температур, оскільки від перегрівання листкових пластинок захищає транспірація і покриття волосками. Дані рослини здатні до тривалого в'янення без незворотніх наслідків. До даної групи відносяться степова люцерна, дикий кавун тощо.

4. Склерофіти. Дані рослини уникають посухи, переживаючи її у стані спокою, подібному до анабіозу. У них добре розвинута механічна тканина, яка протидіє зморщуванню рослин внаслідок в'янення. При в'яненні кіль-

кість води у листках може зменшуватись до 25 %. Цитоплазма має високу в'язкість. За достатньої кількості води інтенсивність транспірації висока, за нестачі води зменшується. Випаровування сповільнюється за рахунок скручування листків у трубочку продихами всередину, розміщення продихів у спеціальних заглибинах, які закриваються смоляними корками, та видозміни листків. Представниками даної групи є ковила та типчак.

1.15. Фізіологічні основи зрошення

Одним з найкращих способів боротьби з посухою є зрошення. При його застосуванні обов'язково потрібно враховувати терміни, норми, методи поливу, вид рослини, тип ґрунту тощо.

При надлишковому зрошенні надлишкова кількість води ущільнює ґрунт аж до заболочення, що зменшує його аерацію. Це сповільнює інтенсивність дихання клітин кореня і призводить до його загнивання. Крім того, при зниженні аерації ґрунту в ньому накопичуються і можуть отруювати рослини токсичні продукти напівокиснення. Вода, проникаючи у нижні горизонти ґрунту, розчиняє солі, які дифундують у поверхневі шари ґрунту, в результаті чого спостерігається їх засолення.

При нерівномірному зрошенні рослини періодично отримують велику кількість вологи. У період достатнього забезпечення водою рослини розвивають велику вегетативну масу, яка починає хворіти у період нестачі вологи. Такі рослини дають менші врожаї, ніж ті, зрошення яких менш інтенсивне, але рівномірне.

Способи зрошення – дощування, краплинне зрошування, підземне зрошування, прикореневе тощо.

При зрошуванні с враховувати (показники зрошення): вид рослини, тип ґрунту, спосіб зрошення, ступінь відкритості продихів, вміст води у листкових пластинках, інтенсивність транспірації, величину всисної сили.

При вирощуванні посухостійких рослин селекціонери враховують вказані показники зрошення. Паралельно з селекційною роботою в даний час запропоновані методи допосівного загартування рослин. Було помічено, що рослини, які пережили посуху, стають більш стійкими до зневоднення. У зв'язку з цим П. О. Генкель запропонував підсушувати намочене насіння перед висіванням. З такого насіння виростають рослини, більш стійкі до посухи. Можливо, при підсушуванні білки-ферменти перебудовуються і стають менш чутливими до втрати води. Крім того, такі рослини мають більш виражену ксероморфну структуру, а отже, більш стійкі до посухи.

РОЗДІЛ 2
КОРЕНЕВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

2.1. Практичне та теоретичне значення вивчення процесів кореневого живлення

Кореневе живлення – це сукупність процесів поглинання мінеральних солей з ґрунту, транспортування їх по рослині, розподілу та перерозподілу між органами і включення у метаболізм.

За аналізом елементного складу рослин відомо, що в середньому їх суха маса містить С – 45 %, О – 42 %, Н – 6,5 %, N – 1,5 %. Рослини використовують як джерело Карбону CO_2 повітря, Оксигену і Гідрогену воду. Крім того, Оксиген включається в обмін речовин під час процесу дихання. Нітроген та інші елементи, які містяться у складі попелу після спалювання рослин, надходять до них через кореневу систему з ґрунту в основному у вигляді мінеральних солей. У зв'язку з цим кореневе живлення ще називають і *мінеральним живленням* рослин.

Керувати процесами живлення рослин через кореневі системи шляхом внесення добрив у ґрунт значно легше порівняно з керуванням надходження у рослину CO_2 повітря. Саме тому вчення про кореневе живлення рослин тісно пов'язане із землеробством.

Вивчення процесів мінерального живлення має як теоретичне, так і практичне значення. Теоретичне значення полягає у пізнанні процесів:

- поглинання мінеральних солей з ґрунту, транспортування по рослині та участі їх у процесах обміну;
- перетворення неорганічних речовин на органічні, тобто перетворення неживої матерії на живу.

Практичне значення вивчення процесів мінерального живлення полягає в тому, що ці знання потрібні для створення теоретичних основ сільськогосподарського виробництва для спрямованого впливу на процеси мінерального живлення вирощуваних рослин з метою збільшення кількості та якості врожаю.

2.2. Розвиток вчення про кореневе живлення рослин

Поняття про кореневе живлення рослин почали формуватись у зв'язку із розвитком рослинництва. Вже у VI–V тисячоліттях до нашої ери вирощували пшеницю, ячмінь, жито, кукурудзу, льон, коноплі, багато городніх культур і плодові дерева. При цьому використовували попіл, мул та гній як засоби для підвищення родючості ґрунтів.

Перший фізіологічний експеримент з метою вивчення процесів живлення рослин був проведений голландцем Я. Б. ван Гельмонтом у 1629 р. Він висадив у глиняну посудину, яка містила 91 кг ґрунту, гілку верби масою 2,25 кг та регулярно поливав ґрунт дощовою водою. Через 5 років рослина і ґрунт були окремо зважені. Виявилось, що маса верби була 77 кг (збільшилась майже на 75 кг), а маса сухого ґрунту зменшилась всього на 56,6 г. Отже, маса рослини збільшилась у 33 рази, не враховуючи щорічного опадання листя. Я. Б. ван Гельмонт зробив висновок, що рослинна маса збільшилась за рахунок води, яку вносили при поливі. Цей дослід став основою для створення водної теорії живлення рослин, якої тривалий час дотримувались ботаніки.

Значно раніше Аристотель (384–322 рр. до н. е.) висунув припущення про те, що рослини поглинають з ґрунту елементи живлення у вигляді складних речовин. Це уявлення у кін. XVIII – на поч. XIX ст. було розвинуте німецьким агрономом А. Теєром, який розробив гумусну теорію живлення рослин. Вже давно було відомо, що темніший ґрунт більш родючий. Темний колір ґрунту залежить від вмісту у ньому різних органічних залишків чи гумусу (перегною). За гумусовою теорією, рослини живляться водою та гумусом.

Наука про мінеральне живлення рослин як самостійний напрям сформувалася у др. пол. XIX – на поч. XX ст. У той час вирішували дві основні проблеми:

- які елементи мінерального живлення потрібні для рослин;
- яким чином ці елементи потрапляють у рослинний організм.

У першій половині XX ст. постала нова проблема: – як відбувається асиміляція поглинутих елементів мінерального живлення і які їх функції у процесах обміну.

Поступово накопичувалися дані про роль мінеральних елементів у живленні рослин. Один із відомих засновників агрономії А. Т. Болотов сформулював основні принципи мінерального живлення рослин. У 1770 р. вийшла його праця "Об удобрении земель". У ній він писав, що елементи живлення рослин у ґрунті містяться у воді та деяких особливих земляних чи мінеральних частинках. Він розробив прийоми внесення добрив у ґрунт та в одній із статей перерахував 53 види добрив, які можуть застосовуватись у сільському господарстві.

Швейцарський природодослідник Н. Т. Соссюр систематизував відомі на той час дані про живлення рослин та встановив, що ґрунт постачає рослинам Нітроген та інші мінеральні елементи. При вирощуванні рослин із насіння на дистильованій воді приріст попелу, що утворювався після спалювання рослини, не спостерігався. У своїй праці "Хімічні дослідження рослин" (1804) він звернув увагу на те, що різні солі поглинаються коренями із водного розчину з неоднаковою швидкістю.

Французький агрохімік Ж. Б. Буссенго (1837) довів, що рослини можна вирощувати і на чистому піску, якщо вносити у нього мінеральні солі (попіл і селітру).

Німецький хімік Ю. Лібіх, один із засновників агрохімії, не підтримував гумусну теорію. У 1840 р. він опублікував працю "Хімія як додаток до землеробства і фізіології", де заснував теорію мінерального живлення рослин. Згідно з нею основою родючості є мінеральні речовини ґрунту. Ю. Лібіх вважав, що перегній потрібен лише для утворення CO_2, який прискорює вивітрювання материнської гірської породи і збільшує культурний шар ґрунту. Він першим запропонував вносити як добрива мінеральні речовини у чистому вигляді. Правильно оцінюючи значення мінеральних елементів у живленні рослин, Ю. Лібіх у той же час вважав, що рослини поглинають Нітроген із повітря у вигляді аміаку. Тільки пізніше, у 1856 р., під тиском беззаперечних фактів Ю. Лібіх змушений був визнати, що джерелом Нітрогену для мінерального живлення рослин можуть бути нітрати. Неправильним у теорії Ю. Лібіха було також заперечення значення органічних речовин ґрунту для розвитку рослин. Як зараз відомо, гумус потрібен не стільки для розвитку самої рослини, скільки для формування мікрофлори ґрунту, яка відіграє значну роль у живленні рослин.

Ю. Лібіх сформулював "закон мінімуму", згідно з яким внесення будь-якої кількості мінеральних речовин не дасть приросту врожаю, доки не буде ліквідована нестача речовин, які знаходяться у мінімальній кількості. Також відомий його "закон повернення", який вказує на необхідність повернення у ґрунт поживних речовин, які були використані рослиною. Він стверджував, що недотримання принципу повного повернення призведе до повного виснаження ґрунту та зниження його родючості.

Остаточно спростували гумусну теорію досліди І. Кнопа та Ю. Сакса (1859). Вони показали, що можна виростити рослину на воді до повного її дозрівання при забезпеченні її лише сімома елементами: Нітрогеном, Фосфором, Сульфуром, Калієм, Кальцієм, Магнієм та Ферумом. Ці досліди остаточно підтвердили теорію мінерального живлення і стали основою для використання вегетативного методу водних та піщаних культур.

Таким чином, з розробкою вегетаційного методу, який у подальшому став основним у фізіології рослин, відбулося остаточне становлення науки про мінеральне живлення. Штучні живильні суміші, розроблені німецьким фізіологом В. Кнопом (1817–1900), стали методом для вивчення потреб рослин у мінеральних елементах, їх накопиченні та функціях, які виконують у клітинах і тканинах.

Ж. Б. Буссенго, використовуючи метод вегетаційних посудин та точні кількісні виміри, довів, що вищі рослини не можуть зв’язувати атмосферний азот. Цю здатність мають бобові рослини. Таким чином, було вперше виявлено, що бобові рослини, на відміну від більшості інших, сприяють накопиченню Нітрогену в ґрунті. Німецький ботанік і мікробіолог Г. Гельрігель у 1880 р. показав, що бобові рослини здійснюють азотфіксацію у симбіозі з

бульбочковими бактеріями. Самі бактерії у бульбочках бобових вперше були виявлені російським ботаніком М. С. Вороніним у 1866 р.

Визначні дослідження біологічних процесів, які відбуваються у ґрунтах, провів С. М. Виноградський, який вважається засновником ґрунтової мікробіології.

Крім бактерій, діяльність яких пов'язана з трансформацією сполук Нітрогену у ґрунті, є бактерії, які розкладають целюлозу, перетворюють різні сполуки Сульфуру та Фосфору. Силікатні бактерії беруть участь у вивільненні Калію із силікатів ґрунту. Деякі мікроорганізми постачають рослинам вітаміни та амінокислоти. Саме тому роль мікроорганізмів у складі ґрунтів значно більша, ніж просто участь у обміні мінеральних солей.

Відомі вчені П. А. Костичев і В. В. Докучаєв розробили основи наукового ґрунтознавства. Радянський агрохімік К. К. Гедройц заснував вчення про ґрунтовий поглинальний комплекс (див. частину І, п. 5.3, 5.4). Речовини, у томі числі і мінеральні, утримуються у ґрунті різними способами: мінеральним шляхом, фізичною, хімічною і біологічною взаємодіями сполук. Особливого значення К. К. Гедройц надавав фізико-хімічній, або обмінній, адсорбції, яка забезпечується неорганічними (цеолітними) та органічними (гумусними) компонентами ґрунтів. Він встановив, що в обмінній адсорбції велику роль відіграють кислі групи як органічної, так і неорганічної (силікатної групи) частини ґрунтів. В основному ґрунти мають властивості катіонообмінників, хоча у них є йаніонозв'язувальні групи.

Всі ці дослідження привели до розуміння того, що родючість ґрунтів пов'язана як зі специфічними особливостями материнської гірської породи (мінеральний склад та структурний стан ґрунтів), так і з діяльністю ґрунтових мікроорганізмів, які мінералізують органічні рештки.

2.3. Методи вивчення кореневого живлення рослин

Для вивчення процесів кореневого живлення рослин використовують низку методів. Як правило, такі дослідження проводять поетапно, починаючи з маломасштабних дослідів, які проводять на невеликій кількості рослинних об'єктів у лабораторних умовах, і закінчуючи, за потреби, у найбільш наближених до природного зростання рослин в умовах польового досліду. Таким чином, можна виділити такі основні групи методів дослідження процесів мінерального живлення рослин:

1. Лабораторні методи дослідження. Вони дозволяють встановити значення тих чи інших елементів у житті рослин. Для того щоб дізнатись, які мінеральні елементи потрібні рослині, застосовують метод водних культур. При цьому рослини вирощують на розчинах мінеральних солей (живильних сумішах), вилучаючи з них ті чи інші елементи. Це дає можливість встановити необхідність окремих елементів у процесах обміну

рослинних організмів. Метод водних культур був запропонований у Німеччині вченими І. Кнопом та Ю. Саксом (1859). Саме ці дослідження дозволили розробити повноцінні живильні суміші, які можна було використовувати для вирощування рослин на різних субстратах: на воді – водні культури, на піску – піщані культури, на гравії – гравійні культури та у ґрунті – ґрунтові культури. Живильна суміш – це перелік солей та їх концентрацій, які необхідні для нормального росту і розвитку рослин. Їх створюють з урахуванням потреб рослин. Наприклад, живильна суміш Гельрігеля в 1 л води містить: $Ca(NO_3)_2$ – 0,492 г, $MgSO_4$ – 0,060 г, KCl – 0,075 г, KH_2PO_4 – 0,136 г, $FeCl_3$ – 0,025 г.

2. Вегетаційні методи. Живильні суміші також використовують і при вирощуванні рослин у спеціальних вегетаційних будівлях. Такі будівлі мають скляний дах і стіни, їх використовують для захисту рослин від несприятливих впливів навколишнього середовища. Посудини з рослинами розміщують на рухливих вагонетках, які за сприятливих погодних умов по рейках переміщують на територію перед будинком, захищену сіткою від птахів. На ніч і за несприятливих погодних умов їх повертають у будинок. Конструкції вегетаційних будівель різні: від павільйонів, які вміщають сотні вагонеток і тисячі посудин, до невеликих будинків, які містять 3–4 десятки посудин.

Досить поширеними методами вивчення процесів мінерального живлення рослин є гідропоніка та аеропоніка. Метод гідропоніки передбачає вирощування рослин у посудинах, які заповнюються гравієм або вермикулітом (слюдою). Знизу у ці посудини через спеціальні отвори подають живильну суміш.

Аеропонікою називають метод повітряних культур рослин. При цьому коренева система рослини знаходиться у повітрі і періодично, декілька разів на годину, впродовж декількох секунд, автоматично обприскується розчином живильної суміші. За таких умов рослини можуть рости та розвиватись, а також давати урожай. Метод аеропоніки можна застосовувати в умовах закритого ґрунту, в теплицях при вирощуванні овочів. Він також може бути використаним у майбутньому на міжпланетних орбітальних станціях як метод культури зелених рослин для забезпечення космонавтів киснем та свіжими рослинними харчами. Вага такого устаткування значно менша, ніж при гідропонному способі вирощування рослин.

3. Польові методи дослідження. Застосовують на завершальних етапах дослідження процесів мінерального живлення. Рослини при цьому вирощують на полях, де створюють дослідні та контрольні ділянки. Польові дослідження мають як свої переваги, так і недоліки, порівняно з іншими методами вивчення процесів мінерального живлення. Перевагою є те, що рослини вирощують у природних умовах. Недоліком може бути вплив несприятливих факторів навколишнього середовища. При цьому за дії, наприклад, посухи або зливи результати експерименту можуть бути втрачені.

Як правило, при вивченні процесів мінерального живлення рослин дослідники використовують як лабораторні, так і вегетаційні та польові методи дослідження.

2.4. Класифікація та фізіологічна роль життєво необхідних елементів рослин

2.4.1. Класифікація мінеральних елементів рослин

Рослини здатні поглинати з навколишнього середовища у різній кількості практично всі хімічні елементи періодичної системи Д. І. Менделєєва. Вміст окремих елементів і їх співвідношення у тканинах значною мірою варіюють у різних видів і залежно від умов існування. Проте один і той же набір мінеральних елементів необхідний усім зеленим рослинам, і кожен елемент використовується різними рослинами однаково. Це такі як: C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl, Na, Si, Co. Серед цього переліку чотири елементи – C, H, O і N – називають органогенними. Вони складають 95 % всього рослинного організму. C, H, O надходять до рослин у вигляді CO_2, O_2 та H_2O. Решта 5 % належать до елементів попелу, або, як їх ще називають, мінеральних елементів. Назва "мінеральні елементи" виникла у зв'язку з тим, що рослини ці елементи поглинають з ґрунту у вигляді мінеральних солей. Мінеральний склад рослин визначають за аналізом попелу, який лишається після їх спалювання. Вміст мінеральних елементів визначають у процентах до маси сухої речовини або у процентах до маси попелу. Його кількість (частка спаленої сухої маси рослин) залежить від:

- виду (наприклад, листя картоплі – 5–13 %, листя буряку – 11–15 %);
- органу рослин (корінь та стебло – 4–5 %, листя – 3–15%, деревина – 0,4–1 %, в середньому – 3 %);
- стану ґрунту (чим родючіший та сухіший ґрунт, тим більше попелу).

Встановлено, що елементи попелу зосереджені у тих органах та клітинах рівень життєдіяльності яких є досить високим.

Залежно від вмісту мінеральних елементів у рослинному організмі їх поділяють на три групи:

1. Макроелементи ($10–10^{-2}$ %) – C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Na.
2. Мікроелементи ($10^{-3}–10^{-5}$ %) – Mn, B, Cu, Zn, Si, Mo, Co, Cl.
3. Ультрамікроелементи ($10^{-6}–10^{-12}$ %) – As, Ge, Au, Ra, Hg, Pb, Ag.

Ця класифікація є досить умовною, оскільки вміст мінеральних елементів у рослині може бути різним залежно від складу ґрунту і можливостей рослини їх поглинати. У зв'язку з цим належність окремих елементів до певної групи викликає дискусію серед науковців.

Вищезазначений поділ не відображає роль, яку виконують хімічні елементи. Тому були запропоновані інші типи класифікацій, які певною мірою

відображають функції мінеральних елементів у рослинному організмі. За найлаконічнішою класифікацією необхідні вищим рослинам елементи поділяють на дві групи відповідно до форми, в якій вони виконують свої функції. Так, Нітроген, Фосфор і Сульфур є ковалентно-пов'язаними складовими органічних сполук рослин, у яких Нітроген присутній тільки у відновній формі, Фосфор – у окисненій, а Сульфур – і у відновній, і в окисненій формах. Ці елементи є необхідними компонентами таких класів сполук, як амінокислоти, нуклеїнові кислоти, фосфоліпіди, макроергічні молекули, пептиди, білки та інші речовини.

Останні макро- і мікроелементи містяться у тканинах у вигляді йонів (іноді солей) або у формі метал-білкових комплексів з органічними молекулами і утворюють поліфункціональну групу. Вони визначають конформацію і структурну стабільність макромолекул, властивості мембран і їх проникність, підтримання гомеостазу, каталіз реакцій і окиснювально-відновних перетворень.

Відомо, що неметали рослини поглинають у формі аніонів (P: $H_2PO_4^-$, PO_4^{3-}; S: SO_4^{2-}; Mo: MoO_4^-; B: BO_3^{3-}; Cl: Cl^-; N: NO_3^-, NO_2^-). У формі катіонів рослини використовують Нітроген (NH_4^+) та метали (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} тощо).

Макроелементи виконують широкий спектр функцій загальноорганізменного рівня. На відміну від них мікроелементи реалізовують свої функції, як правило, у локальних клітинних структурах. Вони визначають просторову конформацію, активність деяких ферментів або ж беруть участь у окисно-відновних реакціях.

Основні функції йонів у рослині – структурна і каталітична. У значній кількості елементи мінерального живлення є складовими структурних компонентів рослин: C, H, O – універсальні біогенні елементи, N та S – компоненти білків, нуклеїнових кислот, порфіринів. Ферум, Манган, Купрум, Цинк, Молібден та Кобальт входять до складу ферментів та їх кофакторів. Молібден та Кобальт беруть участь у азотфіксації, Манган – у фотолізі води. Ферум, Манган, Купрум, Цинк, Молібден та Кобальт входять до складу активних груп або компонентів простетичних груп ферментів, особливо оксидоредуктаз, які забезпечують процеси фотосинтезу, дихання (флавопротеїди, фередоксини, цитохроми, пластоціаніни, фенолоксидази та тощо).

К. Менгель запропонував свою класифікацію життєво необхідних елементів рослин, яка базується на формі поглинання елементів і біохімічних функціях. Згідно з нею елементи поділяють на чотири групи:

Група № 1: N, S.

Поглинання: з атмосфери N_2, SO_2, з ґрунтового розчину NO_3^-, NH_4^+, SO_4^{2-}. Біохімічні функції: утворюють важливі органічні сполуки, які виконують структурну і ферментативну функції, беруть участь у окисно-відновних реакціях.

Група № 2: P, B, Si.

Поглинання: з ґрунтового розчину у формі фосфатів, борної кислоти чи боратів, силікатів. Біохімічні функції: входять до складу речовин, які виконують ключову роль у енергетичному обміні і структурну функцію.

Група № 3: K, Na, Mg, Ca, Mn, Cl.

Поглинання: з ґрунтового розчину у формі йонів. Біохімічні функції: активують ферменти, беруть участь у конформаційних змінах, регулюють осмотичний потенціал вакуолі, електричний потенціал мембран і їх проникність.

Група № 4: Fe, Cu, Zn, Mo.

Поглинання: з ґрунтового розчину у формі йонів, хелатів. Біохімічні функції: входять до складу ферментів, беруть участь у транспорті електронів.

У рослинному організмі всі процеси тісно взаємопов'язані між собою і виключення хоч одного елементу призводить до змін у більшості, якщо не в усіх процесах метаболізму. Виходячи з цього можна сформулювати такі основні значення мікро- та макроелементів:

1. Входять до складу складних органічних сполук рослинного організму.

2. Створюють іонну концентрацію клітинного соку рослин.

3. Прискорюють хімічні реакції у рослинному організмі, входячи до складу ферментів чи активуючи ферменти або субстрати, які беруть участь у перетвореннях.

2.4.2. Фізіологічна роль та особливості обміну макро- та мікроелементів рослинного організму

Елемент	Форма надходження, вміст, особливості обміну	До складу яких речовин входить	Участь у обмінних процесах	Симптоми нестачі (голодування) (зовнішні та внутрішні)
1	2	3	4	5
P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}. 0,04 % сирої маси, 0,3 % сухої маси. У рослині міститься у вигляді: а) органічного Фосфору (залишок H_3PO_4 у складі органічних сполук);	1.Фосфоліпіди. 2. ДНК і РНК. 3. Фосфорні ефіри (С-О-Р). 4. Нуклеозидфосфати (НАД, НАДФ, ФАД, ФМН, АТФ, АДФ, АМФ).	1. Забезпечує гідрофільність мембрани. 2. У складі коферментів (фосфовітаміни та їх похідні) прискорює хімічні реакції.	1. Синьо-зелене забарвлення листків іноді з пурпуровим або бронзовим відтінком (через зменшення синтезу білків та накопичення цукрів).

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
	б) неорганічного Фосфору: H_3PO_4 та її солі. У хімічних реакціях Фосфор не змінює свій ступінь окиснення. Реакції: 1) фосфорилювання (утворення естерів); 2) трансфосфорилювання (перенесення PO_4^{3-}–групи від однієї молекули до іншої). Основна запасна форма – фітин, який накопичується у насінні (1–2 % від сухої маси).	5. Фосфопротеїди. 6. Вітаміни.	3. Прискорює обмін речовин і, утворюючи нестабільні макроергічні зв'язки, транспортує енергію у вигляді АТФ. 4. Бере участь практично в усіх процесах життєдіяльності рослин. Прискорює розвиток рослин. Сприяє скороченню вегетаційного періоду до настання посухи (у південних рослин) та заморозків (у північних рослин).	2. Дрібне і більш вузьке листя. 3. Затримання росту рослин і дозрівання плодів. 4. Зниження поглинання O_2 через сповільнення процесу дихання. 5. Зменшення активності ферментів процесу дихання. 6. Активізація розпаду фосфорорганічних сполук і полісахаридів. 7. Зменшення синтезу білків і вільних нуклеотидів. 8. Слабкий розвиток провідних тканин. Найчутливіші до нестачі Фосфору молоді рослини. (Зовнішні симптоми голодування зображено на рис. 2.1)
S	SO_4^{2-}. 0,17 %. Підвищений вміст у капустяних. Міститься у неорганічній (H_2SO_4 та її солі) та органічній формах. Після надходження до клітини окиснена форма Сульфуру відновлюється у пластидах (переважно у хлоропластах): SO_4^{2-}+ АТФ→АФS+ Ф-Ф. Фермент – сульфорилаза, потребує присутності Mg^{2+}. АФS+АТФ→ФАФS+АДФ	1. Амінокислоти: цистін, цистеїн та метіонін. 2. Білки. 3. Вітаміни (тіамінпірофосфат – B_1). 4. Коферменти (біотин, коензим А, ліпоєва кислота, глютатіон).	1. В обміні білків. 2. S-S- та S-H-зв'язки беруть участь у формуванні структурних рівнів білків, забезпечують взаємодію між апоферментами та їх простетичними групами. 3. У реакціях обміну (аеробній фазі дихання, синтезі жирів тощо).	1. Побіління і пожовтіння листя (спочатку молодого). 2. Гальмування синтезу амінокислот і білків. 3. Зниження інтенсивності фотосинтезу і швидкості руху рослин (особливо надземної частини). 4. Порушення формування хлоропластів та їх розпад у гострих випадках нестачі.

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
	Фермент – кіназа (містить Mg). ФАФS під дією фередоксину відновлюється до цистеїну у молодих рослин. З часом окиснюється до неактивної (у старіючих рослин) форми. АФS-аденозинфосфосульфат. ФАФS – фосфоаденозинфосфосульфат.		4. Пов'язує білки з НАД або ФАД. 5. У складі коензиму А бере участь у метаболізмі вуглеводів, жирних кислот, амінокислот. 6. У складі аденозилметіоніну використовується для синтезу етилену і лігніну. 7. У складі білку тіоредоксину бере участь у регулюванні роботи РДФ-карбоксилази, АТФ-синтази та інших ферментів.	
К	K^+. 0,9 % 70 % Калію міститься у вільній, а 30 % – у адсорбованій формі. Калій легко вимивається з рослини холодною водою. Найбільше Калію міститься у молодому листі, меристемах, камбії, пагонах та бруньках 80 % калію знаходиться у вакуолі.	Не входить до складу жодної органічної сполуки.	1. Знижує в`язкість цитоплазми (опукла форма плазмолізу). Антагоніст Кальцію. 2. Є протийоном для нейтралізації неорганічних і органічних аніонів. Визначає колоїдно-хімічні властивості цитоплазми. 3. Підтримує стан гідратації колоїдів цитоплазми, регулює її водоутримувальну здатність.	1. Спостерігається потовщення листя від старих до молодих; побуріння листя з червоно-іржавими плямами; відмирання, руйнування листя. Листя стає ніби опеченим, його краї і кінці часто скручуються. 2. Зниження функціонування камбію, порушення розвитку судин, зменшення товщини епідермісу, кутикули, гальмування процесу поділу і розтягнення клітин.

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
K			4. На ¾ обумовлює роботу нижнього двигуна водного току. 5. Відповідає за відкриття і закриття продихів. 6. Бере участь в утворенні іонної асиметрії і різниці електричних потенціалів між клітиною та середовищем. 7. Активатор ферментних систем (гексокінази, піруваткінази), у тому числі ферментів окиснювального фосфорилювання, циклу Кребса. 8. Сприяє накопиченню крохмалю, сахарози, моноцукрів.	3. Зниження домінуючого ефекту апікальних бруньок. Відмирання верхівкових бруньок, активуючи ріст бічних пагонів – рослина набуває форми куща. 4. Зменшення вмісту макроергічних фосфатів. 5. Сповільнення руху цукрів по флоемі. Іноді 2/3 втрат Калію може замінюватися Натрієм чи Плюмбумом, Стронцієм, Літієм, іоном амонію. (Зовнішні симптоми голодування зображено на рис. 2.2)
Ca	Ca^{2+}. 0,5–1,5 %, у старому листі до 1 %. Важко переміщується по рослині. За вмістом Кальцію рослини поділяють на кальцієфіли (бобові, гречка, картопля), кальцієфоби, нейтральні види. Найбільша частина Кальцію запасається в клітинній оболонці і у вакуолі.	1. Пектат Кальцію. 2. Кальцієва сіль лецетину. 3. Кальцеві солі органічних кислот.	1. Входить до складу міжклітинної пластинки та клітинної оболонки, бере участь у її утворенні і рості розтягненням. 2. Забезпечує нормальне функціонування мембран. 3. Регулює кислотність	1. Кінчики та краї листків біліють, чорніють, листкові пластинки викривляються і скручуються. 2. Поява некротичних ділянок на плодах, запасних та судинних тканинах. У першу чергу страждають молоді меристематичні тканини та коренева система.

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
	У старіючих організмах Кальцій міститься у вакуолі у вигляді нерозчинних солей оксалатної, цитратної та інших органічних кислот. Багато Кальцію у вегетативних органах. У корені менше Кальцію, ніж у надземній частині.		клітинного соку, реагуючи з органічними кислотами. 4. Підвищує в`язкість цитоплазми (характерна ввігнута форма плазмолізу). 5. Бере участь у підтриманні структури: - хромосом (сполучна ланка між ДНК і білком); - мітохондрій, рибосом. 6. Бере участь в утворенні ламел у нових клітинах. 7. Активує ферменти (АТФ-азу, фосфорилазу, дегідрогеназу, амілазу тощо). 8. Посередник для реакції рослин на зовнішні та гормональні сигнали, входячи до складу сигнальних систем.	3. Бубнявіння пектинових речовин, що призводить до руйнування й ослизнення клітинних оболонок. 4. Збільшення проникності мембран, порушення їх цілісності і мембранного транспорту. 5. Пошкодження хромосом і порушення мітотичного циклу. 6. Не формуються бічні корені та кореневі волоски. 7. Сповільнення росту кореня. 8. Утворення багатоядерних клітини меристем.
Mg	Mg^{2+}. 0,15–0,35 %. У клітинній оболонці міститься 2,5 % Магнію клітини.	1.Хлорофіл. 2.Магнійпірофосфатна група пов'язує АТФ з відповідними ферментами.	1. Бере участь у: - процесі фотосинтезу; - синтезі білків, пов`язуючи велику та малу субодиниці рибосом, РНК і білок рибосоми.	1. Поява між жилками листка світло-зелених смуг, які в подальшому жовтіють. 2. Руйнування хлоропластів (у молодому листі в останню чергу), жилки довгий час лишаються зеленими.

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
			2. Активує ферменти, зв`язуючи фермент із субстратом по типу хелатного зв`язку, а саме: ДНК-, РНК-полімерази, АТФ-азу, глутаматсинтетазу, ферменти реакцій карбоксилювання і декарбоксилювання, гліколізу і циклу Кребса, молочнокислого і спиртового бродінь. 3. Каталізує усі реакції перенесення фосфатної групи. 4. Утворює комплекси з АТФ і фітином і в такому вигляді вони зберігаються у насінні.	3. Краї листкових пластинок жовтіють, набувають жовтогарячого кольору, червоніють, набувають темно–червоного кольору - виникає мармурове забарвлення. 4. Хлороз та некроз листя, починається з верхівок. 5. Накопичення моноцукрів і сповільнення перетворення їх на поліцукри. 6. Розпад рибосом, порушення синтезу білку. 7. Порушення структури хлоропластів – просвітлення матриксу, злипання гран, утворення везикул замість ламел. 8. Сповільнення утворення фосфорних сполук, зменшення вмісту Фосфору. Першими від нестачі Магнію страждають старі листки. (Зовнішні симптоми голодування зображено на рис. 2.3)
Fe	Fe^{2+}, Fe^{3+}. 0,08 %. У ґрунті Феруму більше, ніж інших елементів, але у недоступній для засвоєння рослинами формі. Транспортна форма по рослині – Феруму (III) цитрат.	1. Геміпротеїни – пероксидаза, каталаза, леггемоглобін, цитохроми, цитохромоксидаза, нітратредуктаза, нітритредуктаза. 2. Негемінна	1. Прискорює хімічні реакції, входячи до складу каталітичних центрів ферментів. 2. Бере участь у процесах дихання, синтезу	1. Хлороз листя, в першу чергу молодого. Пожовтіння листя з'являється між жилками листка. 2. Прискорення опадання листя. 3. Зменшення інтенсивності

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
	60 % Феруму листка міститься у хлоропластах. У клітинах Ферум міститься у комплексі з тетрапірольним кільцем (гемопротеїни) або у комплексі з сульфідним Сульфуром різних ферум-сульфурних білків. Запасна форма Феруму – фітоферитин, як правило, накопичується, у хлоропластах. 1 його молекула може запасати до 4500 атомів Феруму в нетоксичній, розчинній і доступній формі.	форма – фередоксин, флавопротеїд, нітрогеназа, фітоферитин. І перші, і другі входять до складу електронотранспортних ланцюгів фотосинтезу і дихання. 3. Інші ферум-сульфурні білки – аконітаза, ксантинокидаза, ліпоксигеназа, нітратредуктаза.	амінокислот, жирів, вуглеводів тощо. 3. Каталізує: - утворення попередників хлорофілу; - синтез білків хлоропласту. 4. У негеміновій формі входить до складу реакційних центрів фотосистеми I і II.	дихання і фотосинтезу. Ґрунт, що містить надмірну кількість Феруму, вапнують. (Зовнішні симптоми голодування зображено на рис. 2.5.)
Cu	Cu^{2+} або Cu^{+}, 0,0002 %. 98% Купруму ґрунту міститься у комплексі з низькомолекулярними органічними сполуками. 75 % Купруму листків міститься у хлоропластах. Більше 50 % Купруму хлоропластів пов'язано з пластоціаніном.	1. Оксидази: цитохромоксидаза, поліфенолоксидаза, аскорбатоксидаза. 2. Пластоціанін.	1. Активує нітратредуктазу, протеази. 2. Бере участь у перенесенні електронів з II на I фотосистему. 3. Зв`язує хлорофіл з білком.	1. Затримка росту і квітування рослин. 2. Втрата тургору та в`янення листків. 3. Побіління і відмирання кінчиків листя. 4. Не розвивається колос у злакових. 5. Листя вкривається бурими плямами, спостерігається суховерхівковість у плодових рослин. 6. Зниження активності I фотосистеми. (Зовнішні симптоми голодування зображено на рис. 2.6.)

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
Mn	Mn^{2+}. 0,001 %. У рослині міститься у різних ступенях окиснення (Mn^{2+}, Mn^{3+}, Mn^{4+}). 90 % Мангану листка знаходиться у хлоропластах.	Є кофактором більше 35 ферментів.	1. Активує ферменти циклу Кребса (декарбоксилази, дегідрогенази). Іноді заміюється на Кобальт. 2. Бере участь у: - обміні сполук Нітрогену (активує нітрит– та гідроксиламінредуктази); - фотосинтезі (входить до складу ферментативної системи фотолізу води). 4. Підтримує структуру хлоропластів і хлорофілів. 5. Активує ферменти окиснення ауксину.	1. Крапковий хлороз листків. Між жилками з'являються жовті плями, потім тканини у цих ділянках відмирають. 2. Утруднене використання нітритів як джерела Нітрогену. 3. Руйнування хлорофілу і крохмальних зерен хлоропластів. (Зовнішні симптоми голодування зображено на рис. 2.7.)
Zn	Zn^{2+}. 0,002 %. Підвищений вміст у листках, репродуктивних органах і конусах наростання, найвищий вміст у насінні. Найчутливіші до цинку плодові дерева, переважно цитрусові.	Входить до складу більше 30 ферментів (фосфатази, карбоангідрази, алкогольдегідрогенази, РНК-полімерази, триптофансинтетази тощо).	1. $H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_2O$ (фермент - карбоангідраза). 2. Активує енолазу, альдолазу, гексокіназу, тріозофосфатдегідрогеназу, алкогольглютаматдегідрогеназу. При диханні активує триптофосфатазу. 3. Підвищує вміст ауксину і	1. Затримка росту міжвузлів і листків, розеточність. 2. Хлороз. 3. Порушення проникності мембран. Порушення фосфорного обміну: - накопичення фосфору у кореневій системі, затримка транспортування його у надземні органи; - порушення перетворення неорганічного фосфору в органічний;

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
			прискорює ріст рослин. 4. Відіграє важливу роль у обміні ДНК і РНК, синтезі білка і клітинному диханні, підтриманні структури мембран.	- морфологічна зміна листя у зв'язку з порушенням розтягнення клітин і диференціації тканин. (Зовнішні симптоми голодування зображено на рис. 2.8.)
Mo	MoO_4^{2-}. 0,0005–0,002 %. Рослина потребує Молібдену менше, ніж інших елементів, і тому його концентрація у рослині дуже низька.	Входить до складу більше 20 ферментів (нітрогенази, нітратредуктази, ксантиноксидази).	1. Переносить електрон від ФАД до NO_3^- (при цьому $Mo^{5+} \rightarrow Mo^{6+}$) при відновленні нітратів до нітритів. 2. Активує ферменти фіксації N_2 мікроорганізмами та амінування і переамінування. 3. Підвищує вміст аскорбінової кислоти.	1. Листя по краях набуває сірого, а потім коричневого кольору, втрачає тургор, тканини відмирають і лишаються лише жилки. 2. Сповільнення росту. 3. Зниження вмісту вітаміну С. 4. Порушення синтезу хлорофілу: листя набуває блідо-зеленого кольору. 5. Сповільнення синтезу білків на фоні зменшення вмісту амінокислот і білків. 6. Порушення фосфорного обміну. При великих дозах спостерігаються молібденові токсикози у рослин (ендемічна подагра – у тварин). (Зовнішні симптоми голодування зображено на рис. 2.9.)

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
B	BO_3^{3-}. 0,000 1%. Бор міститься у рослинах (особливо у дводольних) у більшій кількості, ніж інші мікроелементи, значна його частина знаходиться у клітинній оболонці. У ній 70 % Бору утворює комплексні сполуки (наприклад, з пектином). У бор-дефіцитних рослин 90–95 % Бору міститься у апопласті. Конкретні шляхи включення Бору в обмін речовин і механізм реалізації його функцій потребують більш детального вивчення.	Не входить до складу ферментів і не активує їх. Утворює комплекси з цукрами, поліцукрами, спиртовими та фенольними сполуками.	1. Регулює орієнтацію місця целюлози клітинної оболонки. Покращує її еластичність. 2. Покращує рух цукрів крізь цитоплазматичну мембрану рослинної клітини, утворюючи цукроборати. 3. Впливає на функціонування цитоплазматичної мембрани, на метаболізм вуглеводів, РНК, індолілоцтової кислоти (ІОК). 4. Прискорює хімічні реакції, активуючи субстрат. 5. Інгібує активність ферментів, що каталізують утворення фенольних сполук. 6. Сприяє проростанню пилку і прискорює ріст пилкових трубок.	1. Відмирання конусів наростання, затримка росту пагонів. 2. Не утворюються квіти. 3. Листя товстішає, скручується, стає ламким. 4. Порушення розвитку судинної системи. 5. Зміна хімічного складу і структури клітинної оболонки, втрата її еластичності, структурної цілісності цитоплазматичної мембрани. 6. Зменшення активності H^+-помпи, підвищення проникності мембран. 7. Інгібування синтезу лігніну. 8. Активація ІОК-оксидази, зменшення рівня індолілоцтової кислоти, яка надходить у клітинну оболонку. 9. Накопичення деяких фенолів, що призводить до зменшення рівня ІОК, дефіциту Кальцію, активація утворення вільних радикалів. 10. Морфологічні і фізіологічні зміни у взаємозв'язку клітинної оболонки і цитоплазматичної мембрани, що призводить до:

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
				- інгібування АТФ-ази, транспортерів, зміни мембранного потенціалу; - інгібування росту розтягненням і диференціацією ксилеми. 11. Порушення синтезу ДНК і РНК. 12. Накопичення у листках цукрі через гальмування їх відтоку. 13. Сповільнення амінування органічних кислот. 14. Накопичення кофейної та хлороцтової кислот – інгібіторів росту рослин.

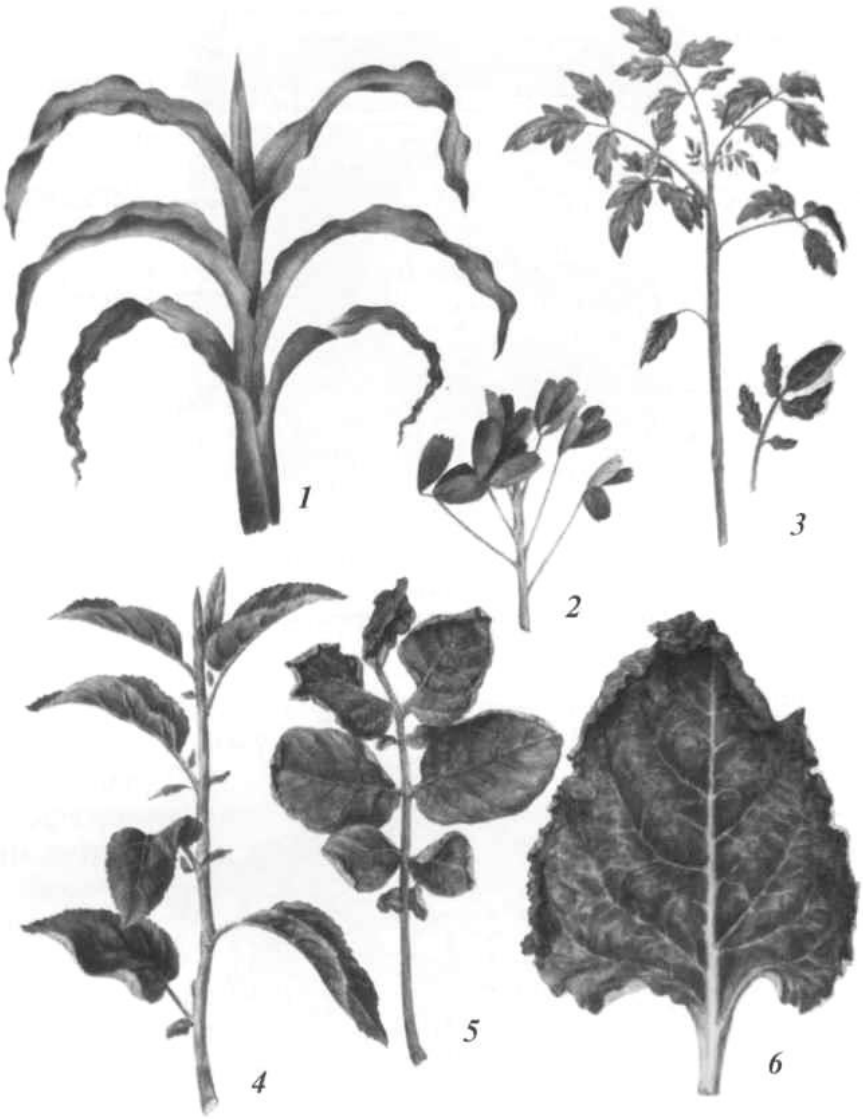


Рис. 2.1. ***Ознаки нестачі Фосфору:***
1 – кукурудза; 2 – люцерна; 3 – томат; 4 – яблуня;
5 – картопля; 6 – цукрові буряки

Рис. 2.2. ***Ознаки нестачі Калію:***
1 – цукрові буряки; 2 – кукурудза; 3 – картопля; 4 – яблуня; 5 – горох;
6 – льон; 7 – капуста; 8 – кормові боби; 9 – виноград

Рис. 2.3. ***Ознаки нестачі Магнію:***
1 – цукрові буряки; 2 – картопля; 3 – кормові боби; 4 – огірки;
5, 6 – кукурудза (дві послідовні стадії хвороби); 7 – яблуня;
8 – чорна смородина; 9 – вишня

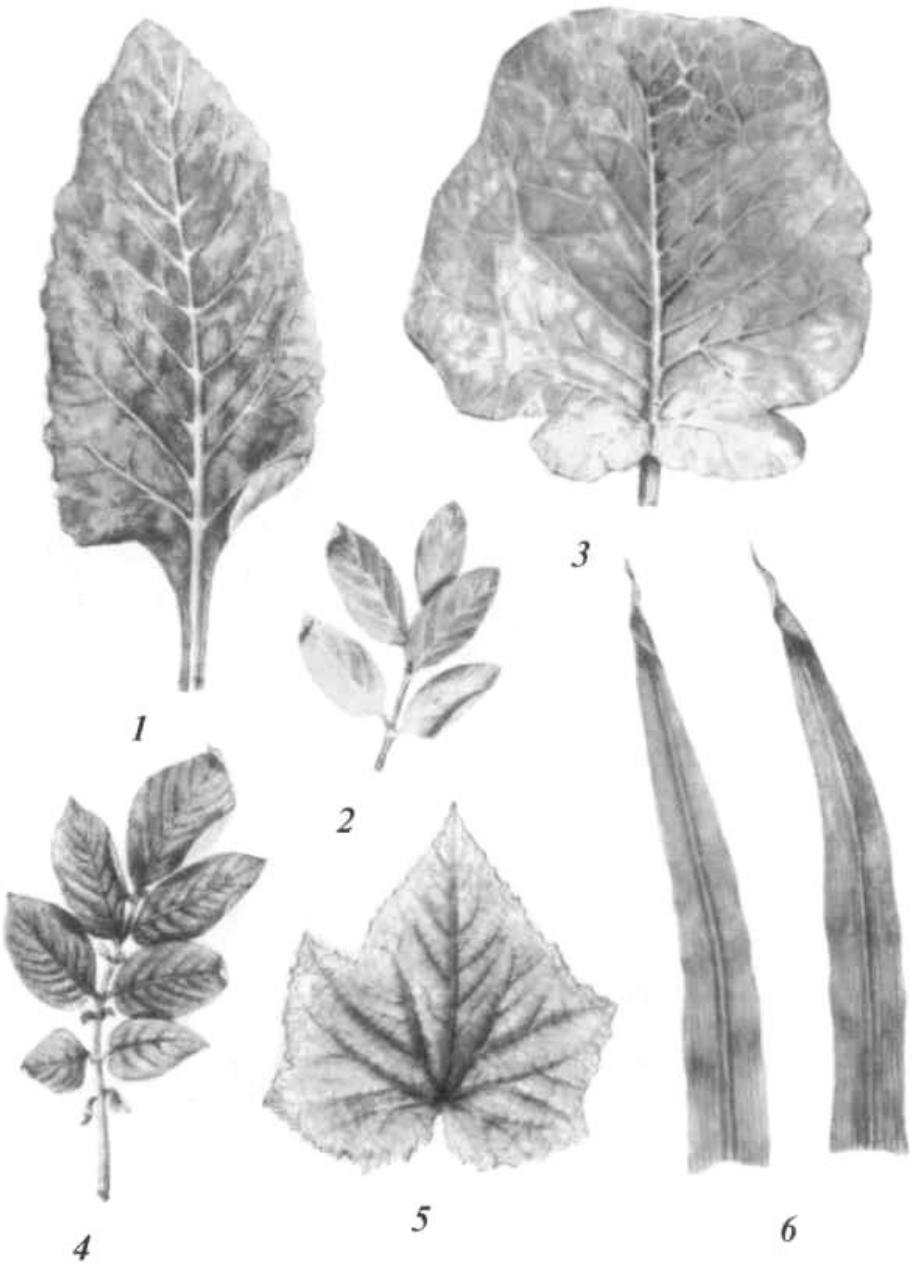


Рис. 2.4. ***Ознаки нестачі Нітрогену:***
7 – цукрові буряки; 2 – кормові боби; 3 – капуста; 4 – картопля; 5 – огірки;
6 – кукурудза (дві послідовні стадії хвороби)

Рис. 2.5. ***Ознаки нестачі Феруму:***
1 – виноград; 2 – малина; 3 – яблуня; 4 – томат; 5 – яблуня; 6 – льон;
7 – капуста цвітна; 8 – соняшник

Рис. 2.6. ***Ознаки нестачі Купруму:***
1 – овес у фазі кущіння; 2 – овес після колосіння; 3 – груша; 4 – яблуня

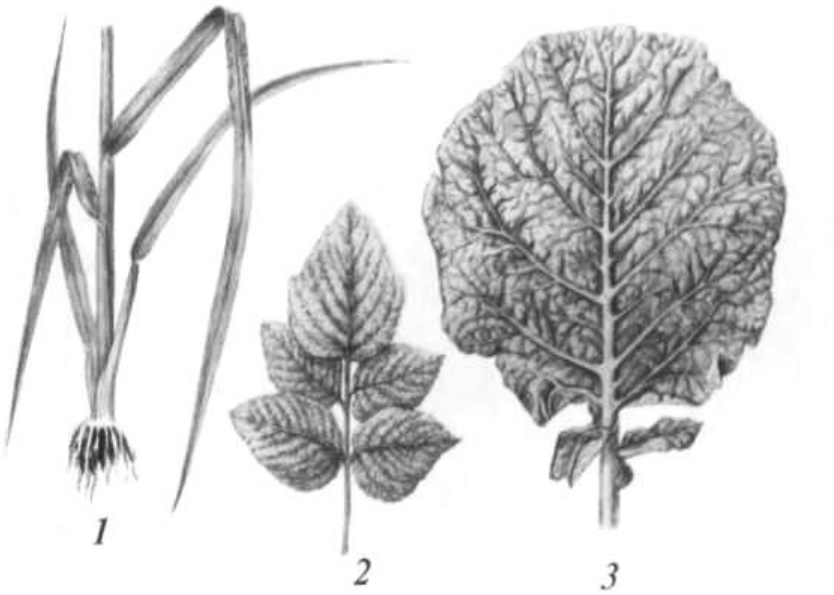


Рис. 2.7. ***Ознаки нестачі Мангану:***
1 – овес; 2 – малина; 3 – капуста

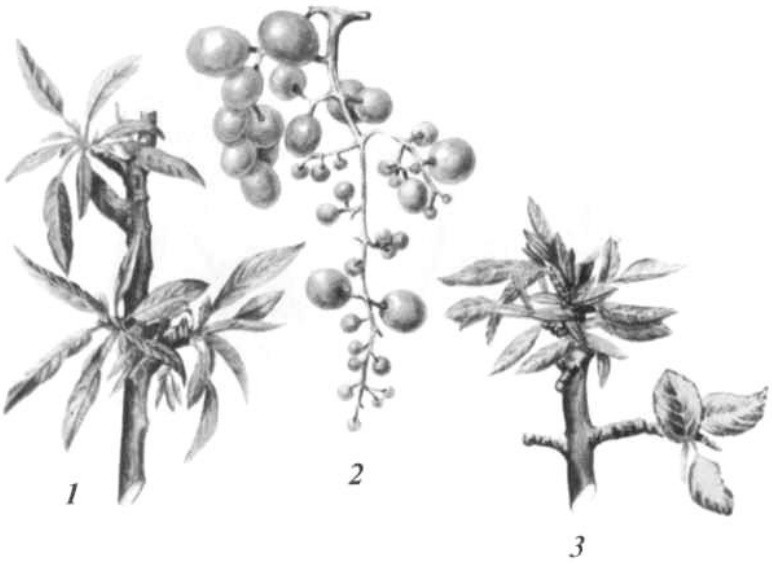


Рис. 2.8. ***Ознаки нестачі Цинку:***
1 – яблуня; 2 – виноград; 3 – груша

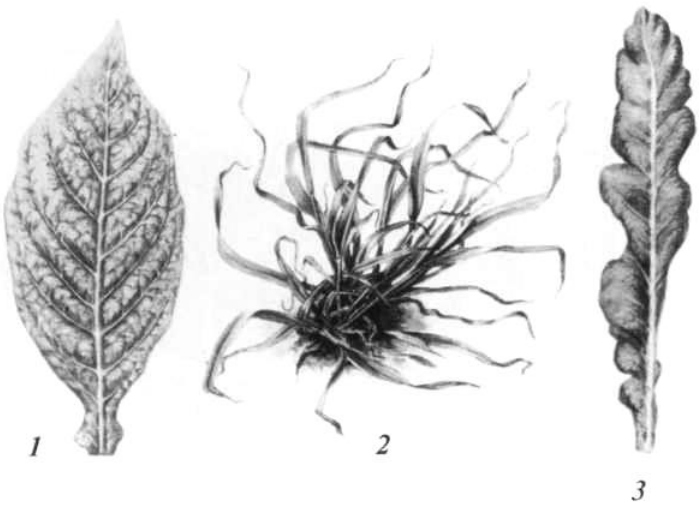


Рис. 2.9. ***Ознаки нестачі Молібдену:***
1 – тютюн; 2 – жито; 3 – капуста цвітна

2.4.3. Особливості живлення рослин Нітрогеном

Азот (під назвою "зіпсованого повітря") у 1772 р. як просту речовину описав шотландський хімік, ботанік та лікар Даніель Резерфорд, який офіційно вважається першовідкривачем азоту. Він вперше описав основні його властивості – не реагує з лугами, не підтримує горіння, непридатний для дихання. Назву "азот" (від грец. *ἄζωτος* – позбавлений життя) запропонував у 1787 р. Антуан Лавуазьє, який на той час у складі групи інших французьких вчених розробляв принципи хімічної номенклатури. Її автори запропонували утворювати слово азот від грецьких: негативної приставки "а" та слова "зое" – життя. Таким чином, назва "азот", на їх думку, відображала його нежиттєвість, або безжиттєвість. Незважаючи на свою назву, Нітроген у вигляді сполук з іншими елементами, присутній в усіх живих організмах (1–3 % на суху масу, IV місце після Оксигену, Гідрогену і Карбону відповідно), і є одним з найважливіших біогенних елементів. Він входить до складу амінокислот, які є мономерами білків (16–17 %), нуклеотидів – структурних блоків нуклеїнових кислот, а також коферментів, вітамінів, гормонів, антибіотиків, гемоглобіну, хлорофілу і багатьох інших біогенних речовин. У невеликих кількостях, у вигляді простої речовини, Нітроген постійно присутній у крові, оскільки має у ній невелику розчинність порядку 0,0110 мл/л за температури 38 °С.

Для рослин Нітроген – дефіцитний елемент. Якщо деякі мікроорганізми здатні засвоювати атмосферний азот, то рослини можуть використовували лише мінеральний, а тварини – лише Нітроген органічного походження.

При нестачі Нітрогену в ґрунті у рослин спостерігається:

- гальмування росту;
- дрібнолистість;
- сповільнення росту бічних пагонів та кущіння злаків;
- зміна кольору листків на блідо-зелене внаслідок зниження синтезу хлорофілу;
- гідроліз білків та руйнування хлорофілу (спочатку у старих листках);
- скорочення періоду вегетаційного росту;
- більш раннє дозрівання насіння.

У навколишньому середовищі Нітроген міститься як у атмосфері (N_2, оксиди Нітрогену та пари NH_3), так і у ґрунті:

- у неорганічній формі – NH_4^+, NO_3^- та NO_2^-;
- у органічній формі – Нітроген амідів, амінокислот, білків, гумусу.

У рослинах Нітроген може перебувати у різних формах.

Біологічна фіксація Нітрогену атмосфери має важливе значення. Про це свідчать масштаби цього процесу – 200 млн т Нітрогену на рік. Завдяки біологічній фіксації Нітроген переходить у форми, які можуть використовувати всі рослини, а завдяки їм і тварини.

Організми, які здатні засвоювати азот повітря, розділяють на групи:

1. Симбіотичні азотфіксатори – мікроорганізми, які засвоюють азот, тільки якщо знаходяться у симбіозі з вищими рослинами. До них відноситься

лише один рід Rhizobium, представником якого є бульбочкові бактерії. Вони живуть у симбіозі з рослинами, як правило, родини Бобових. Існує багато різних штамів бульбочкових бактерій, кожен з яких пристосувався до зараження одного або кількох видів бобових.

Завдяки бульбочковим бактеріям частина сполук Нітрогену з коренів бобових надходить у ґрунт, збагачуючи його на Нітроген. Посіви бобових підвищують родючість ґрунтів.

Існують і інші види вищих рослин, які вступають у симбіоз з мікроорганізмами. Так, відомий симбіоз водної папороті Азоли (Azolla) з азотфіксуючими ціанобактеріями. Деякі дерева і кущі (наприклад, обліпиха, вільха, лох) вступають у симбіоз з бактеріями роду актиноміцети.

2. Несимбіотичні азотфіксатори – вільноживучі у ґрунті мікроорганізми, які засвоюють азот повітря. Це представники двох родів Clostridium і Azotobacter. У 1893 р. російсько-український мікробіолог С. М. Виноградський виділив анаеробну спороносну азотфіксуючу бактерію Clostridium pasteurianum, а у 1901 р. нідерландський мікробіолог і ботанік М. В. Бейєринк – дві аеробні азотфіксуючі бактерії Azotobacter chroococum, Azotobacter agile. Вільноживучі азотфіксатори можуть бути факультативними аеробами або факультативними анаеробами. Для фіксації азоту вони потребують Молібдену, Феруму і Кальцію.

3. Асоціативні азотфіксатори – мікроорганізми, які живуть на поверхнях кореневих систем злаків, тобто ті, які живуть у асоціації з вищими рослинами. Їх відкрили у 70–80-х рр. XX ст. у лабораторії Джоан Доберейнер у Бразилії (1976). Найкраще вивчені з цієї групи мікроорганізми роду Азоспірил (Azospirillum). Вони легко інфікують корені злаків і інших рослин.

Ефективність азотфіксації асоціативною мікрофлорою менша порівняно з симбіотичною, але асоціативні азотфіксатори продукують гормони росту рослин, мають інші властивості, які позитивно впливають на ріст і розвиток рослин (захищають від фітопатогенів, руйнують отруйні речовини).

Кінцевим продуктом фіксації атмосферного азоту є амоніак. У процесі відновлення азоту до амоніаку бере участь мультиферментний комплекс – нітрогеназа. Він складається із двох компонентів – Mo-Fe-білок та Fe-білок. Амоніак, який утворюється внаслідок біологічної фіксації у клітинах кореня, реагує з α-кетоглутаровою кислотою з утворенням глутамінової кислоти, яка включається у подальший обмін. У надземні органи рослини сполуки Нітрогену надходять, як правило, у вигляді амідів (аспарагіну, глютаміну).

Відкриття азотфіксаторів дало можливість створювати бактеріальні добрива (нітрагін, ризоторфін, азотобактер та ін.). Ці добрива містять природні ґрунтові мікроорганізми, які сприяють збільшенню накопичення біомаси вищими рослинами. Перспективність такої технології полягає у тому, що вона дозволяє частково замінити мінеральні добрива і, таким чином, зменшити рівень хімічного забруднення ґрунтів. Нові перспективи для збільшення ефективності азотфіксації та покращення живлення рослин

Нітрогеном відкривають використання досягнень генної інженерії. На даний час з'явилися передумови для одержання методами генної інженерії злакових рослин-азотфіксаторів.

Дослідження основ азотфіксації відкривають перспективи створення економних і ефективних технологій фіксації азоту повітря. Технологія синтезу амоніаку у промисловості передбачає використання каталізаторів, підтримання температури близько 500 °С та тиску 300–350 атм. У клітинах цей процес відбувається за нормальних температур, низькому тиску та без забруднення навколишнього середовища.

2.4.4. Обмін Нітрогену у рослин

Джерелом Нітрогену для вищих рослин є Нітроген ґрунту: NH_4^+, NO_3^- та NO_2^-. Кожна з цих форм специфічно впливає на обмін речовин. Вивчення окремих етапів живлення рослин Нітрогеном, перетворення сполук Нітрогену, а також широке розповсюдження процесів реутилізації сполук Нітрогену призвели до уявлення про колообіг нітрогеновмісних речовин у рослинному організмі.

Д. М. Прянишников запропонував схему перетворення сполук Нітрогену у рослин (рис. 2.10):

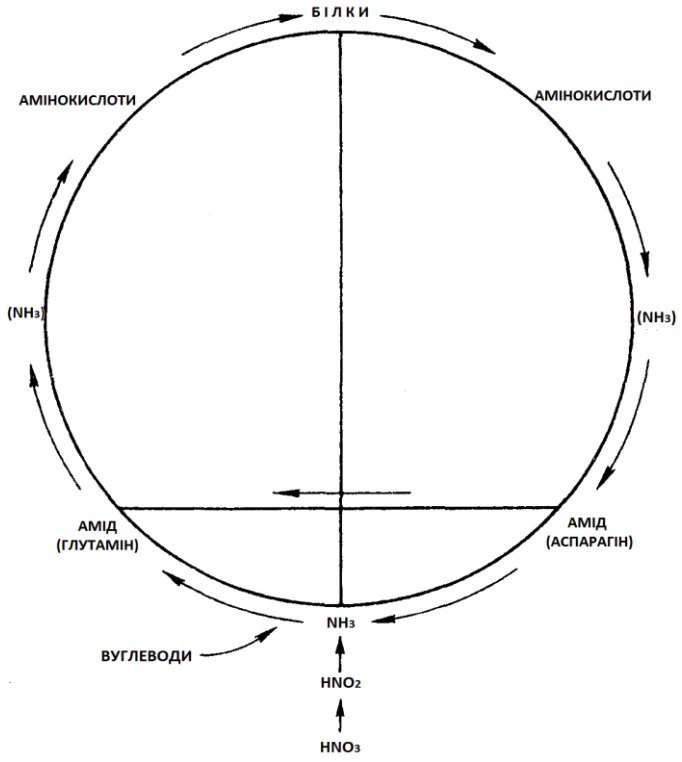


Рис. 2.10. ***Схема перетворення сполук Нітрогену (за Д. М. Прянишниковим)***

Ліва частина схеми, від амоніаку до білка, є прогресивною ланкою обміну Нітрогену у рослин, яка переважає, головним чином, у молодих ростучих органах (первинний синтез білків). Проте у рослині відбувається безперервне розщеплення білків. Радянський агрохімік Ф. В. Турчин показав, що поновлення білків відбувається дуже швидко – за 48 год оновлюється до 60 % білків організму. Права частина схеми – регресивна ланка обміну Нітрогену. Білки розщеплюються до амінокислот і далі до амоніаку. Останній знешкоджується у вигляді амідів, на основі яких знов утворюються амінокислоти. Це дозволяє рослині синтезувати новий набір амінокислот, що забезпечує побудову нових білків (вторинний синтез білків). Д. М. Прянишников підкреслив, що амоніак – це альфа і омега (перша і остання літери грецького алфавіту) обміну Нітрогену у рослин, тобто початковий і кінцевий етапи.

Кореневі системи рослин добре засвоюють нітрати, які до них надходять з ґрунту. У клітинах кореня нітрати піддаються ферментативному відновленню до нітритів і далі аж до амоніаку. Цей процес може відбуватися й у клітинах листків.

Відновлення нітратів до амоніаку відбувається у декілька етапів (рис. 2.11).

$^{(+5)}NO_3^-$ – нітрат

↓ Фермент – нітратредуктаза (містить ФАД і Молібден)

$^{(+3)}NO_2^-$ – нітрит

↓ Фермент – нітритредуктаза (активується Купрумом)

$^{(+1)}$ $(NO)_2$ – гіпонітрит

↓ Фермент – гіпонітритредуктаза

$^{(-1)}NH_2OH$ – гідроксиламін

↓ Фермент – гідроксиламінредуктаза (активується Манганом)

$^{(-3)}NH_3$ – амоніак

↓

NH_3 + органічна кислота = амінокислота

Рис. 2.11. ***Схема відновлення нітратів до амоніаку (у дужках вказаний ступінь окиснення Нітрогену***

Відновлення нітратів до нітритів відбувається за участю ферменту нітратредуктази: $NO_3^- + 2\bar{e} \rightarrow NO_2^-$.

Нітратредуктаза – це фермент, який містить у своєму складі ФАД (флавінаденіндинуклеотид), гем та Молібден. Фермент локалізується у цитозолі, де і відбувається цей процес. Донором електронів для відновлення у грибів є НАДФН, а у рослин – НАДН. Вони утворюються при диханні та частково у світлових реакціях фотосинтезу. Саме тому відновлення нітратів тісно пов'язане з дихальним газообміном. Разом з тим процес дихання рослини потребує достатньої кількості вуглеводів. При штучному зниженні вмісту вуглеводів (витримуванні рослин у темряві) нітрати не

відновлюються, а накопичуються в усіх органах рослин. При надмірному надходженні нітратів вміст вуглеводів знижується.

На відновлення нітратів значною мірою впливає світло. Перш за все, на світлі у процесі фотосинтезу утворюються вуглеводи, необхідні для відновлення, а також для подальшого перетворення нітратів. Разом з тим для відновлення нітратів можуть бути використані продукти (НАДФ, АТФ), які утворюються у процесі нециклічного фотофосфорилювання. Світло впливає і на активність ферменту нітратредуктази. При низькій освітленості, дефіциті Феруму та Молібдену його активність знижується і нітрати накопичуються у клітині. Опромінення рослини синім світлом стимулює у ній відновлення нітратів. Скоріше за все, це пов'язано з тим, що флавін нітратредуктази поглинає синє світло і активується ним.

Відновлення нітритів до аміаку каталізує фермент нітритредуктаза: $NO_2^- + 6\bar{e} \rightarrow NH_4^+$.

Нітритредуктаза – це фермент, що містить як простетичну групу гем. Активність ферменту значно вища, ніж нітратредуктази. Нітритредуктаза локалізована у хлоропластах листків чи пропластидах коренів. Донором електронів у листках є відновлений фередоксин, який утворюється при функціонуванні на світлі першої фотосистеми.

Нітрити утворюються не тільки на проміжному етапі відновлення нітратів. Вони, як і нітрати, можуть надходити до рослин із ґрунту. При цьому вони також відновлюються до аміаку за участю нітритредуктази. Але накопичення нітритів у цитоплазмі може отруювати рослину, оскільки фермент локалізований у хлоропластах. Переміщення нітритів у хлоропласти стимулює Кальцій. При його нестачі нітрити не відновлюються до амоніаку і накопичуються у клітинах.

Процес відновлення нітратів може відбуватись у листках та коренях рослин. У деревних рослин, чорниці, люпину відновлення нітратів відбувається переважно у клітинах кореня, і у листки Нітроген надходить у органічній формі. До видів, у яких цей процес відбувається у клітинах листків, належить буряк та бавовник. У більшості рослин (злакових, бобових, пасльонових, гарбузових тощо) нітрати відновлюються як у клітинах листків, так і коренів. Це залежить від кількості нітратів, які надходять з навколишнього середовища у рослину.

Важливим джерелом живлення Нітрогеном є амонійний Нітроген. При цьому він надходить до рослин навіть швидше, ніж нітрати. Останнє пов'язане з тим, що амонійний Нітроген відразу використовується для синтезу органічних речовин, тоді як нітрати потребують етапу відновлення.

Амоніак є основною і єдиною сполукою, яка включається у процеси обміну Нітрогену. Його джерелом може бути надходження з ґрунту, відновлення нітратів у клітинах рослин або вторинний розпад білків у старіючих органах і клітинах.

Накопичення амоніаку у клітинах як рослин, так і тварин призводить до небажаних наслідків і навіть до отруєння організму. Тому рослини здатні

знешкоджувати амоніак шляхом зв'язування його органічними кислотами з утворенням амідів (глутаміну і аспарагіну). Цей процес подібний до процесу знешкодження амоніаку тваринними організмами у вигляді сечовини. У багатьох нижчих рослин амоніак також знешкоджується шляхом утворення сечовини. Доведено, що у багатьох грибів (дощовиків, печериць) вона синтезується із вуглеводів і амоніаку. Так, вміст сечовини у дощовиків може сягати 10,7 % від сухої маси.

За способом знешкодження амоніаку рослини поділяють на дві групи:

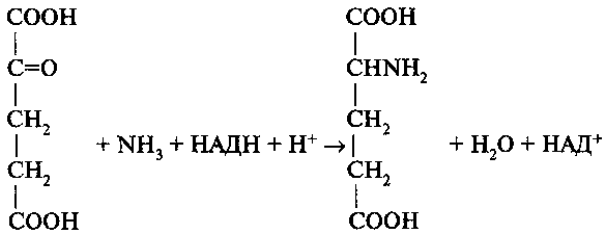
1. Амідні рослини – знешкоджують амоніак, зв'язуючи його у вигляді амідів: аспарагіну та глутаміну.

2. Аміачні рослини – знешкоджують амоніак, зв'язуючи його у вигляді солей амонію.

Змінюючи pH клітинного соку, можна змінювати напрямок обміну Нітрогену – перетворювати рослини з амідним типом обміну на аміачні і навпаки.

Отже, аспарагін, глютамін і сечовина відіграють важливу фізіологічну роль, оскільки є продуктами знешкодження амоніаку і резервом аміногруп для синтезу амінокислот.

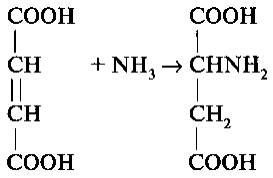
Існує кілька шляхів утворення амідів у рослин. При диханні як проміжні продукти утворюються органічні кислоти, у тому числі α-кетоглутарова та оксалатно-ацетатна. Ці кислоти у результаті реакції прямого відновного амінування приєднують амоніак:



α-Кетоглутарова кислота Глутамінова кислота

Реакцію каталізує фермент глутаматдегідрогеназа, що містить активну групу НАД. Цей фермент міститься у мітохондріях, оскільки органічні кислоти та відновлені нікотинамідні коферменти утворюються саме у цих органелах. Але він може також перебувати у цитозолі і у хлоропластах. Аспарагінова кислота утворюється подібно до глутамінової – шляхом відновного амінування оксалатно-ацетатної кислоти за участю ферменту аспартатдегідрогенази. Амінокислота аланін також синтезується шляхом амінування піровиноградної кислоти.

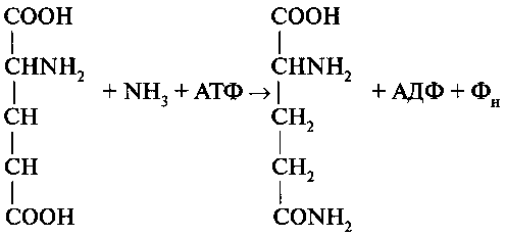
Крім того, аспарагінова кислота може утворюватись шляхом прямого амінування фумарової кислоти за участю ферменту аспартат-аміак-ліази (аспартази):



Фумарова кислота Аспарагінова кислота

Світло стимулює синтез аспарагінової кислоти у хлоропластах. Глутамінова і аспарагінова амінокислоти, приєднуючи ще одну молекулу аміаку, утворюють аміди – глутамін та аспарагін (відповідно). Амідна сполука захищає глутамінову й аспарагінову кислоти від зворотного відщеплення амоніаку при окиснювальному дезамінуванні.

Для утворення амідів необхідна енергія (АТФ) та наявність іонів Магнію. Реакцію утворення глютаміну каталізує фермент глутаматсинтетаза:



Глутамінова кислота Глутамін

На активність глутаматсинтетази впливає присутність катіонів Mg^{2+}, Mn^{2+}, Co^{2+}, Ca^{2+}. Фермент був виявлений у цитозолі, але може знаходитись і у хлоропластах. Утворення аспарагіну відбувається аналогічним шляхом.

Для утворення амідів особливе значення має вік рослини. Встановлено, що чим молодша рослина, тим більша її здатність до утворення амідів. У більш молодих органах (листках) і навіть у більш молодих клітинах одного і того ж органу утворення амідів відбувається більш інтенсивно. Аміди виявлено у пасоці і в гуті. Це є доказом того, що амоніак може перетворюватись до амідів у живих клітинах кореня.

У разі нестачі вуглеводів чи зменшення інтенсивності дихання аміди не утворюються і накопичується амоніак. Це може призвести до отруєння рослин. Кількість утворених аспарагіну і глутаміну та їх вміст залежать від виду рослин і умов навколишнього середовища. Утворення аспарагіну зростає при розщепленні білків насіння. У клітинах кореня та листка рослини, яка інтенсивно росте, відбувається, в основному, утворення глутаміну. Таким чином, аспарагін – форма знешкодження амоніаку, утвореного на шляху розкладання білків (регресивна ланка обміну Нітрогену), тоді як глутамін – форма знешкодження амоніаку, який використовується для синтезу білків (прогресивна ланка обміну Нітрогену) (див. рис. 2.10). Аміди мають велике значення для рослин, оскільки вони є:

- формою знешкодження амоніаку;
- транспортною формою сполук Нітрогену по рослині;
- матеріалом для побудови багатьох амінокислот у результаті прямого амінування органічних кислот та переамінування.

Із 20 амінокислот, які входять до складу білків, тільки три можуть утворюватись у процесі прямого амінування. Решта амінокислот утворюються в результаті переамінування та взаємоперетворення. Кожна з амінокислот, утворених шляхом прямого амінування (глутамінова, аспарагінова і аланін), є попередником цілої групи амінокислот. Реакції переамінування були відкриті біохіміками О. О. Браунштейном та М. Г. Крицманом.

Рослинний організм, на відміну від тваринного, синтезує усі необхідні йому амінокислоти із неорганічних сполук. Амінокислоти можуть утворюватись у різних органах рослин – у листках, коренях, верхівках пагонів. Деякі амінокислоти синтезуються безпосередньо у хлоропластах і там же використовуються для утворення білків. Найбільш інтенсивно синтез білка відбувається у меристематичних і молодих тканинах, клітини яких розвиваються.

Синтез білка у рослин відбувається на рибосомах (немембранних органелах клітини) і потребує:

- забезпечення Нітрогеном;
- достатньої кількості вуглеводів як матеріалу для побудови скелета Карбону амінокислот та як субстрату для дихання;
- високої інтенсивності і спряженості процесів дихання і фосфорилювання, оскільки на усіх етапах перетворення сполук Нітрогену потрібна енергія, яка накопичується у макроергічних фосфорних зв'язках АТФ;
- наявності нуклеїнових кислот: ДНК як носія інформації про послідовність амінокислот у молекулі білка, що синтезується; мРНК для перенесення інформації від ДНК у цитоплазму; тРНК для транспортування амінокислот до рибосом;
- ферментів, які є каталізаторами синтезу білка;
- мінеральних елементів (Mg^{2+}, Ca^{2+} та інші).

Досліди, проведені у стерильних умовах, показали, що джерелом живлення Нітрогеном можуть бути і розчинні органічні сполуки (амінокислоти, аміди та сечовина). Але їх вміст у ґрунті дуже низький. Для деяких рослин (паразити, напівпаразити, сапрофіти, комахоїдні рослини) джерелом живлення може бути органічний нітроген.

2.4.5. Антагонізм іонів

Для нормальної життєдіяльності рослинного і тваринного організму в зовнішньому середовищі повинно бути певне співвідношення різних катіонів. Чисті розчини солей одного катіона згубно діють (отруюють) рослину. Цей вплив проявляється до того, як починають з'являтися симптоми голодування рослин у зв'язку з нестачею інших елементів.

При вирощуванні проростків пшениці на розчині KCl або $CaCl_2$ на коренях з'являються пухлини і корені відмирають. Цікаво, що у змішаних сольових розчинах, що мають два різні катіони, отруйна дія не спостерігається.

Антагонізм іонів – це пом'якшувальна дія одного катіону на інший. Він спостерігається як між катіонами однієї валентності (K^+ та Na^+), так і різної (K^+ та Ca^{2+}). У останньому випадку антагоністичний вплив більш виражений. Так, щоб усунути отруйний вплив чистої солі KCl, потрібно додати у розчин 30 % NaCl або лише 5 % $CaCl_2$.

Розчини, що характеризуються певним співвідношенням катіонів, яке сприяє росту і розвитку організму, називають *зрівноваженими розчинами*. Прикладами природних зрівноважених розчинів є плазма крові та морська вода.

Антагонізм – це один з проявів взаємного впливу йонів. Досить часто додавання одного йону пригнічує надходження іншого. Разом з тим відомо, що дія одного йону може посилювати вплив іншого. Це явище було назване *синергізмом*.

Антагонізм йонів, очевидно, пов'язаний з дією йонів на колоїдно-хімічні властивості цитоплазми, зокрема на гідратацію білків. Відомо, що двовалентні катіони (Ca^{2+}, Mg^{2+}) дегідратують колоїди сильніше, ніж одновалентні (Na^+, K^+). Також спостерігається неоднаковий вплив на гідратацію колоїдів і катіонів однієї валентності: Na^+ сильніше дегідратує, ніж K^+. Саме тому для нормального росту рослин потрібне певне співвідношення солей одно- та двовалентних катіонів.

2.5. Поглинання та транспорт мінеральних речовин по рослинному організму

Фізіологічний взаємозв'язок окремих органів рослинного організму здійснюється за рахунок переміщення мінеральних і органічних речовин. Між органами, які постачають поживні речовини, і органами, які їх потребують, виникають донорно-акцепторні зв'язки. Донором мінеральних елементів є коренева система, а органічних – листок. У зв'язку з цим у рослині розрізняють два основні потоки поживних речовин – висхідний і низхідний.

За сучасними уявленнями система транспорту речовин включає внутрішньоклітинний, ближній і дальній транспорти. Ближній транспорт – переміщення речовин між клітинами всередині органа неспеціалізованими тканинами, наприклад, по апопласту і симпласту. Дальній транспорт – переміщення речовин між органами спеціалізованими тканинами – провідними пучками, тобто по ксилемі і флоемі.

2.5.1. Потік мінеральних елементів. Реутилізація та колообіг мінеральних елементів

З ґрунту корінь поглинає воду і мінеральні солі. Ці процеси взаємопов'язані, але здійснюються за різними механізмами. Корені поглинають

поживні речовини з ґрунтового розчину або ґрунтового поглинаючого комплексу, з яким він межує.

Для нормального функціонування кореневої системи, крім води і мінеральних речовин, їй потрібні сахароза та інші вуглеводи (для дихання та побудови клітин) і невелика кількість амінокислот. Їх постачає надземна частина.

У клітинах кореня відбуваються різні хімічні процеси, серед яких: синтез поліцукрів із моноцукрів; дихання; синтез органічних кислот, які використовуються для регуляції кислотності клітинного соку та нейтралізації амоніаку, порфіринів, вітамінів, ростових речовин, алкалоїдів; перетворення окисненої форми Сульфуру до відновної.

Розрізняють три етапи переміщення мінеральних солей по рослині:

1. Надходження у клітини кореня (поглинання клітинами).

Існує кілька способів проникнення йонів через мембрани клітин:

- проста дифузія розчинних у ліпідах речовин через ліпідну фазу мембран;
- полегшена дифузія гідрофільних речовин за допомогою ліпофільних переносників;
- проста дифузія через гідрофільні пори (через іонні канали);
- надходження за участю переносників (насосів);
- екзоцитоз (везикулярна секреція) або ендоцитоз (вп'ячування мембран).

Основна рушійна сила поглинання коренем мінеральних солей – робота іонних насосів мембран (перенощиків).

Таким чином, іони через мембрани клітин надходять за рахунок як пасивного, так і активного транспортів.

1. Радіальний транспорт мінеральних речовин

Здійснюється в напрямі від поверхні кореня до провідних систем при взаємодії всіх клітин кореня. Радіальним транспортом рухаються мінеральні солі до ксилеми. Рух розчинених мінеральних речовин по клітинах кореня може здійснюватись по апопласту (за рахунок дифузії і обмінної адсорбції за градієнтом концентрації) та по симпласту (за рахунок руху цитоплазми, по каналах ендоплазматичного ретикулюму та по плазмодесмам).

Потік води по апопласту омиває усі клітини. На усьому шляху може відбуватися адсорбція речовин клітинними стінками, надходження іонів у клітини через мембрани і включення їх у процеси обміну. Таким чином, між апопластом і симпластом кореневої системи відбувається постійна взаємодія і обмін поживними речовинами. На думку деяких вчених, основним для транспорту йонів є симпластний шлях, оскільки він більш ефективний і з можливістю метаболічної регуляції.

Сприяє посиленому руху мінеральних речовин градієнт концентрації, який виникає через включення іонів у обмінні процеси, а останні активніші у тканинах, які розміщенні глибше від поверхні кореня. Це пов'язано з нерівномірним розвитком тканин (найпізніше диференціюються тканини ендодерми та внутрішні зони паренхіми). Концентрація солей у клітинах центрального циліндру кореня менша, бо швидше відбуваються процеси обміну.

2. Ксилемний транспорт

Рух мінеральних речовин до місць використання відбувається по ксилемі – висхідному потоку. Це пасивний процес, його швидкість залежить від інтенсивності транспірації і сили кореневого тиску. Напрямок переміщення визначається не лише інтенсивністю транспірації, а і напруженістю процесів обміну та вмістом фітогормонів. Тобто у першу чергу мінеральні речовини надходять до тих структур рослини, у яких інтенсивність обмінних процесів вища чи більший вміст фітогормонів. Можливий також і радіальний транспорт речовин із ксилеми у флоему. При цьому в камбії можуть відкладатись про запас надлишкові кількості різних іонів.

На відміну від тваринних організмів рослини здатні повторно використовувати мінеральні елементи, тобто здатні до їх реутилізації. Більшість елементів реутилізуються, повторно не використовуються ті хімічні елементи, які утворюють малорозчинні і малорухливі речовини.

Кожен листок проходить свій цикл розвитку: росте, досягає максимального розміру, старіє і відмирає. Впродовж усього часу у нього надходять поживні речовини й одночасно відбувається відтік речовин. У фізіологічно молодого листка швидкість надходження більша від швидкості відтоку, у фізіологічно зрілого швидкості цих процесів стають однаковими, а у старіючого швидкість відтоку стає більшою від швидкості надходження. У період листопаду спостерігається інтенсивний відтік поживних речовин з усіх листків.

Мінеральні речовини з кореня у надземну частину рухаються по ксилемі, а їх відтік з листя відбувається по флоемі. Рухаючись радіально, з провідних елементів флоеми поживні речовини знов надходять у судини ксилеми і з висхідним потоком рухаються до більш молодих органів і листків. Таким чином, мінеральні елементи здійснюють колообіг по рослині. Перехід з низхідного (по флоемі) у висхідний (по ксилемі) потік може відбуватися у різних точках стебла. Повторне використання мінеральних елементів впливає на їх розподіл у рослинному організмі. Так, розрізняють два градієнти розподілу:

- базипетальний – характерний для мінеральних елементів, що реутилізуються (N, P, K, Mg). Вони накопичуються у молодих органах рослин і за їх нестачі у ґрунті першими страждають старі органи;
- акропетальний – характерний для елементів, які не реутилізуються (Ca, B, Fe). Вони накопичуються у старіших органах і за їх нестачі у ґрунті першими страждають молоді органи.

Таким чином, градієнт страждання рослин від нестачі мінеральних елементів спрямований у протилежному напрямку, ніж градієнт їх розподілу. Ця інформація має практичне застосування – враховується при відборі листків для аналізів, які проводять для виявлення потреби внесення тих чи інших добрив.

2.5.2. Низхідний потік речовин по рослині

Речовини, що утворюються у процесі фотосинтезу, та елементи, що реутилізуються, надходять у цитоплазму паренхімних клітин, з яких переміщуються до ситовидних трубок флоеми і по ній до інших органів.

Розрізняють три етапи транспорту речовин по низхідному потоку (за А. Л. Курсановим):

І. *Внутрішньоклітинний транспорт*. Синтезовані за день органічні речовини хлоропласту за масою важчі, ніж сам хлоропласт. Тому велике значення має відтік асимілятів у інші частини клітини. Через мембрани хлоропластів найлегше проникають тріозофосфати (ФДА, ФГА). Проникнення фосфорильованих гексоз ускладнено. Припускають, що складні вуглеводи (сахароза, крохмаль), які синтезувалися у хлоропласті, розщеплюються до тріозофосфатів і у такому вигляді рухаються через мембрану хлоропласта у цитоплазму, де відбувається їх ресинтез. Тому концентрація тріоз у цитоплазмі клітини постійно знижується, що сприяє їх надходженню з хлоропласта. Білки, які утворюються у хлоропласті, розщеплюються до амінокислот і у такому вигляді рухаються у цитоплазму. Проникність мембран підвищується на світлі.

ІІ. *Міжклітинний паренхімний транспорт*. Це рух по симпласту й апопласту до ситовидних трубок флоеми. Він здійснюється двома шляхами:

- по плазмодесмах від клітини до клітини (симпласт);
- по клітинних оболонках та міжклітинниках (апопласт).

Добавлено примечание ([U2]): Посилання на водний режим

Залежно від густини жилок відстань від клітин до ситовидних елементів різна (в середньому 3–4 клітини, що є сотими частинами міліметра). Швидкість переміщення становить 10–60 см/год і перевищує швидкість дифузії. Це свідчить про значні затрати додаткової енергії при переміщенні. Не в усіх рослин між клітинами мезофілу і флоеми добре розвинуті плазмодесми. Клітини мезофілу здатні до секреції і легко виділяють сахарозу у міжклітинники. Співвідношення апопластного і симпластного шляхів залежить від виду рослини, цукру, який транспортується, клітин-супутників та кількості плазмодесм. По апопласту, як правило, переміщується сахароза, а по симпласту, крім неї, ще й інші цукри. За низької температури й під час посухи симпластний транспорт змінюється на апопластний. Таким чином, паренхімний транспорт здійснюється як через плазмодесми, так і по вільному простору. У різних рослин переважають різні шляхи транспорту.

Клітини ж флоемних закінчень мають багато виростів клітинних стінок і посилено адсорбують цукри й амінокислоти. Припускають, що сахароза, яка утворилася у клітинах мезофілу, рухається в апопласт. При виході з паренхімних клітин у вільний простір сахароза розщеплюється під впливом інвертази на гексози. Останні рухаються по апопласту до спеціалізованих паренхімних клітин провідних пучків за градієнтом концентрацій. При стиканні з ними клітинами флоеми вони знов перетворюються на сахарозу. Можливо, частково сахароза з клітин мезофілу до провідних пучків рухається і по плазмодесмах (симплатним шляхом).

Далі відбувається завантаження ситовидних трубок. Сахароза із паренхімних (спеціалізованих) клітин флоеми надходить до ситовидних трубок. Секреція сахарози у ситовидні трубки відбувається проти градієнта концентрацій і потребує затрат енергії АТФ.

III. *Флоемно-флоемний транспорт*. Флоема – це сукупність живих клітин. Вона містить кілька типів спеціалізованих клітин: ситовидні трубки або ситовидні клітини (у голонасінних і нижчих судинних рослин), клітини-супутники та паренхімні клітини (рис. 2.11).

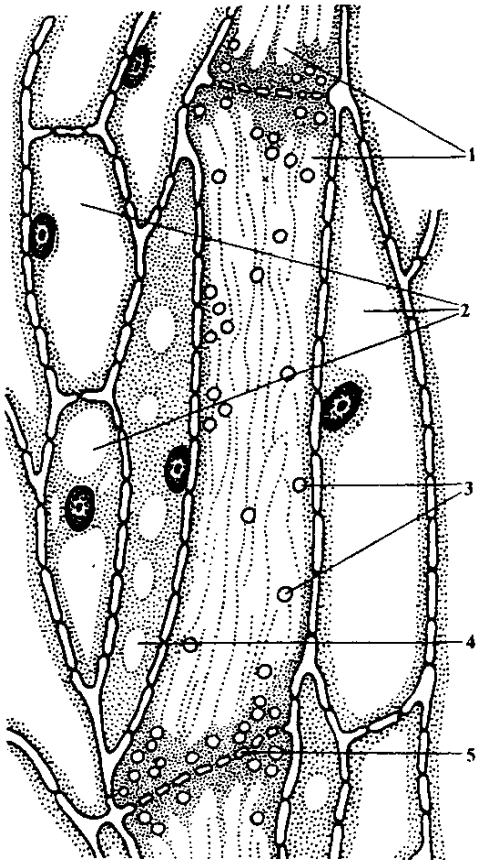


Рис. 2.11. ***Флоема: 1 – ситовидні трубки, 2 – паренхімні клітини; 3 – пластиди; 4 – клітини-супутники; 5 – ситовидна пластинка***

Елементи ситовидних трубок та клітини-супутниці формуються з клітин камбію. У них ядро розпадається, пластиди та мітохондрії зменшуються, зникає тонопласт, замість вакуолі утворюється центральна порожнина із сукупності мікротрубочок, цитоплазма розміщується у пристінному шарі.

Біля ситовидних клітин розміщуються клітини-супутники, які мають велике ядро, ядерце багато мітохондрій і рибосом. Для цих клітин характерна висока метаболітична активність, вони постачають АТФ. Клітини-супутники і ситовидні трубки пов'язані між собою численними плазмодесмами. Клітини-супутники беруть участь у завантаженні флоеми і в переміщенні асимілятів.

Рух по флоемі відбувається із затратою енергії. Розрізняють три фактори, які визначають напрямок руху органічних речовин: інтенсивність процесів обміну, вміст фітогормонів та швидкість росту органу.

Концентрація флоемного соку – 8–20 %. 90 % речовин, які рухаються по флоемі, – вуглеводи. Їх основна транспортна форма – сахароза. Проте у деяких видів рослин, крім сахарози, транспортною формою вуглеводів можуть бути олігоцукри (рафіноза, стахіоза), а також деякі спирти (манітол, сорбітол). Моноцукри (глюкоза і фруктоза) є малою часткою речовин, які переміщуються. По флоемі можуть рухатися і мінеральні елементи, які реутилізуються, органічні речовини та нітрогеновмісні сполуки у вигляді амінокислот і амідів. У флоемному сокувиявлені також низькомолекулярні білки, органічні кислоти, вітаміни, фітогормони. Особливістю флоемного соку є його слабколужна реакція (pH = 8,0–8,5) і висока концентрація АТФ та йонів K^+.

Транспорт речовин по флоемі відбувається до точок росту, квітів, плодів, а також до кореня, де вони відкладаються про запас. У зв'язку з цим транспорт по флоемі може відбуватися у протилежних напрямках. Переважна більшість вчених вважає, що зустрічний потік речовин локалізований у різних ситовидних трубках.

Механізм руху органічних речовин по флоемі характеризують такі гіпотези:

1. Гіпотеза, яку розробив Е. Мюнх у 1930 році. На його думку, рідина (розчин), яка міститься у ситовидних трубках, рухається завдяки різниці тургорних тисків. Так, клітина-донор, у якій синтезуються органічні речовини, має тургорний тиск, який постійно зростає. Клітина-акцептор, яка використовує ці органічні речовини, має тургорний тиск, що постійно знижується. При сполученні цих клітин рідина буде рухатись від клітини-донора до клітини-акцептора. Але ця гіпотеза має певні недоліки:

- не пояснює відтік органічних речовин із в'ялого та листя, що опадає;
- лише сили тургорного тиску недостатньо для переміщення сахарози по ситовидних трубках.

2. Альтернативна гіпотеза. Згідно з нею транспорт продуктів асиміляції по флоемі відбувається з затратою енергії. За даними А. Л. Курсанова, існує зв'язок між транспортом по флоемі і напруженістю енергетичного обміну. Джерелом енергії для переміщення речовин може бути АТФ, яка синтезується як у ситовидних елементах так і, головним чином, у клітинах-супутниках. Саме в останніх спостерігається висока інтенсивність процесів дихання та окиснювального фосфорилювання. Сам механізм активного транспорту потребує подальшого вивчення. Припускають, що періодичні скорочення білкових тяжів ситовидних трубок сприяють переміщенню речовин. Такі білкові нитки містяться і у порах ситовидних пластинок. Можливо, вони за рахунок перистальтичного скорочення проштовхують розчини.

3. Гіпотеза, що базується на електроосмотичних явищах. На кожній ситовидній пластинці виникає електричний потенціал у зв'язку з переміщенням іонів K^+. Саме він і є рушійною силою транспорту сахарози по флоемі.

Варто згадати, що по флоемі розповсюджуються імпульси подразнення, що також може бути одним з механізмів, що забезпечують транспорт (В. О. Опритов).

4. Гіпотеза Д. Фенса (1972 р.). Згідно з нею транспорт асимілятів по флоемі відбувається за допомогою декількох механізмів. При цьому важливе значення надається і руху за градієнтом тургорного тиску, і електроосмотичним явищам, і перистальтичному скороченню білкових тяжів клітин ситовидних трубок. Кожен з цих механізмів може здійснюватися і посилюватися за відсутності умов для функціонування інших.

2.6. Поживні речовини ґрунту та їх засвоєння

Найважливішою властивістю ґрунту є його родючість (див. частина І), або здатність забезпечувати рослину водою і поживними речовинами. Ґрунт – це складне природне тіло, що впливає на життя рослин різними шляхами. Система "ґрунт – рослина" є складним взаємодіючим комплексом. Розрахунки показують, що запаси поживних речовин в орному шарі достатньо великі, щоб цілком задовольнити потребу в них рослин. Але відомо, що у багатьох випадках внесення невеликих доз добрив сприяє росту і збільшує продуктивність рослин. Це пов'язано з тим, що абсолютний вміст того або іншого поживного елемента в ґрунті ще не свідчить про його доступність для рослини.

Форми поживних речовин, що засвоюються рослинами, визначити важко. Це пов'язано з тим, що в ґрунті безупинно відбуваються численні хімічні та мікробіологічні процеси, в результаті яких швидко змінюються форми поживних речовин. Крім того, це залежить і від виду рослин. Різні рослини мають різну здатність до засвоєння, що пов'язано з їх метаболічною активністю і характером кореневих виділень. У деяких випадках кореневі виділення можуть перетворювати одну форму поживних речовин (що погано засвоюється) на іншу (що добре засвоюється).

Найдоступнішою формою поживних речовин у ґрунті є речовини, що знаходяться в *ґрунтовому розчині,* але їх кількість недостатня для підтримання нормального росту рослин. При вирощуванні рослини на воді, профільтрованій крізь ґрунт, їх ріст ослаблений порівняно з тими, що вирощувалися на ґрунті.

Для живлення рослин найважливіше значення має фізико-хімічна, або *обмінна,* поглинальна здатність ґрунту. Як зазначалось у частині І (див. 5.3, 5.4), ця властивість ґрунту пов'язана з наявністю у ній частинок ґрунтового поглинаючого комплексу (ГПК). Велика частина колоїдів ґрунту заряджена негативно. На їх поверхні в адсорбованому стані знаходяться катіони. Деяка частина колоїдів ґрунту за певних умов може бути заряджена позитивно, тому на них у поглиненому адсорбованому стані будуть знаходитися аніони. *Обмінні катіони та аніони* – це найважливіші джерела живлення рослин. Катіони й аніони ГПК можуть змінюватися на іони, адсорбовані на поверхні клітин кореня (H^+, HCO_3^-, CO_3^{2-} тощо). Особливо успішно цей процес відбувається при тісному контакті між колоїдами ґрунту та клітинами кореня (контактний обмін). Доступність таких катіонів для рослин залежить від:

- ступеня насиченості ґрунту даним катіоном. Чим більше даного катіона (стосовно всіх інших катіонів) знаходиться у ґрунті, тим із меншою силою він утримується і легше надходить у клітини кореня;
- насиченості даним катіоном поверхні клітин кореня рослини. Чим більша насиченість, тим менша здатність клітин кореня до його поглинання. Насиченість клітин катіоном залежить від швидкості його надходження у

рослину, а також від швидкості його використання. Чим інтенсивніші процеси обміну речовин у рослині, тим більші її темпи росту, тим вища її здатність до поглинання катіонів;

- вмісту води в ґрунті. Показано, що обмін іонів між колоїдами ґрунту і клітинами кореня краще відбувається у разі добре зволоженої поверхні стикання.

У деяких випадках рослини можуть використовувати поживні речовини з важкорозчинних сполук. Це стосується насамперед фосфатів. Клітини кореня при диханні виділяють у ґрунт вуглекислий газ, який при взаємодії з водою утворює вугільну кислоту. Крім того, клітини коренів виділяють у ґрунт і різні органічні кислоти (цитратну, бурштинову, молочну, яблучну тощо). Ці речовини здатні реагувати у ґрунті з нерозчинними у воді солями, перетворюючи їх на розчинні сполуки, які можуть засвоювати рослини.

2.7. Вплив кислотності ґрунту на поглинання поживних речовин коренем

Кислотність (pH) ґрунту (див. частину I, п. 5.5) впливає на розчинність, а також на засвоєння рослиною різних поживних речовин. Такі мінеральні елементи, як Фосфор (у певних умовах), Калій, Ферум, Цинк, Манган, Бор краще засвоюються на кислих ґрунтах. Водночас висока кислотність ґрунту може гальмувати ріст і навіть пошкоджувати рослину. Для кожного виду рослин існують свої оптимальні межі pH, при яких можливий його ріст. Оптимальні значення pH для деяких видів рослин: люпин – 4–5, картопля – 5, овес – 5–6, жито – 5–6, льон – 5–6, конюшина – 6–6,5, горох – 6–7, буряк – 7.

Для більшості рослин найсприятливішою є слабокисла реакція (pH 5–6) або нейтральна (pH 7). Різке зміщення pH у той або інший бік шкідливо, а іноді й згубно впливає на рослину. Менш шкідливим для рослин є зміщення pH ґрунту в лужний бік. Це пов'язано з тим, що клітини кореня рослини виділяють CO_2 (при диханні), а іноді й органічні кислоти, які нейтралізують надлишкову лужну реакцію ґрунту. Різке зміщення реакції ґрунту в кислий бік призводить до негативних наслідків:

– пошкодження поверхневих шарів протоплазми;

– гальмування надходження у клітини кореня поживних катіонів;

– переведення фосфорної кислоти у нерозчинну у воді, отже, недоступну для засвоєння рослинами форму фосфатів Алюмінію і Купруму. Останні утворюються на кислих ґрунтах, оскільки нерозчинні солі Феруму і Купруму у кислому середовищі перетворюються на розчинні сполуки і взаємодіють з фосфорною кислотою;

– безпосередній отруйний вплив на рослини розчинних сполук Алюмінію і Феруму.

Для усунення надлишкової кислотності в агрономічній практиці широко застосовується вапнування ґрунту.

2.8. Мікрофлора ґрунтів та її вплив на рослини

Ґрунт є сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів. Приблизні підрахунки показують, що в 1 г ґрунту міститься 10^9 бактерій, 10^5 грибів, 10^5 актиноміцетів, 10^3 водоростей. Сумарна маса всіх мікробних клітин в орному шарі ґрунту становить приблизно 6–7 т на 1 га.

З життєдіяльністю мікроорганізмів пов'язано багато ґрунтових процесів – колообіги біогенних елементів, мінералізація тваринних і рослинних залишків, збагачення ґрунту доступними для рослин формами Нітрогену та родючість ґрунту.

У ґрунті дуже чітко проявляються симбіоз, метабіоз та антагонізм мікробів і, як у жодному іншому місцезнаходженні, виявляється надзвичайно багатий їх видовий склад. Особливо численні та різноманітні мікроорганізми навколо кореневих систем (у ризосфері) і на поверхні коренів.

Якісний склад, кількість особин і співвідношення між різними групами мікроорганізмів змінюються залежно від типу ґрунту, гранулометричного складу, вмісту гумусу, рослинного покриву, способів його обробітку, внесення добрив та ін.

Склад мікрофлори ґрунту досить різноманітний. Переважають водорості, плісняві гриби, актиноміцети, бактерії. Одними з перших мешканців ґрунту, що формується, стають водорості. Вони містять хлорофіл і розміщуються у верхніх горизонтах ґрунту, де достатньо вологи та світла. Найважливіший екологічний фактор для них – волога.

Мікробна система ґрунтів (а ймовірно, і донних відкладень водойм) – саморегулювальна система, у якій регулюється інтенсивність процесів гідролізу полімерів, а сигнальними метаболітами зворотного зв'язку слугують мономерні сполуки, що утворюються. Завдяки тому, що швидкість утворення мономерних сполук вища за швидкість їх використання, у мікроорганізмів-гідролітиків відбувається катаболічна репресія синтезу екзоферментів і вони на деякий час переходять у стадію спокою. Її тривалість зумовлюється швидкістю зниження концентрації мономерів. Цей процес здійснюється мікроорганізмами-гетеротрофами, що створюють умови для функціонування мікроорганізмів-оліготрофів, які здатні розвиватися при малих концентраціях у середовищі джерел Карбону та енергії.

Уся маса мікроорганізмів ґрунту становить його запас, або пул ґрунту. Роль пулу ґрунту полягає у підтриманні гомеостазу ґрунту – рівномірного вмісту органічних, мінеральних речовин та гумусу. Динаміка кількості мікроорганізмів різних типів ґрунтів визначається наявністю таких груп мікроорганізмів:

1. Зимогенною мікрофлорою – це сапрофітні мікроорганізми, які здійснюють мінералізацію органічних залишків.

2. Автохтонною мікрофлорою, яка бере участь у руйнуванні гумусу.

3. Оліготрофною мікрофлорою, яка представлена мікроорганізмами, що розвиваються за рахунок мінімальних кількостей органічних речовин і завер-

шують процес мінералізації. Серед них розрізняють олігонітрофіли, які розвиваються в умовах наявності мінімальної кількості нітрогеновмісних речовин, та олігокарбофіли, які розкладають залишки карбоновмісних речовин.

4. Автотрофною мікрофлорою.

Отже, мікробіоценоз – це відкрита біологічна система, яка характеризується мінливістю співвідношення компонентів і підкоряється законам варіаційної статистики.

Для мікроорганізмів ґрунт є складною гетерогенною системою мікросередовищ з різними умовами життя. Встановлено, що 80–90 % мікробів ґрунту знаходяться в адсорбованому стані на поверхні ґрунтових агрегатів, коренях рослин, речовинах органічних залишків. Незначна їх кількість міститься у ґрунтовому розчині.

Розподіл мікроорганізмів у ґрунті нерівномірний. Очевидно, більшість мікроорганізмів у ґрунтах розміщується у мікрозонах. Це залежить як від складу органічних речовин ґрунтових мікрозон, так і від взаємовідносин, які складаються між мікроорганізмами. Важливі фактори, що регулюють розподіл мікроорганізмів у природних середовищах, – ґрунтово-географічні та кліматичні умови існування мікробів, тобто еколого-просторові закономірності розподілу мікроорганізмів і специфіка мікронаселення ґрунтових типів. Найбагатші на бактерії чорноземні ґрунти, каштанові та сіроземи.

У поверхневому шарі ґрунту, глибина 1–2 мм, кількість їх відносно невелика внаслідок дії сонячної та ультрафіолетової радіації, висушування та інших фізичних факторів. Найліпші умови життєдіяльності мікроорганізмів формуються на глибині 10–20 см. Саме тут активно відбувається процес розкладання органічних решток. На глибинах більше 5 м мікроорганізми виявлені у незначних кількостях.

Мікроорганізми, які живуть у ґрунті, мають дещо менші розміри, ніж вирощені на поживних середовищах у лабораторних умовах.

Під час дослідження мікрофлори ґрунту слід пам’ятати, що показники загальної кількості мікроорганізмів залежать більше від методу дослідження, ніж від конкретного їх вмісту. Найбільш достовірними вважають дані, отримані під час використання прямих методів аналізу. Якісний і кількісний мікробіологічний аналіз ґрунту є показником його родючості (сапрофітна мікрофлора) та санітарного стану (патогенна мікрофлора). Бактеріологічне дослідження ґрунту охоплює: визначення загальної кількості сапрофітних мікроорганізмів; кількості мікробів різних фізіологічних груп (амоніфікуючих, азотфіксуючих та ін.); мікроорганізмів-антагоністів і встановлення їх активності; визначення санітарно-показових мікроорганізмів.

Мікрофлора ґрунту впливає не лише на процеси, що відбуваються у ґрунті, але і на життя рослин. Особливо багато мікроорганізмів розвивається біля кореневих систем. Мікрофлору зони кореня поділяють на:

- мікрофлору ризоплани – сукупність мікроорганізмів, які живуть безпосередньо на поверхні коренів;

- мікрофлору ризосфери – сукупність мікроорганізмів, які населяють зону навколо кореневих систем.

Кількість мікроорганізмів у прикореневій зоні в 50–100 разів перевищує їх кількість поза сферою впливу кореневих систем. Це і зрозуміло, тому що кореневі виділення біля кореневих систем створюють сприятливі умови для живлення мікроорганізмів. Оскільки кореневі виділення різноманітні у різних рослин, тому мікроорганізми зони кореня також специфічні.

Мікроорганізми можуть впливати на рослини як негативно, так і позитивно. Так, мікроорганізми можуть викликати захворювання рослин, виділяти токсичні для рослин речовини та бути конкурентами рослин при поглинанні поживних речовин ґрунту.

До позитивного впливу на рослини відносять:

– мінералізацію органічні речовини рослинного і тваринного походження, тобто переведення їх у доступну для засвоєння рослинами форму;

– фіксація атмосферного молекулярного азоту, що збагачує ґрунт на сполуки Нітрогену;

– перетворення недоступної для засвоєння рослинами форми неорганічний речовин на доступну;

– синтез різних біологічно активних речовини (вітамінів, гормонів тощо);

– симбіоз з рослинами, що сприяє їх росту і розвитку.

Багато вищих рослин живуть у симбіозі з грибами, утворюючи мікоризу, або грибокорінь. Розрізняють ектотрофну й ендотрофну мікоризу. Ектотрофна мікориза властива, головним чином, деревним рослинам. У них корінь щільно обплутаний гіфами гриба, які неглибоко проникають у міжклітинники кори кореня. При ендотрофній мікоризі (у трав'янистих рослин) гіфи гриба проникають не тільки у міжклітинники, але й у клітини кореня. Рослини-мікоризоутворювачі можуть існувати і без співжиття з грибом, але все ж мікориза покращує їх ріст. Міцелій гриба збільшує робочу поверхню кореневої системи і тим сприяє поглинанню з ґрунту води і поживних речовин.

На надземних органах рослин розвивається *епіфітна* мікрофлора. Її мікроорганізми сприяють росту вищої рослини, постачаючи їм гормональні речовини. У цілому ріст вищих рослин можливий на мінеральному поживному середовищі у стерильних умовах. Проте у присутності мікроорганізмів він відбувається більш інтенсивно. Навіть при повному забезпеченні рослини всіма поживними речовинами у стерильних умовах їх темпи росту знижуються. Це, очевидно, пов'язано з нестачею фітогормонів. Внесення ззовні таких фітогормонів, як ауксини і гібереліни, у стерильних умовах сприятливо впливає на ріст рослин.

2.9. Фізіологічні основи застосування добрив

У природних біоценозах поглинуті з ґрунту сполуки частково повертаються разом з опалим листям, гілками, хвоєю. При збиранні врожаю це джерело повернення речовин у ґрунт зникає, і він збіднюється на поживні

речовини. Для уникнення цього несприятливого для вирощування рослин явища потрібно вносити у ґрунт добрива. Раціональне внесення добрив – є важливим фактором підвищення врожайності рослин.

Ю. Лібіх, вивчаючи вплив на врожайність родючості ґрунту, сформулював *закон мінімуму (закон обмежувального фактора*): величина врожаю, у першу чергу, визначається елементом, який у ґрунті знаходиться в мінімальній кількості.

Існує кілька класифікацій добрив:

I. За хімічною природою речовин – мінеральні й органічні.

II. За способом одержання – промислові (ті, що виготовляють у промислових умовах: азотні, фосфорні, калійні тощо) та місцеві (гній, торф, попіл).

III. За структурою речовин:

1. Прості (містять один необхідний елемент в одній хімічній сполуці).

2. Комплексні: а) складні (в одній хімічній сполуці міститься декілька необхідних елементів. Наприклад, KNO_3); б) комбіновані (декілька необхідних елементів міститься у декількох хімічних сполуках. Наприклад, нітрофоска, нітроамофоска).

IV. За вмістом необхідного компонента:

1. Макродобрива – містять макроелементи.

2. Мікродобрива – містять мікроелементи.

3. Бактеріальні добрива – містять бактерії.

4. Зелені добрива – зелена рослинна маса (наприклад, зелена маса люпину).

Оскільки макроелементи потрібні рослинам у більших дозах, ніж мікроелементи, то їх нестача у ґрунті настає набагато швидше. Отже, мікродобрива у ґрунт вносять рідше, ніж макродобрива. В основному, вносять добрива, що мають кілька необхідних елементів як макро-, так і мікро-. Мікродобрива застосовують також для кращого використання рослинами основних поживних елементів. Наприклад, Манган посилює рухливість Фосфору, а Кобальт посилює надходження у рослину Нітрогену.

Бактеріальні добрива вносять у ґрунт для підтримання його біологічної активності. Наприклад:

а) препарат "Фосфобактерин" – містить бактерії, що розкладають органічні сполуки фосфору;

б) препарати "Азотоген" і "Азотобактерин" збагачують ґрунт вільноживучими азотфіксаторами;

в) препарат "Нітрагін" збагачує ґрунт на симбіотичні азотфіксатори (бульбочкові бактерії).

Способи внесення добрив у ґрунт можуть бути різними:

1. Передпосівне – внесення восени і навесні до посіву чи висаджування рослин. Час внесення визначається рівнем зволоженості ґрунту. Таким чином вносять вапно, азотні, фосфорні, калійні добрива.

2. Припосівне – внесення одночасно з посівом чи висаджуванням рослин.

3. Післяпосівне (або підживлення). Для посилення живлення у найважливіші періоди розвитку рослин (квітування, плодоношення).

При внесенні добрив у ґрунт потрібно враховувати такі фактори:

1. Форму добрив (рідкі, порошкоподібні, гранульовані тощо).
2. Вид рослини (наприклад, під бобові рослини азотні добрива не вносять).
3. Рослину-попередник – рослину, що росла на даній території минулого вегетаційного періоду. Після бобових у ґрунт азотні добрива не вносять.
4. Кліматичні умови.
5. Метеорологічні умови.
6. Тип ґрунту.
7. Спосіб внесення.
8. Терміни і норми внесення.

Недотримання умов внесення добрив може призвести до засолення ґрунту та забруднення навколишнього середовища.

Останнім часом широко застосовується метод програмованого врожаю. Це потребує розрахунку норм добрив, виходячи з запланованого врожаю. При цьому потрібно враховувати наступне:

- винесення з ґрунту поживних речовин даною культурою;
- використання поживних речовин ґрунту даною рослиною;
- норми добрив.

При плануванні врожаю потрібно враховувати можливості забезпечення водою (транспіраційні коефіцієнти), а також рівень фотосинтетиної активності листкового апарату. Найбільша ефективність добрив може бути тільки при оптимальному проходженні фотосинтезу і достатньому забезпеченні рослин водою.

ЛІТЕРАТУРА ДО ЧАСТИНИ II

1. Полевой В. В. Физиология растений / В. В. Полевой. – М. : Высшая школа, 1989. – 464 с.

2. Физиология растений : учебник для студ. вузов / Н. Д. Алехина, Ю. В. Балнокин, В. Ф. Гавриленко и др. ; под ред. И. П. Ермакова. – 2-е изд., испр. – М. : Издательский центр "Академия", 2007. – 640 с.

3. Якушкина Н. И. Физиология растений / Н. И. Якушкина. – М. : Просвещение, 1980. – 296 с.

4. Якушкина Н. И. Физиология растений / Н. И. Якушкина, Е. Ю. Бахтенко. – М. : ВЛАДОС, 2005. – 463 с.

ЧАСТИНА ІІІ
ПОНЯТТЯ ПРО ҐРУНТ ЯК ДЖЕРЕЛО МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ "БІОЛОГІЯ"

- **Поняття про ґрунт у змісті навчального матеріалу 6 класу**
- **Практична діяльність учнів при вивченні теми "Корінь" у 6 класі**
- **Позаурочна робота з учнями при вивченні теми "Корінь"**
- **Формування дослідницьких вмінь учнів на гурткових заняттях при вивченні теми "Корінь"**

РОЗДІЛ 1
ПОНЯТТЯ ПРО ҐРУНТ У ЗМІСТІ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ 6 КЛАСУ

1.1. Практично-діяльнісний компонент змісту біологічної освіти

Загальноосвітня школа – важливий соціальний інститут, що відображає стан, тенденції розвитку суспільства і водночас впливає на нього. Зміни у суспільстві мають вагомий вплив на освіту, оскільки вимагають чіткої, правильної та негайної відповіді на питання, які вирішує держава на сучасному етапі. Невід'ємною ознакою прогресу суспільства є його увага до розвитку і вдосконалення системи освіти.

Однією з найважливіших передумов гармонійного розвитку особистості є вивчення біології в школі. Недостатній рівень біологічної освіти, як правило, стає причиною некомпетентної господарської діяльності, що призводить до незворотних змін у біосфері, а також неправильного способу життя, з чим пов'язане різке збільшення кількості захворювань.

Разом з тим успіхи природничих наук у галузі фундаментального дослідження суттєво змінюють уявлення людей про навколишній світ. Модель нової саморегульованої "творчої" картини світу охоплює всі соціальні сфери життя, оскільки поняття "природа" поєднує всебічний взаємозв'язок усіх матеріальних, енергетичних та інформаційних феноменів, включає суб'єктивно-об'єктивні відношення. У вузькому розумінні слова під природою розуміється її творчо-організуюча сила, тобто динамічний аспект. Розгляд цього аспекту природи лежить в основі еволюційно-прогностичного процесу модернізації змісту освіти, її цілісного оновлення.

Головна мета біологічної освіти – формування у школярів наукової картини живої природи та загального рівня культури, виховання творчої особистості, яка б усвідомила власну відповідальність перед суспільством за збереження життя на Землі. На сучасному етапі розвитку біологічної освіти потрібно посилити практичну спрямованість змісту біологічної освіти завдяки збільшення лабораторних та практичних досліджень, розвитку позаурочної та позакласної систем освіти. Врахування таких пріоритетів створить умови для різнобічного розвитку і саморозвитку особистості, формування основних компетенцій. Посилення методологічної складової біологічної освіти передбачає оволодіння загальнонауковими методами пізнання, методами самостійного одержання наукових знань з біології. Зазначені підходи зміцнюють практично-діяльнісний і творчий компоненти у змісті освіти. Біологія є основою медицини, екології, агрономії, сільськогос-

подарських наук. Біологічні процеси застосовують у таких галузях промисловості, як харчова, мікробіологічна, фармацевтична. Біологія відіграє провідну роль у вирішенні багатьох актуальних проблем сучасності глобального масштабу, що стоять перед людством, – охорони навколишнього середовища, раціонального використання та відновлення природних ресурсів, підвищення продуктивності рослин і тварин.

Організація навчання біології має базуватися не лише на бажанні вчителя вивчити якнайбільше матеріалу, термінів, законів, положень. Найголовніше – навчити дитину самостійно спостерігати і вивчати живу природу, любити її, берегти та примножувати природні багатства рідного краю. Враховуючи психологічні й вікові особливості учнів, учитель біології має будувати навчальний процес не тільки як пізнавально-репродуктивний, але й як творчий, спрямований на еколого-натуралістичну та природоохоронну діяльність.

Характерною рисою розвитку багатьох природничих наук є взаємозв'язок та взаємопроникнення методів однієї науки для вирішення питань іншої. Предмети біологічного циклу – теоретична основа для цілої низки спеціальних дисциплін, таких як: агрономія, ветеринарія, мікробіологія, генетика і селекція, птахівництво тощо. Ось чому і сільське господарство, і агрохімія, і біотехнологія, і промисловість значною мірою базуються на тих знаннях і досягненнях, якими характеризується сучасний рівень біології.

1.2. Формування на уроках в учнів 6 класу основних понять про ґрунт як джерело мінерального живлення

За особистісно орієнтованого навчання учень є центральною фігурою навчально-виховного процесу. Це зумовлює потребу ставити його у позицію дослідника, першовідкривача процесів живої природи, вчити спостерігати та аналізувати закономірності природи, вміти їх пояснювати і, тим самим, пробуджувати цікавість до ще не розв'язаних проблем, які можуть виникати перед ним. Знання, вміння та навички стають надбанням особистості, якщо вони здобуті власною працею.

Реалізація зв'язку навчання з життям при викладанні біології починається на уроках. Активізація навчальної діяльності учнів на уроках великою мірою залежить від запровадження різних видів самостійної роботи, які сприяють розвиткові розумових здібностей учнів, спостережливості, допитливості, творчої ініціативи, наполегливості. Забезпечити пізнавальність уроку можна за допомогою яскравої наочності з природного матеріалу, цікавих повідомлень, постановки проблемних запитань, розв'язання пізнавальних задач тощо.

Теоретичний матеріал навчального посібника може бути використаний у 6 класі в темі "Рослини" на уроках: "Рослина – живий організм", "Жив-

лення (мінеральне, повітряне) рослин", "Дихання рослин", "Будова рослини. Органи рослин", "Корінь: будова, основні функції (поглинання води та укріплення у ґрунті)", "Пагін: будова, основні функції (фотосинтез, газообмін, ріст, випаровування води, транспорт речовин)".

Порівняно з іншими темами, що вивчаються в 6 класі, найбільший зв'язок з практикою має тема "Рослини", особливо коли вивчається будова кореневої системи. Під час опрацювання навчального матеріалу теми розвиваються поняття про клітинну будову рослин, рослину як цілісний організм, взаємозв'язок будови і функції органа, взаємозв'язок рослинного організму з умовами навколишнього середовища, індивідуальний розвиток рослини.

При вивчені теми "Корінь" в учнів формуються морфологічні й анатомічні поняття про особливості будови рослинного організму та його органів, а саме про: будову кореня та його функції (поглинання води та закріплення у ґрунті), будову пагона, його складові та основні функції, що вони виконують (фотосинтез, газообмін, ріст, випаровування води, транспорт речовин), фізіологічні – про ріст і розвиток кореня та його функції, особливості мінерального та повітряного живлення рослин, частково агротехнічні й екологічні.

Одне із завдань вчителя – розкрити значення цієї теми як теоретичної бази сільськогосподарського виробництва, агрохімії та інших галузей народного господарства, домогтися, щоб учні не лише розуміли, а й навчилися застосовувати набуті знання біологічних закономірностей на практиці.

Вивчення теми "Корінь" потрібно розпочати із з'ясування значення кореня для життя рослини, встановлення взаємозв'язків з іншими органами рослини. Для правильного розуміння учнями розвитку кореневої системи слід продовжити формувати загальне уявлення про корінь як орган рослини, акцентувати увагу учнів на тому, що корінь є частиною цілісного рослинного організму. Вивчати будову кореня та типи кореневих систем доцільно на прикладі найбільш розповсюджених культурних рослин.

На основі лабораторних досліджень учитель формує поняття про типи коренів та кореневі системи. Слід наголосити, що головний, бічні та додатковий корені утворюють єдиний орган. Додаткові корені мають стеблове походження і певні агротехнічні засоби стимулюють їх утворення, відповідно, збільшується площа живлення, покращується ріст і продуктивність рослин. Учні повинні знати, що збільшити площу живлення рослини можна різними заходами: в одному випадку за рахунок утворення додаткових коренів, а в іншому – за рахунок збільшення бічних коренів.

Формуючи поняття про ділянку росту кореня, відзначаємо, що цією частиною корінь росте. Зосереджуємо увагу учнів на кореневих волосках всисної частини; пояснюємо, що це витягнуті клітини шкірки кореня. Вони вбирають з ґрунту воду й поживні речовини. Щоб ознайомитись з функцією кореневих волосків, учні розглядають корені проростків пшениці, жита, кукурудзи, вирощені в ґрунті. Промиваючи їх у воді, вони переконуються,

що грудочки ґрунту міцно тримаються кореневими волосками, завдяки яким рослина живиться з ґрунту.

Говорячи про провідну ділянку кореня, вчитель відзначає як основну ознаку – наявність видовжених клітин, або судин, по яких надходять вода і мінеральні солі від кореня до стебла та інших органів.

Пояснивши будову і функції кожної ділянки кореня, вчитель пропонує учням відокремити від пророслого насіння пшениці корінець, покласти його на предметне скло в краплю води, накрити покривним скельцем, розглянути під мікроскопом, замалювати і підписати. Щоб розглянути провідну ділянку кореня, треба, злегка натиснувши пальцем покривне скельце, роздавити корінець, тоді краще видно клітини. Для економії часу мікропрепарати доцільно приготувати заздалегідь.

Розглядаючи препарати під мікроскопом, учні самостійно проводять зоровий аналіз і виділяють окремі ділянки кореня. При цьому відбувається аналітико-синтетична діяльність учнів. Вони розглядають ділянки кореня не ізольовано одну від одної, а в складі цілого – кореня.

Обґрунтувавши залежність росту рослини від розвитку кореневої системи, вчитель підводить учнів до розуміння зв'язку між умовами вирощування рослини та збільшенням врожайності. Для нормального розвитку кореневої системи рослини потрібно, щоб ґрунт був постійно пухкий, удобрений, тоді корені отримують достатню кількість вологи, мінеральних солей, повітря і вільно розростаються. Тому важливо своєчасно проводити підгортання рослин та культивацію ґрунту.

Поняття про мінеральне живлення рослин є складовою частиною понять про обмін речовин, взаємозв'язок організму і середовища, рослину як цілісний організм. Тому його не можна розглядати ізольовано.

З уроків природознавства учні вже знають, що ґрунт є складовою частиною навколишнього середовища рослин. За рахунок кореневої системи рослина закріплюється у ґрунті. В учнів потрібно формувати уявлення про живлення рослин з ґрунту, залежність їх росту і розвитку від наявності певних речовин та води у ґрунті, про рослину як цілісний організм.

Поняття про живлення рослин з ґрунту базуються на знаннях анатомічної будови кореня. Після пояснення вчителя та аналізу дослідів учні розуміють, що корінь з ґрунту поглинає воду і мінеральні речовини, які по провідній системі надходять до надземних органів.

Формуючи в учнів поняття про добрива, пояснюємо, що рослини з ґрунту поглинають потрібні їм речовини. Якщо у ґрунті їх достатня кількість, то рослини добре ростуть, розвиваються і плодоносять. Якщо на одній і тій же ділянці вирощувати рослини впродовж кількох років, спостерігається виснаження ґрунту, вміст у ньому поживних речовин зменшується, рослини погано ростуть і мають низьку врожайність. Отже, для отримання високих врожаїв потрібно ґрунт удобрювати. В учнів формується уявлення про підживлення рослин шляхом внесення добрив перед посівом чи висаджуванням.

Формуючи основні поняття вчитель повинен пояснити значення агротехнічних прийомів, які покращують розвиток кореневої системи та будуть сприяти її нормальному росту. Серед них: збереження вологи у ґрунті, внесення добрив, підживлення, розпушування ґрунту, осипання, пікірування.

Рослинний організм – цілісна система, у якій усі органи взаємопов'язані. Для доведення даного твердження можна включити учнів у активну пізнавальну діяльність. Для цього їм пропонується розв'язати наступну навчальну проблему: "Чому рослини з коротким вегетаційним періодом (салат, шпинат, редис) мають більшу потребу у зволожені, ніж рослини з довгим періодом вегетації (огірки, томати)?" При пошуковій бесіді важливо розкрити взаємозв'язок між поглинанням води кореневою системою та випаровуванням її листками. У рослин з коротким вегетаційним періодом основна маса коренів міститься у верхньому шарі ґрунту, який швидко втрачає вологу. А такі рослини, як капуста, салат, крім того, мають ще й велику площу листкової поверхні, яка випаровує велику кількість води. Відповідно, підвищена потреба у зволоженні обумовлена розвитком кореневої системи, розмірами та будовою листків. Ось чому при додатковому зволожені ґрунту рослини з коротким вегетаційним періодом добре розвиваються, що приводить до збільшення врожаю.

Рослини, коренева система яких глибше проникає у ґрунт, краще забезпечені вологою (морква, буряк, квасоля, кукурудза), тому не потребують сильного зрошення. Посухостійкі рослини, такі як кавун, диня, гарбуз, мають добре розвинуту кореневу систему, що глибоко проникає у ґрунт.

Спостерігаючи за вирощуванням огірків на присадибних або навчально-дослідних ділянках, учні помічають, що навіть на добре зволоженому ґрунті можливе в'янення або навіть відмирання листків огірків. Вчитель пояснює причину цього: рослини, які походять з зони вологого клімату, потребують підвищеної вологості не тільки ґрунту, а й повітря. Особливо чутливі до нестачі вологи у повітрі саме огірки. Їх коренева система слабко розвинена, корені знаходяться у поверхневих шарах ґрунту, отже, нестачу у ньому води рослина намагається компенсувати за рахунок вологи повітря. У зв'язку з цим агротехніка вирощування огірків повинна враховувати їх біологічні особливості.

Тема "Корінь" взаємопов'язана з темою "Ґрунти". Остання уже вивчалася у 5 класі у темах: "Земля як планета" та "Планета Земля як середовище життя організмів". Необхідні знання про склад, властивості, особливості будови різних типів ґрунтів були отримані на уроках: "Ґрунт, його значення", "Властивості ґрунту. Догляд за ґрунтом", "Утворення ґрунту", "Ґрунтове середовище життя. Пристосування організмів до життя у ґрунті".

1.3. Розвиток пізнавального інтересу на уроках біології під час вивчення теми "Корінь"

При проведенні уроків учням доцільно запропонувати розв’язання цікавих біологічних задач. При пізнавальній діяльності учні отримають теоретичні знання, що дозволять їм у подальшому застосовувати набуті знання при вивчені тем "Корінь" та "Умови вирощування рослин".

Особливу увагу слід приділити питанню поглинання води рослиною з ґрунту. При фронтальній бесіді з’ясовують наступне:

- Чому холодна вода погано поглинається коренями?
- Чому перед дозріванням плодів і насіння плодових не практикують додаткового поливу?

Навчальною програмою передбачено ознайомлення учнів з основними видами добрив, які потрібні для вирощування рослин. Вивчення цього питання базується на раніше отриманих знаннях про ґрунт як сприятливе середовище для росту і розвитку рослини, про процеси поглинання коренем води та мінеральних речовин. У підручнику дуже коротко зазначено види добрив та їх вплив на розвиток рослини. Доповнити вивчене варто у позаурочний час при проведенні дослідів з водними культурами. Це допоможе учням зрозуміти роль мінеральних речовин у житті рослин, особливості вирощування культурних рослин.

Наукою доведено і підтверджено на практиці, що рослина потребує Фосфору впродовж усього періоду росту, особливо на ранніх фазах. Внесені з запізненням фосфорні добрива рослина не зможе повністю використати. Для отримання багатого на поживні речовини насіння фосфорні добрива вносять у ґрунт до посіву й частково при ньому. Проростку для утворення нових клітин, тканин та органів необхідні багаті на енергію речовини. Фосфор входить до складу високоенергетичних сполук і необхідний для утворення нових клітин. Ось чому достатнє живлення Фосфором необхідне для розвитку рослини з моменту проростання.

Важливо забезпечити рослини і Нітрогеном – елементом, без якого неможливе утворення білків у клітині. Нітроген потрібний упродовж усього періоду вегетації, але у різних кількостях залежно від періоду росту. Нітрогенне голодування не допустиме для рослини: без нього не утворюються нові білкові молекули, гальмуються процеси метаболізму у тканинах, призупиняється розвиток органів, відповідно, зменшується врожай. Нітрогенні добрива слід вносити у невеликих кількостях у ґрунт до посіву, а потім проводити підживлення молодих рослин.

Для нормального розвитку рослин важливо забезпечити їх і Калієм. Цей елемент впливає на інтенсивність процесу фотосинтезу – утворення вуглеводів у клітинах. Калій регулює водний обмін, прискорює відтік з листків накопичених поживних речовин у інші органи, тому проводити калійне підживлення краще у період дозрівання насіння.

Три елементи – Нітроген, Фосфор, Калій – є найважливішими для живлення рослини. Але присутність інших мікроелементів у ґрунті також потрібна: кожен з них регулює проходження фізіологічних процесів, які відбуваються під час розвитку рослини. Наприклад: Магній і Ферум беруть

участь у синтезі хлорофілу; Кальцій зміцнює стінки клітин; Бор стимулює розвиток твірних тканин, насіння, плодів; Молібден підсилює життєдіяльність бульбочкових бактерій. Учні повинні вміти обґрунтувати вплив вищезазначених елементів на ріст рослин при вивченні біологічних процесів у наступних темах.

Вчитель біології повинен ознайомити учнів з методами рослинної діагностики. Для цього важливо використати знання, які отримали учні при проведенні польових (вегетаційних) дослідів, дослідів з водними культурами на навчально-дослідній ділянці.

У процесі позакласної роботи потрібно навчити учнів розпізнавати зовнішні ознаки мінерального голодування рослин. Формування навичок спостережливості й аналіз здобутих фактів, явищ, допоможе учням у подальшій практичній діяльності. Людині, яка вміє спостерігати й аналізувати, достатньо поглянути на рослину, на її забарвлення та форму листкових пластинок, щоб визначити, на що вона "скаржиться". Наприклад, при нестачі Нітрогену листя стає блідим, у кукурудзи відмирають тканини середньої жилки листка, а краї скручуються. Незвичне забарвлення у листя капусти при Нітрогенному голодуванні: нижні листки стають рожевими або рудими.

При нестачі Фосфору листки набувають темно-зеленого забарвлення з фіолетовими краями. Якщо вчасно не забезпечити рослину Фосфором, то краї листків стають бурими, а потім і зовсім відмирають. Ознаками нестачі Калію є в’янення листків, вони набувають бурого забарвлення, як при опіках. Нестача Ферму і Магнію призводить до зменшення кількості хлорофілу у листках, тому вони стають блідими. Недостатня кількість Бору затримує процес квітування, формування плодів і насіння, відбувається масове опадання зав’язі.

Для закріплення знань про мінеральне живлення рослин бажано підібрати творчі завдання, цікаві біологічні задачі для самостійної роботи учнів на уроці та вдома. Наприклад:

1. Для отримання 1 т пшениці потрібно 25–30 кг Нітрогену, 10–12 кг Фосфору та 10 кг Кальцію. Скільки добрив слід внести на 1 га, щоб зібрати врожай по 30 ц з гектара.

2. Врожай капусти при внесенні торфу у ґрунт збільшується на 1,7 т/га, при внесенні мінеральних добрив – на 5,3 т/га, а при одночасному їх внесенні – на 9 т/га. Чому ефективність мінеральних та органічних добив збільшується при їх одночасному застосуванні?

3. У пшениці добре розвинуті листя та стебло, але погано дозріває зерно. Яких добрив не вистачає?

4. У які періоди життя рослини потрібно проводити її підживлення?

5. Яку назву має хімічний елемент, який визначає зелений колір рослини і входить до складу хлорофілу?

6. Назва цього елемента означає "безжиттєвий", але без нього життя неможливе. Він входить до складу всіх молекул амінокислот, білків, вітамінів та інших життєво важливих сполук.

7. Один із трьох найголовніших для рослин хімічних елементів: бере участь у процесах фотосинтезу, активізує ферменти білкового синтезу.

8. Цей мікроелемент підвищує стійкість рослин до грибкових захворювань, за його відсутності у ґрунті бульбочкові бактерії не оселяються на коренях бобових, погіршується рух продихів, пригнічується ріст рослин.

9. Про яку хімічну сполуку сказано: "У тебе немає ані смаку, ані кольору ані запаху, тебе неможливо описати, тобою насолоджуються, не знаючи, що ти таке. Не можна сказати, що ти необхідна для життя: ти – саме життя. Ти найбільше багатство на світі…". *Антуан де Сент-Екзюпері.*

(Відповіді на біологічні задачі наведено в додатку 1.)

Узагальнити навчальний матеріал про мінеральне живлення рослин доцільно шляхом вирішення навчальної проблеми: "Мінеральні добрива потрібно вносити у певних дозах. Надлишок добрив може зашкодити рослині. Чому?" У процесі пошукової бесіди, яку організує вчитель, школярі аналізують властивість розчинів проникати крізь мембрану рослинної клітини. Вони усвідомлюють сутність проблеми і роблять висновок про необхідність внесення мінеральних добрив у певних кількостях, враховуючи і концентрацію мінеральних солей у клітинах рослин та у ґрунті. Від цих факторів залежить напрямок руху води по рослині, а разом з нею і рух мінеральних елементів. Так, вода рухається у напрямку більш концентрованого розчину. Надлишок мінеральних солей у ґрунті може призвести до виходу води із клітин кореня у ґрунт, тобто до втрати води рослиною. При цьому спостерігається передчасне зневоднення клітин (плазмоліз), що призводить до в’янення та передчасної загибелі рослини.

Після виконання учнями лабораторних досліджень на уроці можна провести вікторину "Кореневе живлення".

- Чи завжди для утворення кореня потрібен ґрунт?
- Чому корінь завжди росте вниз?
- Що таке кореневі волоски, яка їх функція?
- Чи можливо вилучити з ґрунту усю кореневу систему рослини?
- Які агрохімічні заходи підсилюють утворення коренів у рослин?
- Яка сила забезпечує надходження води у корінь?
- За допомогою якого досліду можна довести наявність кореневого тиску в рослині?
- Що таке пікірування? З якою метою його здійснюють?
- Перерахуйте основні хімічні елементи, які поглинає рослина з ґрунту. Які з них є мікроелементами?
- Що таке родючість ґрунту? Чи можливо її збільшити?
- З якою метою вносять добрива у ґрунт?

- Перерахуйте основні види добрив. Які з них вносять у ґрунт навесні, які – восени?
- Назвіть елемент, який у перекладі з грецької означає "безжиттєвий", хоча є основою життя рослини?
- Чому селітру називають "сіллю родючості"?
- Які рослини називають "зеленими добривами" або сидератами?

При вивчені кореневої системи вчитель приділяє увагу процесу дихання коренів. Якщо не створювати умови для дихання кореневої системи, то рослина не тільки погано розвивається, але й може загинути. Так, на важких ґрунтах, які містять багато органічних речовин, концентрація кисню різко знижується, а вміст вуглекислого газу збільшується. Тому слід проводити розпушування ґрунту, особливо після дощів, для кращого забезпечення коренів киснем, нормалізування процесів обміну і підсилення росту коренів.

Повітряний режим залежить також і від товщини плівки води на коренях, яка затримує швидкість надходження кисню до тканин рослини та викликає кисневе голодування. При розпушуванні ґрунтів руйнуються капіляри, що перешкоджає випаровуванню вологи із глибших шарів. Тому розпушування ґрунту іноді називають "сухим зволоженням".

Для зміцнення зв’язку навчання з життям на уроках біології з теми "Рослини", доцільно використовувати пізнавальні завдання, які забезпечать практичну спрямованість навчального матеріалу, будуть розвивати зацікавленість в учнів, бажання знайти правильну відповідь і дозволять використати здобуті знання під час роботи на власних присадибних та навчально-дослідних ділянках.

Наведемо приклад можливих пізнавальних задач практичного спрямування для учнів 6 класу.

1. Вчитель зауважив учню, що він погано вивчив тему "Корінь". Учень відповів: "Знання про кореневу систему необов’язкові, вони не мають практичного значення". Чи має рацію учень? Чому?

2. Чи однакові розміри кореневої системи і крони дерева? Чому?

3. Чому корені саксаулу утворюють дві зони галуження – верхню та нижню (глибинну)?

4. Яка частина кореня забезпечує його ріст у глибину? Чому?

5. У шкільному підручнику зазначено, що кореневі волоски живуть недовго, всього кілька днів. Яка максимальна тривалість життя кореневих волосків?

6. Корені рослин дуже міцні. Щоб розірвати корені чотиримісячних сіянців кукурудзи, потрібно прикласти силу до 130 кг. Чим обумовлюється така міцність коренів?

7. Як пояснити такий факт, що у вільхових лісах ростуть нітрофільні (нітрогенолюбні) рослини (кропива, малина, таволга)?

8. Господиня вирощувала кімнатні рослини у глиняних горщиках на підвіконні. Щоб горщики були красивішими, вона їх пофарбувала олійною фарбою. Чи вплине це на ріст рослини?

9. Коренева маса невеликого дерева становить 5 кг. Один кілограм кореневої маси поглинає за добу 1 г кисню. Яку масу кисню поглинають корені дерева за місяць, рік? Як можливо збільшити вміст повітря у ґрунті?

10. При висаджуванні розсади капусти на ділянку в одних рослинах прищипнули головний корінь, а в інших ні. Які рослини матимуть більший врожай?

11. Один учень провів пікірування розсади томатів у маленькі горщики, а потім пересадив у великі. Другий учень пікірував розсаду одразу у великий горщик. Який учень виконав завдання правильно і чому?

12. Юні дослідники провели пікірування розсади в горщики зі шкаралупи яєць курки. Коли розсада виросла, її висадили у відкритий ґрунт, трохи розім'явши шкаралупу. Чи впливає шкаралупа на ріст та розвиток рослини? Чому?

13. Чому потрібно підгортати кукурудзу, помідори?

14. Чим обумовлена здатність рослин рости на засолених ґрунтах?

15. Чи можливо виростити рослину без ґрунту?

16. Що таке гній і яке його значення?

17. Чому недоцільно складувати гній на полях у дрібні купи?

18. Народна мудрість твердить: "Земля сім років пам'ятає гній". Чи так це?

19. Чи можна зрозуміти, постукуючи по стінці горщика, чи потребує рослина вологи?

(Відповіді на пізнавальні задачі наведено в додатку 2.)

У 6 класі набуті знання про значення ґрунтів для життєдіяльності рослин розширюються та поглиблюються, що дає можливість обґрунтувати доцільність різних підходів до обробки ґрунтів, їх зрошення та внесення добрив.

Пізнавальні задачі для учнів 5 класу

1. Ґрунт – пориста структура. Він утворений дрібними та великими порами. Яке значення мають пори в ґрунті? Чи збільшується кількість пор під час обробки ґрунту?

2. Як візуально можна визначити механічний склад ґрунту?

3. Як впливають корені на ґрунти? Для чого потрібно розпушувати ґрунт після дощу?

4. Які ґрунти є "теплими" та "холодними": піщаний чи глинистий? Чому?

5. Мульчування ґрунту – важливий агротехнічний засіб. Чому в північних районах використовують темну, а в південних світлу мульчу?

6. Як візуально можна розпізнати кислі ґрунти?

7. Чи однаковий вік ґрунтів чорноземної і тундрових зон?

(Відповіді на пізнавальні задачі наведено в додатку 3.)

Процес учіння є своєрідним процесом самостійного "відкриття" учнями уже відомих науці знань. Однак обмеження навчального процесу участю дітей тільки в частковому розв’язанні творчих задач не веде до формування умінь досліджувати й розв’язувати цілісні проблеми, якими б простими вони не були. Активізація навчальної діяльності учнів на уроках великою мірою залежить від запровадження різних видів самостійної роботи, які сприяють розвитку розумових здібностей учнів, спостережливості, допитливості, творчої ініціативи, наполегливості.

РОЗДІЛ 2
ПРАКТИЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ УЧНІВ ПРИ ВИВЧЕНІ ТЕМИ "КОРІНЬ" У 6 КЛАСІ

2.1. Лабораторні дослідження

Учитель біології має багато можливостей для того, щоб пов’язати теорію з практикою на уроках біології. Тому у навчанні біології провідну роль відіграє пізнавальна діяльність, спрямована на оволодіння методами наукового пізнання, яка реалізується у програмі через лабораторні дослідження, практичні та лабораторні роботи, дослідницький практикум, навчальні проекти. Зв’язок теорії з практикою найкраще здійснюється на лабораторних дослідженнях, які забезпечують процесуальну складову навчання біології. Метою такої діяльності є розвиток в учнів уміння спостерігати, описувати, виділяти особливості біологічних об’єктів, виконувати рисунки біологічних об’єктів, робити висновки, розв’язувати пізнавальні завдання і використовувати результати у практичній діяльності.

Важливо організувати лабораторні заняття таким чином, щоб учні виконували роль дослідників. Це сприятиме активнішому сприйманню навчального матеріалу, виробленню в учнів практичних умінь і навичок, буде привчати до певної послідовності у роботі. Лабораторні дослідження теми "Рослини" передбачають вивчення будови та функціонування вегетативних органів квіткових рослин з використанням натуральних об’єктів, гербарних зразків, колекцій, моделей, муляжів, зображень, відеоматеріалів. На лабораторних роботах учитель використовує натуральні зразки рослин, організовує спостереження, виконання практичних завдань, уміло скеровує увагу учнів під час роботи з природними об’єктами, практикує складання схем, діаграм. Використання на уроках природних наочних посібників сприяє нагромадженню в учнів наукових уявлень, необхідних для формування понять, що розкривають закономірності життя й розвитку рослинних організмів, що допомагає здійснювати зв’язок навчання з життям, з практикою сільськогосподарського виробництва.

Раціонально побудовані лабораторні дослідження розвивають самостійне мислення учнів, збуджують їх творчу активність, розвивають у них інтерес до предмета і бажання добре вчитися. Поряд з формуванням біологічних знань та практичних засобів дії відбувається розвиток в учнів їх розумової сфери, набуття умінь інтелектуального характеру (планувати, аналізувати завдання, контролювати їх виконання).

У зв’язку з посиленням уваги до індивідуального розвитку і самовдосконалення особистості вирішальне значення надається вмінню одержувати інформацію з різних джерел, опрацьовувати її та застосовувати. Це зумов-

лює зменшення питомої ваги готової інформації, зміну співвідношення між структурними елементами змісту на користь засвоєння учнями способів пізнання, набуття особистого досвіду творчої діяльності, зростання ролі світоглядного компонента змісту.

2.2. Експериментальні дослідження

На уроках біології учитель має переконати учнів у необхідності оволодіння експериментом як видом діяльності, без якого неможливо вивчати живу природу і розвивати творчі здібності. Дослід дає можливість усвідомити причини, розвиток та перебіг певного процесу, який неможливо спостерігати безпосередньо і механізм якого може залишатись недоступним розумінню учнів.

Навчальний експеримент порівняно з іншими методами навчання є значно складнішим, і його застосування потребує попередньої підготовки учнів. Вчені рекомендують пропонувати учням самостійно виконувати досліди якомога раніше, починаючи з 5 класу на уроках природознавства. У курсі природознавства учні повинні оволодіти умінням виконувати деякі предметні дії за зразком і спостерігати за живою природою.

У темі "Рослини" (6 клас) програмою передбачено демонстрування дослідів та їх результатів, що підтверджують транспорт речовин по рослині, поглинання коренем води, вплив мінеральних речовин на розвиток рослин. Методику проведення дослідів обирає сам учитель.

При вивченні кореня як вегетативного органа рослини учні повинні засвоїти поняття морфології, анатомії, росту, розвитку та його життєвих функцій. Потрібно переконати учнів, що корінь не тільки утримує рослину в ґрунті, але є органом, який поглинає з ґрунту необхідні речовини для життя рослини. Відповідно, слід підібрати таку тематику дослідження, яка дозволить учням не тільки дослідити будову кореня, але й зрозуміти, що:

- корінь – орган рослини, який розвивається;
- корінь поглинає воду та мінеральні речовини, які потрібні для життя рослини;
- слід вносити добрива у ґрунт;
- переміщення води і мінеральних речовин від клітин кореня до стебла відбувається за певним механізмом.

Вивчаючи біологічні особливості кореневої системи, важливо ознайомити учнів з основними агротехнічними заходами: обробіток ґрунту, його розпушування, внесення добрив, забезпечення рослини водою. Практичні навички учні можуть здобути під час роботи на навчально-дослідних ділянках, у теплиці. Зв’язок теорії та практики розширить політехнічний світогляд учнів. Тому на допомогу вчителю ми пропонуємо тематику *цікавих дослідів з методичними рекомендаціями до їх проведення*.

1. Ріст кореня під мікроскопом

Взяти два прозорі скла і розмістити між ними гумову трубку, скельця з'єднати між собою. Порожнину, що утворила трубка, заповнити вологим ґрунтом або стружкою. У ґрунт висадити проросток квасолі, кукурудзи або гороху. Скельця закріпити у штативі перед об'єктивом мікроскопа і спрямувати на них світло (рис. 4.1).

На малому збільшенні фокус мікроскопа навести на кінчик кореня так, щоб верхівка кореня співпала з центром поля зору мікроскопа.

Учні проводять спостереження, отримані дані занотовують і замальовують ріст кореня.

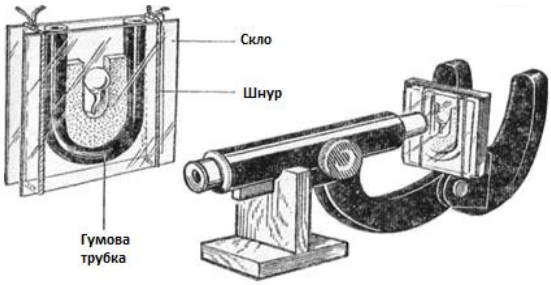


Рис. 4.1. ***Спостереження за ростом кореня під мікроскопом***

2. Вростання кореня у ґрунт

Насипати ґрунт у горщик, дуже сильно його спресувати дощечкою і полити. У ґрунті закріпити пробку заввишки 1–2 см. На пробці шпилькою закріпити декілька пророщених насінин квасолі, спрямувавши корені донизу. Пробку з проростком накрити склянкою, і кожного дня насіння зволожувати водою. Через декілька днів корінь почне вростати в ґрунт, долаючи його щільність.

3. Ріст коренів у ґрунті

Горщики для квітів заповнюють вологим піском і розкладають на його поверхні декілька насінин соняшника, пшениці, гороху, квасолі, які були замочені впродовж доби. Насіння прикривають марлею або фільтрувальним папером. Учні спостерігають за процесом проростання і фіксують, що корені, які з'являються, починають вигинатися і заглиблюватися у ґрунт (рис. 4.2).

Для другої групи учнів дослід можна ускладнити. Взяти високу металеву банку з-під консервів, видалити дно і затягнути його марлею. Банку перевернути марлею донизу, помістити на неї 8–10 набухлих насінин квасолі, гороху, кукурудзи та засипати їх зверху шаром ґрунту у 2–3 см. Банку розмістити над тарілкою з водою. Коли корінці з'являться, потрібно поставити металеву банку під кутом над водою, щоб марля постійно зволожувалася (рис. 4.2). Учні спостерігають, як поступово кінчики корінців

вигинаються у бік марлі. Через 2–3 дні всі корені будуть рости, притискаючись до марлі.

Учні зроблять висновок, що кінчик кореня чутливий до вологи, тому спрямовує свій ріст в бік зволоженої марлі.

4. Розвиток кореневої системи у ґрунті

Для проведення досліду потрібно виготовити ящик заввишки 30 см, завдовжки 20 см, завширшки 10 см. Один широкий бік вкрити склом. Ящик наповнити ґрунтом, висадити проростки і поставити під кутом у бік скла, задню дерев'яну стінку розвернути до світла. Скло прикрити картоном від світла (рис. 4.3). Під час спостереження розвитку кореневої системи, яка при нахилі ящика росте вздовж скла, картон приймають.

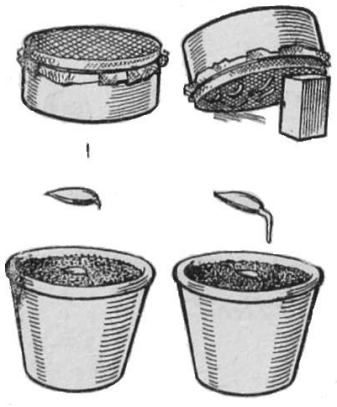


Рис. 4.2. ***Спостереження за ростом кореня у ґрунті***

У другому варіанті досліду ящик ділять вздовж на дві частини перегородкою, засипають обидві половини ґрунтом або піском, але добрива вносять в одну частину. Висаджують проростки. Через скло спостерігають розвиток кореневої системи при достатній кількості добрив і без них.

5. Рух зафарбованої рідини по стеблу

Учні зафарбовують воду розчином єозину (або синькою) до інтенсивно-червоного кольору. Зафарбовану речовину наливають у пробірку або невелику колбу. Від добре сформованої рослини бальзаміну відрізають пагін завдовжки 15–20 см, занурюють його у рідину і закріплюють ватним корком. Колбу розміщують у тепле і світле місце для прискорення процесу транспірації. Уже за 10–15 хв можна побачити, як по стеблу піднімається вгору забарвлена рідина, потім надходить у бічні пагони, черешки та жилки листкової пластинки.

Рис. 4.3. ***Ящик для спостереження за ростом кореневої системи***

Учитель наголошує, що рідина рухається по особливих транспортних шляхах – судинах, які добре видно у бальзаміну. За 25–30 хв рідина надходить до судин листкової пластинки.

Учні роблять висновок, що рух рідини відбувається знизу догори, від коренів до листка. Це явище характерне для усіх рослин у природі, але рухається не зафарбована рідина, а вода з розчиненими мінеральними речовинами.

6. Як поглинають кисень корені водних рослин

Влітку (на початку осені) зірвіть листок стрілолиста, який росте у річках та озерах. Намагайтеся зберегти увесь черешок. Гострим ножем зріжте листкову пластинку та обріжте

нижню частину черешка. Один кінець черешка занурте у воду, а через другий сильно подуйте. Ви побачите, як з черешка будуть виходити у воду багато бульбашок повітря.

Цей дослід доводить, що у черешку листка наявні ходи, крізь які повітря від кореня рухається до листка.

7. Поглинання рослиною вологи з повітря

Восени необхідно посадити зірочник середній (мокрець) у горщик для квітів. Можна висіяти насіння, воно не має періоду спокою і проростає одразу після висівання.

Учні спостерігають, що зірочник вбирає вологу із повітря за допомогою волосків на міжвузлях стебла. Якщо створити штучний дощ, то стебла вкриваються ніби скляним футляром з води.

Учні спостерігають цікаві біологічні властивості рослини: стікання води від одного листка на інший, реакцію віночка на погоду (якщо він вранці відкритий, то буде ясна погода, якщо закритий – буде дощ).

8. Вплив температури води на ріст і розвиток рослин.

Для досліду підбирають рослини одного і того ж виду (традесканція, нефролепіс, хлорофітум). Ґрунтові суміші також однакові. Воду для поливання заздалегідь відстоюють і доводять до потрібного температурного режиму згідно зі схемою досліду:

1 варіант – рослини поливають водою, температура якої 10–13 °С.

2 варіант – рослини поливають водою, температура якої 20–25 °С.

3 варіант – рослини поливають водою, температура якої 30–35°С.

Шкільний експеримент забезпечує єдність пізнавальної та практичної діяльності учнів, стимулює абстрактне мислення школярів, через експеримент учні вивчають суттєві ознаки, поняття, набувають знання про процеси життєдіяльності, переконуються у природному характері біологічних явищ і їх матеріальній зумовленості. Постановка дослідів, проведення власних спостережень збуджують думку учнів, примушують їх мислити й самостійно робити відповідні висновки.

Якщо експеримент демонструє учитель – це прояв інформаційного методу, якщо його відтворює учень – репродуктивний, самостійне планування та проведення є результатом пошуку – дослідницький метод.

Розвитку розумових здібностей сприяють досліди, що передбачають проблемно-пошукову діяльність при вивченні функцій органу, а потім його структуру. Дослідницький метод є способом організації творчої діяльності учнів, що зумовлюється проблемними завданнями. Але відмінність діяльності дітей, організованої цим методом, полягає у самостійному розв'язанні цілісної проблеми; це означає, що учні виконують усі етапи процесу розв'язання проблеми, починаючи з усвідомлення пізнавального протиріччя. Навчальні проблемні завдання у структурі дослідницького методу слід називати навчально-дослідними, щоб підкреслити їх особливості й специфіку виконання. Навчально-дослідні завдання кожний учень виконує

самостійно, хоча за змістом вони можуть бути однаковими для групи чи всього класу.

Бажано, щоб учень самостійно закладав досліди та проводив спостереження, тоді деякі питання стають більш зрозумілими, але така діяльність потребує багато часу, тому планується у позаурочний час.

Уміння самостійно виконувати експеримент і на його основі одержувати нові знання – одне з пізнавальних умінь, формування яких передбачено чинною програмою з біології під час дослідницького практикуму.

РОЗДІЛ 3
ПОЗАУРОЧНА РОБОТА З УЧНЯМИ ПРИ ВИВЧЕННІ ТЕМИ "КОРІНЬ"

3.1. Дослідницька робота у кабінеті біології

Позаурочні роботи можуть проводиться з учнями у кабінеті біології, у куточку живої природи, на навчально-дослідних ділянках. Ця робота планується після уроків і є обов'язковою. Протягом року кожен учень повинен виконати 1–2 роботи, за їх виконання вчитель виставляє оцінку. За тематикою ці види робіт можуть бути близькими з домашніми експериментальними роботами, але найчастіше вони більш різноманітні та потребують певного обладнання, керівництва та контролю з боку вчителя і пропонуються з урахуванням можливостей кожного учня. Найчастіше роботи виконуються заздалегідь, щоб отримати конкретні результати до вивчення навчального матеріалу на уроці, або на закріплення знань учнів, здобутих на уроці.

Формування в учнів умінь самостійно виконувати досліди потребує певного часу та зусиль учителя й учнів. Насамперед учитель має ознайомити учнів із загальною структурою навчального експерименту, скласти простий план алгоритмічного характеру та користуватись ним при підготовці і виконанні експерименту.

На першому етапі учнівського дослідження створюється проблемна ситуація, аналіз якої дозволяє учням усвідомити зміст протиріччя, самостійно сформулювати або сприйняти ту проблему, яку пропонує учитель.

На другому етапі – висловлення передбачення учнями. Іноді вчитель може використовувати непряму підказку під час вирішення проблеми, коли в конкретній ситуації повністю вичерпані індивідуальні можливості дитини.

Доведення правильності передбачення – одна з важливих ланок вирішення проблеми. Учні виконують систему послідовних дій, спрямованих на відбір і групування фактів, встановлення певних зв'язків, здійснення узагальнень і формулювання попередніх висновків. Підсумком такої роботи є підтвердження передбачення, певною мірою його уточнення й розширення, або заперечення, тобто доведення його помилковості.

На останньому етапі учні роблять загальний висновок і порівнюють його з визначеними цілями.

Дослідницький практикум передбачає самостійну (або з допомогою дорослих) роботу учнів у позаурочний час, яка може проводитись удома. Його мета – вироблення особистого досвіду дослідницької діяльності у процесі розв'язування пізнавальних завдань, самостійне визначення мети

досліду, виявлення умов, які потрібні для його здійснення, проектування етапів дослідження, підбір необхідних приладів і матеріалів, одержання результатів спостереження, аналіз їх і формування висновків.

Тематика досліджень, передбачена навчальною програмою з даної теми: ріст та розвиток рослини, яка вирощена з насінини; дослідження процесу росту вегетативних органів; рух води з мінеральними речовинами по стеблу; транспорт речовин по рослині; вивчення явища гутації.

Перед проведенням серії дослідів потрібно поставити перед учнями проблему, яку вони зможуть вирішити після власного дослідження.

Проблема № 1. Якщо вирощувати рослину на поживних розчинах, то можна помітити, що кількість кореневих волосків зменшилась або вони взагалі зникають. Чому це відбувається?

Проблема № 2. За допомогою якого досліду можна довести наявність кореневого тиску в рослині? Який тиск у трав'янистих та деревних рослин?

Проблема № 3. Ми проводили дослід, який доводив існування кореневого тиску в рослині. Але якщо поставити зрізані квіти у воду, то рівень води в посудині відчутно зменшиться, хоч у рослини корені відсутні. Чому?

3.2. Перелік дослідів для проведення дослідницького практикуму

1. Вплив різних умов на розвиток кореневої системи

Проростити декілька насінин гороху або квасолі між шарами фільтрувального паперу. Коли утворяться корінці 1–1,5 см, вибрати насіння з прямими корінцями і посадити у горщики для квітів.

Перший горщик наполовину заповнити глиною, зверху насипати піску. Другий горщик наполовину заповнити піском, зверху насипати глину. У кожен з горщиків висадити проросле насіння. Третій горщик розділити на дві частини вертикальною перегородкою з картону. Одну половину засипати піском, а другу глиною. Руками щільно притиснути субстрат і обережно витягнути картонну перегородку. Пророщене насіння висадити на межі між піском та глиною.

Горщики поставити на світло у тепле місце, добре поливати. Постійно проводити спостереження. Через 20 днів рослини викопати і порівняти, яка частина кореня виросла у піску, а яка на глині. Рослини можна гербаризувати.

Вчитель може запропонувати учням замалювати на гербарному аркуші горщики (у розрізі), зафарбувати різними кольорами пісок та глину, а потім закріпити рослини так, як вони росли у горщиках.

2. Ріст і розвиток кореня в штучних умовах

А. Дослід з однодольними рослинами. Для проведення досліду потрібно згорнути фільтрувальний папір у трубочку і занурити у пробірку або склянку так, щоб при розгортанні папір притиснувся до стінок посудини. Між стінками пробірки й фільтрувального паперу розмістити насінини

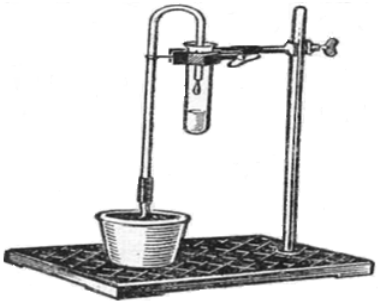
злакових рослин (пшениці, вівса, ячменю). У пробірку налити невелику кількість води, зануривши лише нижню частину паперу.

Учні спостерігають проростання насінини, утворення кореня, розвиток кореневих волосків. Спостереження фіксують.

Б. *Дослід з дводольними рослинами.* Банку заповнити водою по вінця, обв'язати марлею та закріпити її міцною ниткою.

Зробити невеличкі отвори у марлі та розмістити пророщені насінини дводольних рослин (гороху, квасолі, редису). Спостерігаючи, учні фіксують відмінності у формуванні кореневої системи досліджуваних рослин. Спочатку розвивається головний корінь, який потім припиняє свій ріст, не утворюючи бічних коренів. Замість головного формується система додаткових коренів, поблизу кінчика кореня у всіх коренів формуються кореневі волоски.

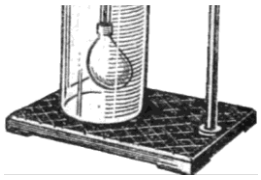
3. Всмоктування води коренями з ґрунту



Для досліду беруть фуксію або пеларгонію, обрізають гострим ножем пагін. На частину стебла, що залишилась, надягають гумову трубку, до верхнього кінця якої приєднують скляну трубку завдовжки 10–15 см. (рис. 4.4). Учні спостерігають, як по трубці піднімається вода завдяки кореневу тиску.

Щоб усвідомити, яким чином вода потрапляє у кореневі волоски, дослід варто продовжити наступним чином. Вирізати целофан 20х20 см, скласти його кінці та закріпити навколо скляної трубки, зав'язати ниткою. Через трубку налити у мішечок концентрований розчин цукру. Мішечок занурити у воду. Пристрій закріпити на штативі (рис. 4.5). Через деякий час вода у трубці почне підніматися.

Рис. 4.4. ***Визначення кореневого тиску системи***



Учитель допомагає учням зробити висновок про існування на коренях рослин дрібних виростів – кореневих волосків, стінки яких мають подібні властивості до стінки мішечка з целофану. Усередині кореневого волоска міститься клітинний сік з різними розчиненими речовинам. За рахунок різниці концентрації, вода надходить до кореневого волоска й транспортується далі по стеблу.

4. Пересування води від кореня до листків

Помістити в банку, наповнену підфарбованою водою (до води додати синьку), гілочку традесканції, пеларгонії або фуксії. Через декілька днів учні спостерігають, що жилки листочків зафарбовані

Рис. 4.5. ***Проникнення води крізь целофановий мішечок***

в синій колір. Далі виймають гілочку з води, перерізають і спостерігають, що шар деревини забарвлений.

Учні роблять висновок, що вода рухається по судинах деревини рослини.

5. Випаровування води листками

У кабінеті біології (або вдома) на підвіконні розміщують горщик герані чи примули. Рослини поливають теплою водою, потім обережно, щоб не зашкодити рослині, надягають на листок колбу. Колбу кладуть на підставку або закріплюють у штативі.

Через деякий час учні спостерігають, що стінки колби "запітнівають". Поступово крапельки води стікають на нижню стінку колби. Учні роблять висновок, що через листки рослина випаровує воду, яка надходить від кореня.

Щоб визначити кількість води, що випаровується, дослід продовжують. Пагін герані занурюють у посудину з водою, помічають рівень води. Поверх води наливають шар олії, щоб вода не випаровувалась, і ставлять посудину на терези. Гирями урівноважують чашки терезів. Через дві доби відмічають зменшення рівня води у посудині, відповідно чаша, на якій розміщувалася рослина, стане легшою та підніметься догори.

Дослід підводить учнів до висновку, що кількість води у посудині зменшилася за рахунок випаровування її листковою поверхнею рослини.

6. Забезпечення коренів повітрям

Щоб переконатися, що корені водних рослин отримують атмосферне повітря через листок, виконайте такий дослід.

Підготуйте прозору пляшку з широким отвором, підберіть до неї корок з двома отворами. Відріжте листок стрілолиста з черешком завдовжки 10–15 см. Налийте півпляшки води, щільно закрийте її корком. Щоб прилад не пропускав повітря, змастіть його воском. У одному отворі закріпіть черешок листка таким чином, щоб його кінчик торкався дна пляшки. У другий отвір вставте скляну трубку. Через трубку відсмокчіть частину повітря, і ви побачите, як з черешка почнуть виходити пухирці повітря. Про що це свідчить?

7. Позакореневе живлення рослини

Відомо, що воду і мінеральні речовини поглинають корені рослини, а листки засвоюють на світлі вуглекислий газ. Але рослини іноді поглинають мінеральні речовини і воду через листкову пластинку.

Вчитель розповідає, що пари повітря, крім води, містять невелику кількість мінеральних речовин. Разом з водою ці речовини можуть засвоюватися листками – відбувається позакореневе живлення рослини.

Позакореневе підживлення потрібне рослині, особливо мікроелементами – Манганом, Бором, Цинком.

На доведення цього факту учні проводять дослід. Чотири ящики для розсади заповнюють ґрунтом і висівають насіння моркви або буряку (можна використати кімнатні рослини – фуксію, бальзамін, нефролепіс), по два ящика на кожну культуру. Для підживлення використовують борну кислоту, до складу якої входить бор, сірчанокислий цинк (можна використовувати марганцевокислий калій). Готують розчин по 0,5 г на 1 л води.

За допомогою пульверизатора проводять перше підживлення, коли рослина має 4–5 листків. Краще проводити його вранці або ввечері в одному ящику кожної культури, другий ящик буде контролем.

Друге підживлення проводять через два-три тижні. Третє – через місяць-півтора після першого. Учні спостерігають за розвитком рослини, порівнюючи результати досліду з контролем, і роблять висновок про значення позакореневого підживлення для рослини.

8. Вплив стимуляторів росту на укорінення живців кімнатних рослин (камелія, аукуба, кімнатний виноград)

Живці кімнатних рослин готують безпосередньо перед самою обробкою стимулятором. Нарізані живці зв'язують шпагатом по 10–20 штук і занурюють нижніми кінцями у розчин стимулятора на 2–4 см. Живці тримають у розчині продовж 12 год за температури 18–20 °С. Оброблені живці висаджують у ящики з піском і накривають склом. У ящик № 1 висаджують живці, не оброблені стимулятором росту, а у ящик № 2 – живці, оброблені гетероауксином (100–150 мг на 1 літр води).

Учні спостерігають за формуванням коренів у рослин, занотовують і роблять висновок про вплив стимуляторів росту рослин на розвиток кореневої системи.

Поряд з уроками значне місце у зміцненні зв'язку навчання з життям належить екскурсіям. При проведенні біологічних екскурсій розширюється кругозір учнів, вони вчаться спостерігати, порівнювати, набувають навичок самостійної роботи, орієнтування у природі. На екскурсіях учитель може розкрити перед учнями наукові принципи рослинництва, глибше пов'язати теорію з практикою, ознайомити їх із сучасною сільськогосподарською технологією вирощування, проілюструвати застосування біологічних закономірностей у практичній діяльності людини, а разом з тим підтвердити конкретними фактами біологічні закони.

Успішне поєднання навчання з практикою сільськогосподарського виробництва залежить від змісту і методики екскурсій.

Зміст екскурсій має підпорядковуватися вивченню програмного матеріалу. На екскурсії вчитель ознайомлює учнів з сучасними підходами до сільськогосподарського виробництва, агротехнічними заходами, характеризує різні методики вирощування для отримання найкращих результатів у рослинництві. Такий підхід надає можливість конкретизувати навчальний матеріал, зробити його цікавим, близьким і доступним для розуміння учнів,

сприяє емоційному сприйняттю інформації, виховує в учнів любов до знань.

3.3. Дослідницька робота на навчально-дослідній земельній ділянці

Щоб наблизити навчання до життя, пов'язати його з практикою сільськогосподарського виробництва, зацікавити учнів дослідницькою роботою, слід залучати учнів до роботи на навчально-дослідних ділянках, які є біологічними лабораторіями під відкритим небом (положення про учнівські навчально-дослідні земельні ділянки у додатку 4). Кожна навчально-дослідна ділянка повинна мати паспорт встановленої форми (додаток 5).

Шкільну ділянку варто розглядати як першу ланку трудового виховання для проведення практичних робіт, досліджень, спостережень. Робота на ділянці має навчально-виховне значення тільки за умови ретельно продуманої організації роботи. Умови роботи повинні відповідати віковим, фізичним особливостям учнів, а завдання повинні бути для них цікавими, розвивати допитливість, поглиблювати і зміцнювати знання, виховувати високі моральні якості.

Вирішальну роль у цьому відіграє старанна підготовка до практичних занять самого вчителя й учнів, правильна організація учнівського колективу, забезпечення належного контролю і керівництва роботою, застосування ефективних методів роботи. У практиці шкіл застосовують операційну та предметну системи роботи на ділянках. У зв'язку з вивченням того чи іншого питання вчитель визначає практичні завдання для роботи на шкільній ділянці, виділяє учнів, які виконуватимуть їх, намічає план роботи. Перед проведенням роботи кожен учень проходить інструктаж і ознайомлюється з методикою роботи (додаток 6).

Найефективнішою формою організації дослідницької роботи є ланки. За ланкою учнів (3–5 осіб) одного класу закріплюють один дослід. Така організація роботи сприяє розвиткові в учнів відповідальності за доручену справу, виховує почуття колективізму, розкриває індивідуальні здібності учнів.

Кожну ланку потрібно ознайомити зі змістом спостережень, методикою досліду, обліком і правилами заповнення польового журналу дослідницької роботи (додаток 7).

Спочатку колективно розробляють робочий план одного з дослідів приблизно такого змісту:

"Тема досліду.

Мета і завдання досліду.

Схема досліду.

Місце проведення досліду.

Методика проведення досліду (план агротехнічних заходів, зміст спостережень і досліджень).

Необхідне обладнання і матеріали.

Список потрібної літератури".

Потім члени кожної ланки складають робочий план закріпленого за ними досліду. Учитель перевіряє плани, уточнює його з членами ланки. Перед закладанням досліду учні повинні ознайомитися з біологічними особливостями піддослідної культури, агротехнікою її вирощування.

Досліди потрібно закладати не менше як у 2–3 етапи через певні проміжки часу на високому агротехнічному рівні. Протягом вегетаційного періоду учні проводять фенологічні спостереження за рослинами, фіксуючи їх у щоденнику, гербаризують рослини за фазами розвитку.

Наслідки дослідів оформляють у вигляді наочних посібників: стендів, натуральних зразків, колекцій тощо, які зберігають у біологічному кабінеті і використовують на уроках біології для унаочнення відповідних розділів і тем програми.

Основний принцип дослідницької роботи полягає у тому, що для всіх варіантів досліду мають бути однакові фактори, крім того, який вивчається. Наприклад, якщо вивчається вплив норм внесення добрив на врожайність певної сільськогосподарської культури, то решта факторів: обробіток ґрунту, якість насіння, строки висівання, догляд за посівами, збирання врожаю і на контрольних і на дослідних варіантах – повинні бути однакові. Лише за цієї умови різницю в урожаї можна пояснити впливом різних норм внесення добрив.

Щоб досягти у дослідницькій роботі пізнавального, виховного ефектів, точності і достовірності результатів, слід проводити її на правильній методичній і науковій основі. Для поглиблення знань учнів та формування їх практичних вмінь та навичок важливо планувати самостійну дослідницьку роботу в літній час, яка передбачає проведення довготривалих спостережень на навчально-дослідній ділянці (за її відсутності завдання можна виконувати на дачній ділянці).

Дослідницька діяльність учнів з теми "Корінь" повинна бути пов’язана з програмовим навчальним матеріалом, сприяти закріпленню теоретичних знань учнів і розкрити такі питання: з’ясування найоптимальніших норм, термінів і способів висівання сільськогосподарських культур; ефективність застосування різних добрив, їх норм, термінів і способів внесення; впливу різних агрозаходів на ріст і розвиток рослин та на підвищення їх урожайності.

3.4. Перелік дослідів на навчально-дослідній ділянці

3.4.1. Відділ польових і овочевих культур

Дослід 1. Вплив поливу на врожай капусти

Мета: сформувати уявлення про рух води і мінеральних речовин у рослині; ознайомити з особливостями вирощування капусти; дослідити вплив поливу на врожай капусти.

Методика проведення

Восени підготуйте дві ділянки розміром 1,5х2 м або 2х2 м, добре удобріть гноєм з розрахунку 5 кг на 1 м^2. Перекопайте поле на глибину орного шару. Наприкінці квітня заборонуйте ділянки. У травні ще раз їх перекопайте та заборонуйте.

Вирощену у парниках розсаду пізніх сортів білокачанної капусти посадіть у заздалегідь розмічені маркером лунки на відстані 70х70 см чи 60х60 см одна від одної на глибину до першого листочка. Через 5 днів замість рослин, що загинули, підсадіть якісну розсаду.

Доглядайте за контрольною і дослідною ділянками. На 3–5-й день після садіння розпушіть ґрунт, знищіть бур'яни. При утворенні кірки розпушуйте ґрунт. Внесіть мінеральні добрива у міжряддя на глибину 6–8 см на відстані 15–20 см від стебла рослин. Концентрація мінеральних добрив: на 1 відро води – 80 г суперфосфату, 50 г амоній сульфату, 30 г калійної солі. У кінці червня – на початку липня зробіть друге підживлення рослини: на 1 відро води – 70 г суперфосфату, 80 г амоній сульфату, 50 г калійної солі.

На дослідній ділянці рослини поливайте ввечері через 3–4 дні з розрахунку 10 л на 1 м^2 (0,5 л води на одну рослину).

Спостерігайте за рослинами, доглядайте за ними на контрольній і дослідній ділянках, проведіть облік врожаю. Результати занесіть у таблицю (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Облік урожаю капусти

Варіант досліду	Повторність	Площа ділянки, м^2	Кількість рослин на м^2	Середня висота рослин	Врожай з облікової площі ділянки	Врожайність
Контрольний						
Дослідний						

Поясніть, чому врожай капусти з контрольної та дослідної ділянок різний.

Спостерігайте за шкідниками капусти. Особливу увагу зверніть на листки капусти на час квітування берізки польової. Якщо зустрінете кладки

яєць комах, знищуйте їх. Дізнайтесь, кому вони належать. Результати спостережень занесіть у щоденник.

Дослід 2. Вплив підживлення на врожай цукрових буряків

Мета: закріпити знання про видозміни кореня (коренеплоди); дослідити, як впливає підживлення мінеральними добривами на ріст і урожай цукрових буряків.

Методика проведення

Підготуйте з осені дві ділянки площею 10 м^2, внесіть органічне добриво з розрахунку по 40–60 т на 1 га. Навесні ґрунти заборонуйте двічі.

Замочене у воді протягом двох діб насіння цукрового буряку посійте широкорядним способом на глибину 3–4 см з шириною міжрядь 50–60 см при нормі висівання 30–32 кг на 1 га. Висів проведіть у травні (перша декада), ґрунт заборонуйте.

При появі сходів буряків проведіть прополювання. Прополюйте і розпушуйте ґрунт систематично через кожні два тижні до повного змикання рядків.

На фазі розвиненої вилочки прорідіть і підживіть цукрові буряки гноївкою, розбавленою у 10 разів, або мінеральними добривами (на 1 відро води 40 г аміачної селітри та 80 г суперфосфату). Добрива внесіть у ґрунт на глибину 10–12 см. Другий раз підживіть буряки через десять днів, фосфорними і калійними добривами. Добрива внесіть у рідкому чи в сухому стані у міжряддя на глибину 12–14 см (на 1 відро води 70 г аміачної селітри, 80 г суперфосфату, 70 г хлористого калію). Поливання проведіть з розрахунку 1 відро розчину на 15 м. На контрольній ділянці рослини не підживлюйте.

Спостерігайте за ростом і розвитком рослин на контрольній і дослідній ділянках за схемою, наведеною у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Фенологічні спостереження за цукровими буряками

№	Фаза розвитку	Час початку фази розвитку рослин	
		Контрольна ділянка	Дослідна ділянка
1	Висівання		
2	Сходи		
3	Фаза вилочки		
4	Перша пара листків		
5	Третя пара листків		
6	Потовщення підсім'ядольного коліна (початок формування коренеплоду)		
7	Відмирання листків (розмикання рядків)		
8	В'янення і підсихання прикореневих листків		

Підготуйте гербарій цукрового буряку у різних фазах його розвитку.

Проведіть облік урожаю цукрових буряків. Результати занесіть у таблицю (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Облік урожаю цукрових буряків

Варіант досліду	Повторність	Площа ділянки, м^2	Кількість рослин на м^2	Середня висота рослин	Врожай з облікової площі ділянки	Врожайність
Контрольний						
Дослідний						

Дослід 3. Вплив підживлення на врожай помідорів

Мета: ознайомити з особливостями вирощування томатів; дослідити, як впливає підживлення мінеральними добривами на ріст і урожай томатів.

Методика проведення

Рослини томатів висаджують на ділянці овочевої сівозміни. Попередником повинна бути цибуля або капуста. Добрива на ділянку не вносять, а лише восени перекопують. Помідори висаджують на відстані 70х70 см. Підживлення проводять розчинами органічних добрив тричі за літо.

Схема досліду:

І варіант (контрольний) – без підживлення, поливають чистою водою.

ІІ варіант – помідори підживлюють рідким органічним добривом.

ІІІ варіант – помідори підживлюють рідким органічним добривом з додаванням мінеральних компонентів. На кожне відро (10 л) розчинених у воді органічних добрив – 100 г попелу, 40 г суперфосфату.

Дослід 4. Вплив органічних і мінеральних добрив на врожай картоплі

Мета: дослідити вплив різних видів добрив на врожай картоплі.

Методика проведення

Дослід закладають у польовій сівозміні. Для досліду відводять земельну ділянку з однаковим агрофоном, яку ділять на чотири пари дослідних полів. Першу і другу пари полів восени під час зяблевого обробітку ґрунту удобрюють коров'яком (3–4 кг на 1 м^2). Під час весняної культивації ґрунту дослідних полів першої і третьої пар вносять суміш мінеральних добрив: суперфосфату – 70 г на 1 м^2, амоній сульфату – 35 на 1 м^2, калійної солі – 35 г на 1 м^2. Дослідні поля четвертої пари неудобрені – контрольні.

На всіх дослідних полях учні вручну садять рядками бульби картоплі одного сорту (з міжряддями 60–70 см, відстань у рядках – 30–40 см) по одній бульбі у кожну ямку. Проводять необхідні види робіт за таблицею (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Основні етапи роботи під час дослідження

Дата проведення робіт та спостережень	Етапи роботи	Пари дослідних полів			
		I	II	III	IV
Вересень	Виділення земельної площі під дослідні поля				
Жовтень	Зяблевий обробіток ґрунту. Внесення гною. Відбір і підготовка бульб картоплі до садіння				
Квітень	Весняна культивація ґрунту. Внесення мінеральних добрив. Садіння бульб картоплі. Поява сходів – 10 % Поява сходів – 50 %				
Травень	Розпушування ґрунту у міжряддях Поява перших пагонів і їх галуження – 10 %; 50 % Перше підгортання рослин Друге підгортання рослин Бутонізація – 10 %; 50 %				
Червень	Початок цвітіння Масове цвітіння				
Липень	Поява плодів, наявність шкідників				
Серпень	Засихання бадилля, початок – 10 %. Масове – 50 %				
Вересень	Збирання і облік урожаю: з одного куща (середнє) з усього поля та пари полів у перерахунку на 1 га Підготовка зразків врожаю на виставку. Звіт ланки				

Дослід 5. Визначити оптимальну площу живлення для ярої пшениці

Мета: сформувати уявлення про фази розвитку і ріст хлібної культури – пшениці; ознайомити з агротехнікою вирощування пшениці; визначити оптимальну площу живлення для ярої пшениці.

Методика проведення:

Підготуйте з осені дві ділянки площею 10 м^2, що були скопані на зяб з внесенням основного добрива – 20 кг гною та по 30 г фосфору і калію. Поле заборонуйте. Перед висіванням проведіть культивацію з боронуванням на глибину загортання насіння.

Підготовлене і протруєне насіння ярої пшениці посійте рядковим способом на глибину від 2–3 см (на вологих ґрунтах) до 7–8 см (на ґрунтах, де не вистачає вологи), виходячи з норми висівання 140–230 кг на 1 га. На контрольній ділянці посійте пшеницю з міжряддями 7,5 см, на дослідній – 15 см.

Доглядайте за посівами пшениці на ділянках. При утворенні кірки боронуйте ґрунт упоперек рядків. У період кущіння внесіть підживлення з розрахунку на 1 га: гноївки 4–5 т або 0,5–0,9 ц аміачної селітри, 0,5–0,8 ц калійної солі, 1–1,5 ц суперфосфату.

Проводьте фенологічні спостереження за ярою пшеницею. Результати спостережень занесіть у таблицю (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Фенологічні спостереження за ярою пшеницею

№	Фаза розвитку	Час початку фази розвитку рослини	
		Контрольна ділянка	Дослідна ділянка
1	Висівання		
2	Сходи		
3	Кущіння		
4	Вихід у трубку		
5	Колосіння		
6	Квітування		
7	Формування і наливання зерна Достигання зерна: а) молочно-воскова стиглість; б) воскова стиглість; в) повна стиглість		

Зберіть урожай, зрізавши рослини, пов'яжіть їх у снопи і висушіть протягом 5–7 днів. Зважте солому і зерно з контрольної та дослідної ділянок. Визначте врожайність. Зробіть висновок. Зробіть гербарій ярої пшениці у різних фазах її розвитку. Зробіть снопики зрілих рослин для музею хліба.

3.4.2. Відділ плодово-ягідних культур

Дослід 1. Вплив мульчування на ріст і урожайність ягідних кущів

Мета: сформувати поняття про мульчування як прийом агротехніки; з'ясувати вплив мульчування на ріст і урожайність ягідних кущів.

Методика проведення

З осені відберіть для досліду по 5 ягідних кущів однакового сорту й віку, по можливості однакових за розвитком. Для досліду можна брати смородину чорну, червону, аґрус. Сформуйте кущі, вирізавши старі гілки (5–6-річні), укоротіть на третину гілки, що плодоносять. У червоної смородини такої обрізки не робіть. Восени (друга-третя декада вересня) удобріть ґрунт органічними та мінеральними добривами. Внесіть гною до 5–6 кг під кожний молодий кущ, і по 8–16 кг під кожний старий кущ. Мінеральні добрива можна вносити як у рядки, так і в міжряддя (на 1 $м^2$ – 30 г калійної солі, 60 г суперфосфату, 30 г селітри). Ґрунт перекопайте. Рано навесні обробіть ґрунт. Під дослідними кущами замульчуйте ґрунт перегноєм,

різаною соломою чи картоном, пофарбованим чорною олійною фарбою з обох боків. Ґрунт під контрольними кущами не мульчуйте.

Доглядайте дослідні та контрольні кущі. Спостерігайте за дослідними і контрольними рослинами. Для спостереження відберіть по 3–4 кущі дослідних і контрольних рослин. Результати занесіть у таблицю (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Вплив мульчування на ріст ягідних кущів

Варіант досліду	№ куща	Квітування		Довжина головних пагонів під час чотирьох вимірювань				Температура ґрунту		Припинення росту пагонів	Дозрівання плодів (повне)
		Початок	Повне	I	II	III	IV	Вранці	Ввечері		
Контрольний											
Дослідний											

Записи за даною формою проводьте через кожні 2–3 дні. Зробіть висновки про вплив мульчування на ріст і розвиток рослин.

Проведіть облік урожаю дослідних і контрольних кущів. Дані занесіть до таблиці (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Облік урожаю контрольних і дослідних кущів

Варіант досліду	Повторність	№ куща	Зібрано ягід (кг) з кущів				
			1	2	3	4	Разом
Контрольний	I	1 2 3					
	II	1 2 3					
Дослідний	I	1 2 3					
	II	1 2 3					

Визначте середній урожай ягід з контрольного і дослідного кущів. Зробіть висновок про значення мульчування для росту і врожайності ягідних кущів.

Дослід 2. Вплив мульчування ґрунту на врожайність ягідних культур

Мета досліду: ознайомитись із способами мульчування та з'ясувати його вплив на врожайність ягідних культур.

Методика проведення

Для закладання досліду ягідник розбивають на рівні ділянки.

На одній ділянці мульчування не проводять для контролю, на другій мульчують перегноєм, а на третій – торфокомпостом. Збирають і обліковують урожай з кожної ділянки окремо. Час початку і закінчення досліду: травень – вересень.

Схема досліду:

1 варіант – контроль без мульчування.

2 варіант – мульчування перегноєм.

3 варіант – мульчування торфокомпостом.

Дослід 3. Вплив добрив на урожайність аґрусу

Мета: дослідити вплив різних добрив на урожайність аґрусу.

Методика проведення:

1. Для кожного варіанта підбирають у двох рядках по п'ять однаково розвинутих кущів аґрусу. За насадженнями проводять необхідний догляд (своєчасний та якісний обробіток міжрядь, утримання ґрунту в зволоженому та чистому від бур'янів стані).

2. Виміряйте сумарну довжину однорічного приросту пагонів на кожному кущі і в цілому за варіантами. Порівняння з контрольним варіантом.

3. Підрахуйте урожай ягід з куща та за варіантами. Порівняйте з контрольними даними.

4. Визначте масу ягід за варіантами.

Схема досліду:

1 варіант (контрольний) – без добрив.

2 варіант – підживлення навесні аміачною селітрою з розрахунку 20 г на 1 $м^2$.

3 варіант – підживлення навесні аміачною селітрою (20 г на 1 $м^2$), восени – суперфосфатом (30 г на 1 $м^2$) та хлористим калієм (15 г на 1 $м^2$).

Дослід 4. Вплив строків садіння живців смородини та порічок на укорінення та ріст саджанців

Мета досліду: Проаналізувати, як впливають терміни садіння на укорінення та ріст саджанців.

Методика проведення

Вибрати здорові, розвинуті кущі смородини та порічок. Підготувати живці восени. Висаджувати живці за схемою досліду. Дослідити найкращий час садіння живців смородини та порічок. Оформити щоденник фенологічних спостережень.

Схема досліду:

1 варіант – живці висаджують у другій половині вересня – на початку жовтня.

2 варіант – заготовлені восени живці висаджують з початком весняних робіт.

3 варіант – заготовлені восени живці висаджують через 10 днів після садіння у 2 варіанті.

4 варіант – заготовлені восени живці висаджують через 15 днів після садіння у 3 варіанті.

3.4.3. Колекційний відділ

Дослід 1. Вирощування хвойних порід дерев сіянцями або молодими саджанцями

Мета: закріпити знання про умови росту кореневої системи; дати поняття про біологічні особливості хвойних дерев; навчити правильно саджати дерева.

Методика проведення

Виберіть у лісових масивах чи на схилах ярів місце для садіння хвойних дерев з урахуванням вимог до світла і ґрунту. Викопайте ями. Розмір ям залежить від посадкового матеріалу, віку пересаджуваних дерев, ґрунту. Для дерев 5–7-річного віку викопайте ями завглибшки 70 см. Для 2-річних сіянців готують ями розміром 0,6х0,5 м.

Рано навесні з розсадника деревних культур обережно викопайте сіянці хвойних дерев. Якщо садіння будете здійснювати молодими деревами, що росли у лісі, викопайте їх. Для цього навколо дерева на відстані 0,5 м зробіть неглибоку (30–40 см) траншею, обережно вийміть його разом з ґрунтом.

Огляньте викопані деревця. Проведіть обрізання: проріджіть крону, укоротіть гілки.

Підготуйте кореневу систему до садіння на постійне місце. Огляньте корені, підсохлі чи пошкоджені виріжте секатором. Якщо корені підсохли, вмочіть їх у земляну бовтанку, виготовлену з чорнозему та глини, взятих порівну і добре перемішаних з водою.

Посадіть викопані дерева у підготовлені заздалегідь ями. Спочатку накидайте у яму землі, потім поставте дерево так, щоб коренева шийка була на 3–4 см над поверхнею ґрунту. При садінні дерево струсіть чи підніміть. Добре притисніть ґрунт у ямі, починаючи з її країв. Зробіть валик по колу ями для затримки води.

Доглядайте за посадженими деревами, поливайте їх, виполюйте бур’яни, знищуйте шкідників, підрахуйте кількість дерев, що прижились. Дізнайтесь про причини загибелі дерев.

Дослід 2. Спостереження за міжвидовими взаємозв’язками рослин

Мета: установити наявність певних видів взаємозв’язків між особинами різних видів рослин у природі; дати уявлення про використання взаємозв’язків між рослинами різних видів у сільському господарстві.

Методика проведення

1. Виявіть у природі приклади різноманітних взаємозв'язків між особинами різних видів рослин: а) пригнічення однією рослиною іншої; б) взаємозалежність між рослинами.

Проведіть спостереження за ростом трав'янистих рослин, що ростуть поряд: соняшника і кукурудзи, помідорів і огірків, ячменю, вівса і пшениці. Які рослини уповільнюють ріст інших рослин?

Проведіть спостереження за життям рослин, які ростуть поряд: пшениці і дикої редьки чи берізки польової; квасолі та соняшника; вики та вівса; кукурудзи та квасолі чи огірків; цукрових буряків та осоту польового. Як можна назвати такі взаємозв'язки?

Рано навесні у темних листяних лісах на коренях ліщини, вільхи, граба чи інших дерев знайдіть м'ясисту рожеву (різної інтенсивності забарвлення) рослину з наземними квітконосними пагонами. Це – петрів хрест лускатий. Розгляньте, за допомогою яких пристосувань ця рослина прикріплюється до коренів дерев і кущів, як вона висмоктує з рослини-хазяїна поживні речовини. Про що свідчить відсутність зеленого забарвлення у даної рослини?

Поясніть, як використовують знання про взаємозв'язки між рослинами у сільському господарстві. Зробіть висновок, які рослини слід вирощувати разом і якого сусідства слід уникати. Результати занесіть до таблиці (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Взаємозв'язки між рослинами різних видів

№	Вид взаємозв'язків	Рослина, що впливає на іншу	Рослина, що зазнає впливу
1	Пригнічення		
2	Стимулювання		
3	Паразитизм		

3.4.4. Квітково-декоративний відділ

Дослід 1. Вплив мінеральних добрив на прискорення достигання насіння квітів та на продовження квітування (айстри, антиринуму тощо)

Схема досліду:

1 варіант – контроль, без добрив.

2 варіант – внесення азотних добрив.

3 варіант – внесення фосфорних добрив.

4 варіант – внесення калійних добрив.

5 варіант – внесення повних мінеральних добрив.

Добрива вносять за 10 днів до висаджування розсади квітів з такого розрахунку на 1 м^2: аміачної селітри 20–30 г, суперфосфату 40 г, калійної солі 30 г.

Дослід 2. Вплив глибини садіння гладіолусів на появу нових бульбоцибулин

Схема досліду:

1 варіант – глибина садіння 5–6 см.

2 варіант – глибина садіння 10–12 см.

Бульбоцибулини гладіолусів висаджують у квітні місяці на ділянці з міжряддями 20–25 см, у рядку 10–15 см, глибина садіння згідно зі схемою досліду.

За рослинами ведуть фенологічні спостереження, визначають кількість нових бульбоцибулин (діток) у середньому. Виготовляють гербарій на тему "Ріст і розвиток гладіолусів".

Дослід 3. Вплив підживлення розчином повного мінерального добрива на декоративні якості оранжерейних рослин (примул, цінерарій)

Схема досліду:

1 варіант – контроль, полив чистою водою.

2 варіант – підживлення розчином повного мінерального добрива.

Приготування розчину: на 1 літр води – 2,5 г аміачної селітри, 2,5 г суперфосфату, 1 г калійної солі.

Підживлення рослин проводять 5–6 разів за період вегетаційного розвитку.

Дослід 4. Вплив на укорінення рослин (пеларгонії, хризантеми) умов живлення

Схема досліду:

1 варіант – відкритий стелаж теплиці.

2 варіант – закритий парник на стелажі.

Методика проведення

Стелаж і ящик засипають сумішшю з дернової, листової і торф'яної землі, додаючи крупнозернистий річковий пісок, який насипають шаром 8–10 см, зверху насипають шар річкового піску 2,5 см. Пагони для живців зрізують з 2–3 міжвузлями, чистим гострим ножем (під вузлом) і нижні листочки відрізають. Живець заглиблюють у пісок на глибину 1–1,5 см. Пісок навколо живця ущільнюють. Ящик з живцями накривають склом. Далі проводять систематичне спостереження за укоріненням рослин. Висновки про укорінення живців заносять до щоденників.

Дослід 5. Прискорене розмноження жоржин

Схема досліду:

1 варіант – ділянка розмноження бульбами.

2 варіант – ділянка розмноження живцями.

У березні в ящик кладуть бульби і засипають тирсою. Через 2 тижні відокремлюють живці і висаджують у неглибокі ящики з піском. Укорінені живці висаджують у горщики розміром 7–9 см. У ґрунт жоржини висаджують з середини до кінця травня.

Таким чином, під час робіт на навчально-дослідній ділянці учень повинен набути таких практичних навичок: розпізнавати корені за їх формою, розпізнавати основні частини кореня; спостерігати за ростом і розвитком кореня, записувати результати спостережень; пікірувати розсаду різних рослин; виготовляти колекції мінеральних добрив; розпізнавати основні мінеральні добрива за зовнішніми ознаками; обчислювати норми мінеральних добрив для закладання дослідів з водними культурами та польових дослідів; проводити досліди з водними культурами; проводити досліди на шкільній ділянці з вивчення впливу мінеральних добрив на ріст, розвиток та урожайність рослин; обчислювати норми органічних добрив на посівну площу; проводити польові досліди з вивчення впливу органічних добрив на ріст, розвиток і урожайність рослин; проводити досліди з вивчення дихання кореневої системи.

РОЗДІЛ 4
ФОРМУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКИХ УМІНЬ УЧНІВ НА ГУРТКОВИХ ЗАНЯТТЯХ ПРИ ВИВЧЕННІ ТЕМИ "КОРІНЬ"

Прогрес сучасної біологічної науки, створення нової генерації шкільних програм і підручників, соціальне замовлення на підготовку висококваліфікованих фахівців-біологів – усе це викликає потребу інтеграції уроків біології та позакласної роботи.

Підготовка біолога з широким кругозором і практичним складом розуму повинна починатися задовго до того, як молода людина потрапить до вишівської аудиторії. Між вищою і середньою школою має бути посередник, роль якого традиційно виконують біологічні гуртки. Гурткові заняття характеризуються цілою низкою специфічних рис, що відрізняють їх від уроків:

- учні мають можливість самостійно вибрати профіль гуртка;
- членами гуртків є, як правило, діти, які цікавляться цим предметом;
- заняття у гуртках є добровільними, і відвідування забезпечується лише високим рівнем педагогічного процесу;
- на заняттях не виставляють оцінки, а заохочення кращих юннатів відбувається в інший спосіб (нагородження дипломами, почесними грамотами, цінними подарунками);
- керівник гуртка має широкі можливості у виборі тем занять, розподілі годин, відборі тем навчально-виховної роботи;
- менша кількість учнів у гуртках сприяє поглибленій індивідуальній роботі;
- керівник гуртка у конкретному напрямі біології дає більш ґрунтовні знання.

Враховуючи, що у шкільній програмі скорочено години на вивчення різноманітності живої природи (систематику), а також зменшено кількість конкретних представників царств організмів, що вивчаються на уроках, то лише на гурткових заняттях (з вірусології, мікробіології, зоології, ентомології, орнітології, тваринництва, ботаніки, мікології тощо) учні можуть отримати додаткові знання.

Шкільною програмою виділено досить обмежений час на вивчення живих об’єктів як у природних, так і у лабораторних умовах. Так, у 6 класі передбачено лише дві екскурсії на природу: "Різноманітність рослин свого краю" та "Вивчення рослинних угруповань". Гурткова робота дає значно більші можливості для вивчення живих об’єктів. Учні ознайомлюються з останніми на екскурсії у природу, у куточках живої природи, зимовому саду, акваріумному комплексі, орнітологічній та ентомологічній лабораторіях, на тваринницькій фермі, навчально-дослідних ділянках.

У шкільному курсі розроблено систему практичних робіт, які передбачають оволодіння навичками роботи з лабораторним і польовим обладнанням. Проте мала кількість годин, слабка матеріально-технічна база багатьох шкіл не дозволяють реалізувати повною мірою завдання програми. Компенсувати ці недоліки можна через зміст профільних позашкільних програм, у яких значна кількість годин відведена для виконання практичних робіт. Позашкільні програми спрямовані на формування вмінь і навичок роботи з сучасними мікроскопами, ентомологічним, гербарним, біохімічним, польовим, сільськогосподарським обладнанням.

4.1. Дослідницька робота з фізіології рослин

Досліди з водними культурами рослин

Перед дослідом слід підготувати посуд з розчинами. Можна використати півлітрові або літрові скляні банки з поліетиленовими кришками. У кришці зробити три отвори: один по центру (діаметр 20 мм, для закріплення рослини) і два отвори по краях (діаметр 5 мм, для розміщення скляної трубки і трубки для утримання рослини) (рис. 4.6).

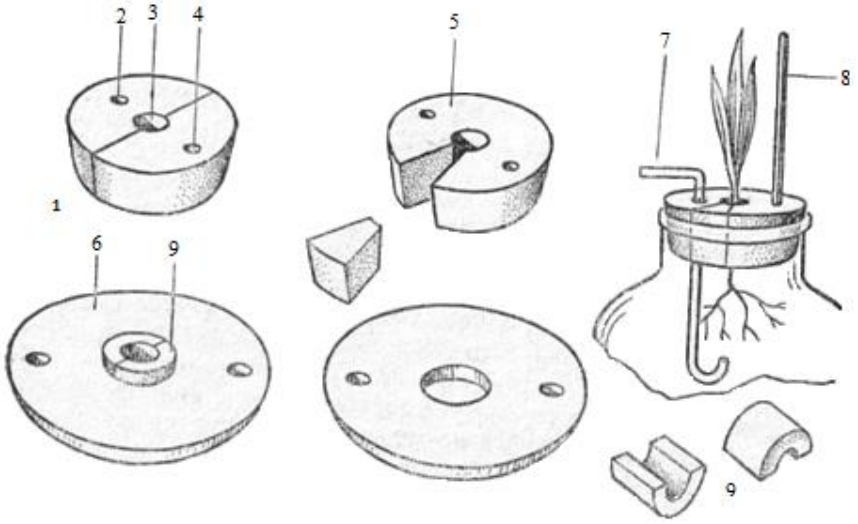


Рис. 4.6. ***Монтування посуду для водних культур*:**
1 – корок з отвором (2 – для скляної трубки, 3 – для рослини, 4 – для палички), 5 – корок з косим вирізом, 6 – кришка з корком (9), 7 – скляна трубка для продування води, 8 – паличка для підтримання рослини

Банку ззовні вкривають папером, який всередині темного кольору, назовні – білого. У темряві корені краще розвиваються, не розмножуються водорості, які шкодять кореневій системі, менше нагрівається розчин, оскільки біла поверхня відбиває світлові промені.

На штучному середовищі можна вирощувати усі рослини, але гарні результати можна отримувати при вирощуванні проростків з насіння квасолі, пшениці, соняшнику, кукурудзи, пагонів колеусу, традесканції, пеларгонії, фуксії.

Дослід 1. Вирощування квасолі на повному та неповному поживному середовищі

Учні готують 4 літрові скляні банки. Відбирають однакові за розміром квасолини і пророщують їх. Коли корені будуть мати розміри 1–2 см, банку заливають водою по вінця і затягують марлею, яку обробляють розплавленим парафіном. У марлі олівцем роблять невеликі отвори, через які в подальшому пропускають корені проростків так, щоб вони були занурені у воду. Таким чином вирощують проростки, поки їх корені будуть 8–10 см завдовжки. Живці традесканції та інших рослин також витримують доти, доки не з'являться корені. Використовують чисту воду, без поживних речовин, оскільки у цей час ріст відбувається за рахунок поживних речовин сім'ядолі.

Поживні суміші готують на основі кип'яченої води. Кожну сіль розчиняють у окремій посудині, щоб не утворився нерозчинний осад.

Водний розчин містить такі солі:

I. Повний розчин Кнопа. На 1 л розчину взяти (в *г*)*:*

1) кальцій азотнокислий – 1,00;
2) кислий фосфорнокислий калій – 0,25;
3) магній сірчанокислий – 0, 25;
4) калій хлористий – 0,25;
5) ферум хлорний (1–2 краплі 1 %-ного розчину).

II. Поживна суміш без калію. На 1 л розчину взяти (в *г)*:

1) кальцій азотнокислий – 1,00;
2) натрій фосфорнокислий – 0,25;
3) натрій хлористий – 0,09;
4) магній сірчанокислий – 0,25;
5) ферум хлорний – 0,0125.

III. Поживна суміш з видаленням фосфору. На 1 л розчину взяти (в *г*):

1) кальцій азотнокислий – 1,03;
2) калій хлористий – 0,255;
3) магній сірчанокислий – 0,25;
4) ферум хлорний – 0,0125.

IV. Поживна суміш з видаленням нітрогену. На 1 л розчину взяти (в *г*):

1) кальцій сірчанокислий – 1,03;
2) калій фосфорнокислий – 0,25;
3) калій хлористий – 0,125;
4) магній сірчанокислий – 0,25;
5) ферум хлорний – 0,0125.

Коли проростки квасолі будуть мати корені завдовжки 8–10 см, відбирають однакові проростки і переносять у банки з розчинами з повними та неповними сумішами. Рослини закріплюють у середніх отворах кришки за допомогою негігроскопічної вати так, щоб кріплення не змочувалось розчином.

Вчитель нагадує учням, що у водних розчинах недостатньо кисню для дихання коренів, тому на кінчик скляної трубки надягають гумову трубку з грушею, за допомогою якої через розчин кожного дня продувають повітря протягом 5–7 хвилин. На банки надягають чохли, які не пропускають світло і захищають від розвитку одноклітинних водоростей.

Розчини поповнюють регулярно, а повністю заміняють кожні 2–3 тижні. Слід перевіряти кислотність розчинів лакмусовим папірцем. За нормальної кислотності він має рожеве забарвлення. Якщо папірець набув блакитного кольору, то потрібно по краплях додати слабкої нітратної кислоти до відновлення нормального забарвлення.

Кожну банку підписують: "Повна суміш", "Без Нітрогену", "Без калію" тощо. Учні доглядають за рослинами і проводять спостереження. Під час спостереження вимірюють висоту рослин, розміри та забарвлення листків, визначають загальний стан рослини.

Під час спостережень учні повинні переконатися у тому, що на повній поживній суміші рослини добре розвиваються і швидко ростуть. Без Калію уповільнюється ріст рослини, листки набувають світло-зеленого забарвлення. Ще більш бідними стають листки рослин, які ростуть без Фосфору. Значно уповільнюють ріст рослини без Нітрогену.

Учні враховують кількість води, яку поглинають рослини, вимірюють її при підливанні у банки. Впродовж дослідження відзначають, на якому етапі розвитку рослина потребує найбільшої кількості води. По закінченні досліду проводять виміри рослин з кореневою системою, зважують сиру та суху масу. З рослин виготовляють гербарні зразки.

Дослід 2. Вирощування цибулевих рослин на чистій воді

Для проведення досліду цибулини гіацинту, тюльпану, цибулі, лілії кладуть на край циліндра, так щоб денце було на поверхні води. Посудину обгортають папером і ставлять на світло у тепле місце. Учні проводять регулярні спостереження за рослинами, поки вони не заквітують.

Учні відмічають, що при розвитку збільшується маса рослини і зменшуються розміри цибулини. Це є підставою до висновку, що у цибулині наявний запас необхідних поживних речовин, який забезпечує повний розвиток рослини.

Дослід 3. Вплив мікроелементів на ріст і розвиток цибулинних квіткових рослин (гіацинту, амарилісу, клівії)

Цибулини рослин розділяють на дві частини. Першу частину замочують у розчині мікроелементів протягом 24 годин. Для виготовлення розчину потрібно у 5 л води розчинити 0,6 г манган сульфату, 0,4 г цинк сульфату, 0,2 г купрум сульфату і 0,6 г борної кислоти. Другу частину цибулин залишають без змін.

У вазонах позначених цифрою № 1, висаджують цибулини без намочування. У інших вазонах (№ 2) висаджують цибулини, які були оброблені розчином мікроелементів. Дослідження проводять протягом вегетаційного періоду рослини, результати фіксують і використовують на уроці з даної теми.

4.2. Дослідницька робота з агрохімії

Дослід 1. Вплив компонентів мінерального живлення на ріст і розвиток лікарських рослин, накопичення корисної біомаси

Мета досліду: з'ясувати дослідним шляхом, як впливають мінеральні речовини на розвиток рослин.

Методика проведення

Для досліду потрібно взяти насіння синюхи звичайної, ромашки лікарської, нагідок та інших лікарських рослин.

I. Фенологічні спостереження:

Посів насіння.

Поява перших сходів.

Масові сходи.

Поява першого листка.

Утворення бічних пагонів.

Утворення суцвіть.

Квітування.

Утворення зав'язі.

Достигання насіння.

II. Збирання врожаю.

Лікарську сировину з кожної ділянки обліковують окремо, підраховують урожай у кілограмах з гектара. У висновках відмічають вплив окремих елементів мінерального живлення на ріст і розвиток рослин.

Схема досліду:

1 варіант (контрольний) – висівання насіння без добрив.

2 варіант – внесення $N_{60}P_{30}K_{30}$.

3 варіант – внесення $N_{30}P_{60}K_{30}$.

4 варіант – внесення $N_{30}P_{30}K_{60}$.

Дослід 2. Вплив кількості мінеральних добрив і термінів їх внесення на розвиток і врожайність сільськогосподарських культур

Мета досліду: з'ясувати, як впливають мінеральні добрива на розвиток та врожайність пшениці.

Методика проведення

Об'єкт досліджень: озима пшениця.

Схема досліду:

1 варіант – абсолютний контроль без внесення добрив.

2 варіант – контроль з мінімумом внесення добрив.

3 варіант – внесення аміачної селітри.

4 варіант – внесення калійної солі.

Дослід 3. Вплив різних органічних добрив на розвиток і декоративні якості кали

Мета досліду: вивчити, як впливають на кали різні дози органічних добрив.

Методика проведення

У травні кали з теплиці висаджують, ділячи кущі, на грядки. До середини липня рослини ростуть. Їх не потрібно поливати та підживлювати. У середині липня рослини виводяться зі стану спокою, після чого дослідні рослини перший раз підживлюють. Рослини третього варіанта підживлюють через 1 місяць після першого підживлення, а рослини IV варіанта підживлюють через кожні 2 тижні гноївкою. Для приготування гноївки 1 відро гною розводять 10 відрами води і проводять підживлення дослідних рослин.

У середині вересня дорослі кущі кали – по 10 з кожної дослідницької грядки – висаджують у вазони, заносять у теплицю і продовжують вести спостереження.

У щоденнику відмічають початок бутонізації та початок квітування. При масовому квітуванні замірюють висоту квітконоса, величину квітки та урожайність з одного куща протягом року; підраховують кількість та величину листків.

Схема досліду:

1 варіант – вирощування рослин на агрофоні 60 т торфу на 1 га;

2 варіант – дослідні рослини вирощують на агрофоні 60 т/га торфу + одноразове підживлення гноївкою;

3 варіант – дослідні рослини вирощують на агрофоні 60 т/га торфу + дворазове підживлення гноївкою;

4 варіант – дослідні рослини вирощують на агрофоні 60 т/га торфу + підживлення гноївкою через кожні 2 тижні.

Дослід 4. Вплив мінеральних добрив на ріст і розвиток айстр

Мета досліду: дослідницьким шляхом встановити, у якому з варіантів рослини утворюють більшу кількість квітів і мають найкращі декоративні якості.

Методика проведення

Насіння айстр висівають у другій половині березня у ящики, а в квітні пікірують у парники. З кінця квітня розсаду пікірують і в середині травня висаджують на грядки. Рослини першого варіанта протягом усього вегета-

ційного періоду не підживлюють; рослини другого варіанта підживлюють один раз в середині червня 0,6 %-м розчином мінеральних добрив, а рослини третього варіанта двічі – в червні і в липні 0,6 %-м розчином мінеральних добрив.

Протягом літньо-осіннього періоду за рослинами ведуть спостереження, відмічають висоту рослин, кількість квітів на 1 кущі, інтенсивність забарвлення, стійкість до хвороб.

Схема досліду:

1 варіант – вирощування рослин на загальному агрофоні 60 т/га торфу без внесення мінеральних добрив;

2 варіант – підживлення рослин 0,6 %-м розчином мінеральних добрив (червень) + загальний агрофон;

3 варіант – дворазове підживлення рослин 0,6 %-м розчином мінеральних добрив (червень, липень) + загальний агрофон.

Дослід 5. Вплив обробки насіння мікроелементами на ріст і розвиток гвоздики Шабо

Мета досліду: встановити дослідним шляхом, як впливає на розвиток гвоздики обробка насіння мікроелементами.

Методика проведення

За 1 день до висіву насіння гвоздики Шабо намочують на одну добу: для першого варіанта – у чистій воді, для другого – у 0,03 %-м розчині марганцево-кислого калію; для третього варіанта – у 0,03 %-му розчині борної кислоти і для четвертого варіанта у 0,01–0,02 %-му розчині мідного купоросу. Намочене насіння через 1 добу висівають у окремі ящики у теплиці у кінці лютого. У березні гвоздику пікірують, у квітні проводять другу пікіровку, а в другій половині травня розсаду висаджують на грядки. Протягом літа за рослинами ведуть фенологічні спостереження, відмічаючи величину куща рослини, кількість квітів, їх махровість, діаметр, кількість квітів на кущі, стійкість до хвороб.

Схема досліду:

1 варіант – висів насіння, намоченого у воді;

2 варіант – висів насіння, обробленого 0,03 %-м розчином марганцевокислого калію;

3 варіант – висів насіння, обробленого 0,03 %-м розчином борної кислоти;

4 варіант – висів насіння, обробленого 0,01–0,02 %-м розчином мідного купоросу.

Дослід 6. Вплив мінеральних добрив на прискорення достигання насіння квітів та на продовження цвітіння (айстри тощо)

Мета досліду: визначити вплив різних видів добрив на фізіологічні процеси квіткових рослин.

Методика проведення

Добрива вносять за 10 днів до висаджування розсади квітів з такого розрахунку: аміачної селітри 20–30 г, суперфосфату 40 г, калійної солі 30 г на 1 м^2.

Схема досліду:

1 варіант – контроль без добрив;

2 варіант – внесення азотних добрив;

3 варіант – внесення фосфорних добрив;

4 варіант – внесення калійних добрив.

5 варіант – внесення повних мінеральних добрив.

Дослід 7. Вплив глибини садіння гладіолусів на появу нових бульбоцибули

Мета досліду: з'ясувати дослідним шляхом, як впливають агротехнічні заходи на формування бульбоцибулин.

Методика проведення

За рослинами ведуть фенологічні спостереження, визначають кількість нових бульбоцибулин (діток) в середньому. Виготовляють гербарій на тему "Ріст і розвиток гладіолусів".

Схема досліду:

1 варіант – глибина садіння 5–6 см;

2 варіант – глибина садіння 10–12 см.

Бульбоцибулини гладіолусів висаджують у квітні на ділянці з міжряддями 20–25 см, у рядку 10–15 см, глибина садіння згідно зі схемою досліду.

Дослід 8. Вплив підживлення розчином повного мінерального добрива на декоративні якості оранжерейних рослин (примул, цінерарій)

Мета досліду: проаналізувати, як впливають мінеральні добрива на декоративні якості оранжерейних рослин.

Методика проведення

Підживлення рослин проводять 5–6 разів за період вегетаційного розвитку. Розчин готують так: на 1 літр води – аміачної селітри 2,5 г, суперфосфату 2,5 г, калійної солі 1 г.

Схема досліду:

1 варіант – контроль (поливання чистою водою);

2 варіант – підживлення розчином повного мінерального добрива.

Дослід 9. Укорінення рослин залежно від умов живлення (пеларгоній, хризантем)

Мета досліду: ознайомлення учнів з вегетативними способами розмноження рослин.

Методика проведення

Стелаж і ящик засипають сумішшю з дернової, листової і торфової землі, додаючи крупнозернистого річкового піску, який насипають шаром 8–10 см, зверху насипають шар річкового піску 2,5 см. Пагони для живців зрізують з 2–3 міжвузлями, чистим гострим ножем "на п'ятку" (під вузлом) і нижні листочки відрізають. Живець заглиблюють у пісок на глибину 1–1,5 см. Пісок навколо живця ущільнюють. Ящик з живцями накривають листком скла. Далі проводиться систематичне спостереження за укоріненням рослин.

Зробити висновки, де живці будуть краще укорінюватись, занести до щоденників.

Схема досліду:

1 варіант – відкритий стелаж теплиці;

2 варіант – закритий парничок на стелажі.

Уявлення про спрямованість процесів, які відбуваються в природі, треба формувати ще у середній школі під час вивчення предметів природничого циклу. Передусім це стосується учнів, які вирішили здійснити свій професійний вибір у сфері природничих наук.

Враховуючи, що експеримент є основним методом у біологічній науці – джерелом одержання знань, у даній системі навчання передбачається проведення дослідницької роботи учнів.

Під час визначення системи навчання як єдиного цілого, що складається з окремих взаємопов'язаних елементів, дослідницька робота виступає однією з функціональних частин навчального процесу, тобто підсистемою, і водночас – його частиною зі своїми задачами, змістом і структурою. Під змістом дослідницької роботи учнів у курсі біології ми розуміємо цілеспрямовану систему навчальних експериментів, проведення яких забезпечує емпіричне підґрунтя для планомірного формування і розвитку понять, які є науковою основою сучасного сільськогосподарського виробництва, їх взаємозв'язку, виробленню дослідницьких та практичних умінь і навичок, інтересу до біології та галузей сільськогосподарського виробництв.

ЛІТЕРАТУРА ДО ЧАСТИНИ III

1. Дмитров Е. Н. Познавательные задачи по ботанике и их решение : пособие для учителей и учащихся / Е. Н. Дмитров. – Тула : Арктоус, 1997. – 77 с.
2. Нога Г. С. Опыты и наблюдения над растениями : пособие для учителей / Г. С. Нога. – М. : Просвещение, 1976. – 175 с.
3. Трайтак Д. И. Практическая направленность обучения ботанике : пособие для учителей / Д. И. Трайтак. – М. : Просвещение, 1977. – 112 с.
4. Щукин С. В. Опытническая работа на учебно-опытном участке : пособие для учителей / С. В. Щукин. – М. : Просвещение, 1971. – 207 с.
5. Соболь В. І. Біологія +… : збірка завдань, конкурсів, тестів, кросвордів / В. І. Соболь. – Кам'янець-Подільський : Абетка Нова, 2002. – 80 с.
6. Еколого-натуралістична творчість : матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції "Шкільна біологічна освіта: проблеми та шляхи розв'язання" // Науково-методичний вісник. – № 3. – К., 2001. – 296 с.
7. Суряднова В. П. Літні завдання учнів з біології : посібник для вчителів / В. П. Суряднова. – К. : Радянська школа, 1989. – 126 с.
8. Тюпа У. А. Практичні заняття з ботаніки на шкільній ділянці : посібник для вчителів / У. А. Тюпа. – К. : Радянська школа, 1972. – 95 с.
9. Тематика дослідницької роботи на НДЗД за рекомендаціями вчених / уклад. : Ю. В. Леус. – Чернігів, 2009. – 23 с.
10. Організація та зміст роботи навчально-дослідної земельної ділянки / уклад. Р. Г. Кидиба. – Чернігів, 2007. – 48 с.
11. Організація та зміст роботи учнів та юних натуралістів на шкільній навчально-дослідній земельній ділянці : метод. реком. / уклад. : Л. П. Маноpик, А. Ф. Устінова. – К. : Радянська школа, 1981. – 64 с.
12. Методичні поради щодо організації дослідницької роботи в учнівських бригадах, шкільних лісництвах і гуртках юннатів. – К. : Радянська школа, 1987. – 46 с.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Відповіді на біологічні задачі

1. Мінеральні добрива легко засвоюються рослинами, але швидко вимиваються після їх внесення. Торф, що містить органічні речовини, мінералізується повільно, а тому має більш тривалу дію. Розумне поєднання органічних та мінеральних добрив дає можливість підсилити позитивні властивості і послабити негативні кожного з них.

2. Для рослини не вистачає фосфорних та калійних добрив. Нестача фосфорних добрив затримує процес квітування та дозрівання насіння. При нестачі Калію зерно має низьку схожість.

3. Підживлення рослин проводять під час активного росту та формування врожаю. У першому випадку при додаванні добрив відбувається швидкий розвиток кореневої системи, а потім збільшення листкової маси. У другому випадку активно накопичуються поживні речовини для утворення репродуктивних органів.

4. Магній
5. Нітроген.
6. Калій.
7. Молібден.
8. Вода.

Додаток 2

Відповіді на пізнавальні задачі до уроків з теми "Рослини" для учнів 6 класу

1. Учень помиляється. Вивчення кореневої системи, її розподіл у ґрунті надасть можливість науково обґрунтувати глибину обробітку ґрунту, вибір агротехніки та певної сівозміни.

2. У більшості деревних рослин коренева система розростається у горизонтальному напрямку і перевищує діаметр крони у декілька разів (у плодових дерев у 2–5 разів).

3. Верхня зона галуження кореня всмоктує вологу з ґрунту після дощів, які випадають у пустелі, а нижній шар коренів поглинає капілярну вологу ґрунтових вод.

4. Клітини кореневого чохлика чутливі до сили земного тяжіння (позитивний геотропізм) і забезпечують ріст кореня вниз.

5. Кореневі волоски можуть жити і всмоктувати воду до 2 років, якщо їх стінки здерев'янілі (гледичія, рослини родини айстрових). Причина здерев'яніння – сильна засуха або надлишкове зволоження.

6. Міцність кореню надають механічні тканини – луб'яні (гнучкості і міцності) та деревні волокна (твердості).

7. Корені вільхи містять бульбочки (діаметром до 5 см) з мікроорганізмами, які поглинають азот з повітря, накопичують його, перетворюють і збагачують ґрунти на Нітроген.

8. Фарбувати горщики не варто. Корінь – живий орган, його клітини дихають. Фарба закупорює пори стінок горщика і перешкоджає надходженню кисню до кореня.

9. За добу коренева системи потребує 5 г кисню (5 х 1 = 5). Протягом місяця корінь потребує 150 г кисню (1 х 30 = 150), за рік корінь поглинає 1825 г (5 х 365 = 1825).

10. Пікірування головного кореня зупиняє його ріст та збільшує площу бічних коренів у верхньому шарі ґрунту. Бічні корені збільшують поглинальну здатність кореневої системи майже у 1,5 рази.

11. Правильно висаджував рослини той учень, який пересаджував її двічі. При пересаджуванні ріст рослини гальмується і вона не витягується у довжину. У маленьких горщиках при правильному зволоженні коренева система розвивається добре, оскільки вода довго не затримується у них. У великих горщиках важко регулювати норму води, вона може застоюватися, і від нестачі кисню ріст кореня припиняється.

12. Солі Кальцію, які містяться у шкаралупі яєць, мають позитивний вплив на рослину, оскільки нейтралізують надлишок кислот у ґрунті, прискорюють ріст кореня й утворення бічних коренів, підвищують утворення органічних речовин при фотосинтезі, покращують засвоєння Нітрогену рослиною.

13. При підгортанні вологим ґрунтом формуються додаткові корені, які покращують живлення рослин та поглинання води.

14. На засолених ґрунтах здатні рости тільки деякі рослини. Ця властивість обумовлена здатністю обмежувати надходження солей у рослинний організм (полин), виділяти солі листковою пластинкою або спеціальними залозами пагона (кермек, тамарикс) або накопичувати солі у тканинах рослини (солянка).

15. Можна, використовуючи методи гідропоніки та аеропоніки.

16. Гній – це органічне добриво, у якому містяться основні елементи живлення рослини (Нітроген, Фосфор, Калій) мікроелементи. Він покращує структуру ґрунту, збільшує її вологоутримувальну здатність, робить ґрунт більш пухким, активізує діяльність мікроорганізмів. При розкладанні гною мікроорганізмами виділяється вуглекислий газ, який потрібен рослині для процесу фотосинтезу.

17. У ґрунт слід вносити одночасно повну норму гною, а не частинами щороку, тоді дія цього добрива буде тривати кілька років.

18. При внесені достатньої кількості гною повна його дія на чорноземах триває 5–7 років, а на піщаних ґрунтах – 2–3 роки.

19. Можна. Якщо звук дзвінкий, то у горщику ґрунт сухий, а при глухих звуках у ґрунті достатньо вологи.

Додаток 3

Відповіді на пізнавальні задачі до уроків з "Природознавства", для учнів 5 класу

1. Кількість пор збільшується при обробітку ґрунтів. У ґрунт, що містить багато шпар, пор надходять вода і повітря. Дрібні пори заповнені водою, великі – повітрям. Пористі ґрунти швидше нагріваються навесні і повільно охолоджуються при зниженні температури повітря.

2. Потрібно взяти пробу ґрунту (30 г), змочити водою і розім'яти до стану густого тіста, потім згорнути у джгут діаметром 3 см. Піщаний ґрунт не скачується, а глинистий скачується.

3. Корені рослин під час росту проникають у різні горизонти ґрунту на різну глибину, утворюючи систему ходів, через які надходить вода, повітря, тепло. Ця система дозволяє переміщуватися мінеральним речовинам із глибших шарів на поверхню ґрунтів. За рахунок гниття відмерлих коренів відбувається утворення гумусу у ґрунті. Продукти виділення коренів є поживною речовиною для мікроорганізмів, які мінералізують органічні залишки рослин.

4. Піщані ґрунти пухкі, добре пропускають повітря та воду, тому швидко нагріваються. Їх відносять до "теплих" ґрунтів. Глинисті ґрунти достатньо щільні, у них затримується волога, тому вони потребують більше затрат тепла та часу для прогрівання. Вони є "холодними" ґрунтами.

5. Темна мульча (торф, перегній, темний папір) сприяє кращому прогріванню ґрунту і збереженню у ньому тепла. Світла мульча (білий папір, посічена солома) сприяє кращому охолодженню ґрунту у спекотний період. Мульчування дозволяє зберігати вологу у ґрунті, підтримує сталу температуру, зменшує кількість бур'янів.

6. Кислі ґрунти на невеликій глибині мають світлі прошарки, схожі на попіл. У місцях поглинання води вони мають іржавий колір та райдужну плівку на поверхні. Індикатором кислих ґрунтів можуть бути деякі рослини, а саме: хвощ польовий, м'ята, подорожник великий.

7. Ні, не однаковий. Ґрунти чорноземної зони мають більший вік, ніж ґрунти тундрової зони.

Додаток 4

Положення про учнівські навчально-дослідні земельні ділянки

І. Загальні положення

1. Це Положення визначає порядок організації діяльності учнівських навчально-дослідних земельних ділянок (далі – ділянка), що створюються у загальноосвітньому та позашкільному навчальному закладі з метою проведення лабораторних і практичних занять з природознавства, біології, трудового навчання, навчальних практик, науково-дослідної та природоохоронної діяльності учнів (вихованців) загальноосвітніх навчальних закладів, учнів, вихованців (учнів, слухачів) позашкільних навчальних закладів (далі – учні).

2. Координаційно-методичний супровід роботи на ділянках здійснюють позашкільні навчальні заклади еколого-натуралістичного напряму.

3. Забороняється використання ділянки не за цільовим призначенням.

ІІ. Площа та відділи ділянки

1. Площа ділянки встановлюється з урахуванням особливостей діяльності навчального закладу, у якому вона діє, та місцевих умов згідно з таблицею, наведеною у додатку 1 до цього Положення.

2. Ділянка може складатися з таких відділів: колекційного, селекційно-генетичного, квітково-декоративного, зоолого-тваринницького, дендрологічного, плодово-ягідного, закритого ґрунту, польових та овочевих культур.

3. Мінімальна кількість відділів становить:

- для загальноосвітніх навчальних закладів І ступеня – 4;
- для загальноосвітніх навчальних закладів І–ІІ ступенів, І–ІІІ ступенів – 5;
- для обласних еколого-натуралістичних центрів (обласних станцій юних натуралістів) – 6;
- для районних, міських еколого-натуралістичних центрів (станцій юних натуралістів) – 6.

Площа кожного відділу визначається завідувачем ділянки з урахуванням місцевих умов і кількості учнів, які залучаються до роботи, та погоджується з керівником навчального закладу (додаток 2).

4. Колекційний відділ призначається для вирощування типових представників основних сільськогосподарських і систематичних груп рослин: технічних, лікарських, овочевих, зернових і кормових культур, інтродукованих рослин.

5. Селекційно-генетичний відділ призначається для проведення дослідів при вивченні відповідних тем курсів загальної біології, генетики та основ селекції.

До складу селекційно-генетичного відділу можуть входити селекційна та генетична ділянки.

Селекційна ділянка складається із розсадників, на яких відображається селекційний процес створення сортів однієї або декількох сільськогосподарських культур.

На генетичній ділянці вирощують колекції гібридних і мутантних рослин, закладаються досліди з генетики.

6. Складовими квітково-декоративного відділу можуть бути колекційні ділянки однорічних, дворічних і багаторічних квіткових рослин, квітників (бордюри, рабатки, міксбордери, клумби, альпінарії, рокарії), декоративні насадження тощо.

7. Складовими зоолого-тваринницького відділу можуть бути крільчатник, голуб'ятник, пташник, пасіка тощо. У зоолого-тваринницькому відділі утримується така кількість тварин, яка забезпечує проведення навчальної та дослідної роботи із зоології та тваринництва.

Кормова база для тварин забезпечується за рахунок продукції сільськогосподарських культур, що вирощуються у відповідних відділах ділянки.

8. Дендрологічний відділ призначається для створення колекції деревних і кущових рослин, висаджених за систематичним, географічним або господарським принципом, а також для створення художньо-декоративних композицій, садово-паркової архітектури. Складовими дендрологічного відділу можуть бути розсадники деревних і кущових рослин.

9. Складовими плодово-ягідного відділу можуть бути плодовий сад, ягідник, виноградник та плодово-ягідний розсадник, де вирощують та розмножують кращі районовані й місцеві сорти плодових і ягідних культур, проводиться дослідницька робота з ними.

10. Закритий ґрунт (теплиці, парники тощо) використовується для проведення практичних занять, дослідницької роботи, вирощування овочевих і квітково-декоративних культур, розсади, розмноження плодово-ягідних і деревних рослин.

11. Відділ польових і відділ овочевих культур призначаються для вирощування сортів і гібридів основних сільськогосподарських культур певної природно-кліматичної зони та проведення дослідницької роботи. Сівозміни запроваджуються з урахуванням навчальних програм із природознавства, біології, трудового навчання та програм профільних творчих учнівських об'єднань.

12. Ділянка забезпечується підсобними приміщеннями, які використовуються для зберігання сільськогосподарського обладнання, інвентарю та аптечки першої допомоги. Біля підсобного приміщення влаштовують протипожежний куток.

Добрива та засоби захисту рослин зберігаються відповідно до інструкції виробника у спеціальній тарі з чіткими написами їх назв.

13. Навчальний заклад може мати додаткову земельну ділянку, відведену під багаторічні насадження, або площу для вирощування сільськогосподарських культур.

14. Ділянка забезпечується сільськогосподарським обладнанням та інвентарем відповідно до місцевих умов і вимог агротехнічного обробітку ґрунту.

15. Навколо ділянки повинен бути створений живопліт із декоративних кущів, витких рослин або влаштована штучна огорожа.

Земельна ділянка забезпечується водою для поливу рослин.

16. У районах, які зазнали наслідків від аварії на Чорнобильській АЕС, на ділянку повинен бути завезений ґрунт з екологічно чистих районів.

17. Вирощена на ділянці продукція може бути використана для потреб загальноосвітнього чи позашкільного навчального закладу або реалізована відповідно до пункту 44 Положення про позашкільний навчальний заклад, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 травня 2001 року № 433 та пункту 105 Положення про загальноосвітній навчальний заклад, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 27 серпня 2010 року № 778. Кошти від реалізації вирощеної продукції перераховуються на спецрахунок навчального закладу та використовуються в установленому законодавством порядку.

III. Зміст і організація діяльності учнів на ділянці

1. Основними напрямами діяльності учнів на ділянці є вирощування рослин і тварин, спостереження за їх ростом і розвитком, проведення практичних занять, дослідів згідно з відповідними навчальними програмами.

2. Дослідна та практична робота учнів на ділянці проводиться на основі знань, яких вони набули у процесі вивчення основ наук, з використанням досягнень сучасної науки, досвіду вирощування якісної сільськогосподарської продукції.

3. Для ефективної роботи на ділянці учнів об’єднують у гуртки, клуби, ланки, групи тощо.

4. Роботу учнів на ділянці організовують відповідно до плану, який є складовою річного плану роботи навчального закладу, якому належить ділянка.

План роботи на ділянці може складатися з таких розділів:

- планування території ділянки: розміщення відділів, полів сівозміни, розподіл території ділянки між класами (ланками, гуртками, групами продовженого дня);
- організація форм учнівських об’єднань (гуртки, клуби, ланки тощо), які працюють на ділянці;
- зміст і організація роботи (перелік рослин, тварин, що вирощують на ділянці: тематика спостережень та дослідів; список навчальних і наочних посібників, які планується підготувати; календарні терміни і порядок виконання учнями робіт, розклад навчальних занять, графік роботи учнів на ділянці, у тому числі у період навчальних практик);

• керівництво роботою учнів на ділянці (закріплення за відділами ділянки вчителів, класних керівників, вихователів груп продовженого дня, графік їх роботи у період навчальних практик);

• матеріальне забезпечення роботи на ділянці (визначення потреб у інвентарі, обладнанні, добривах, посівному та посадковому матеріалах, кормах для тварин тощо).

5. Навчально-виховна і дослідницька робота на закритому ґрунті та тваринницькій фермі здійснюється за окремим планом, який є складовою плану роботи на ділянці.

6. Керівником навчального закладу, у якому функціонує ділянка, призначається завідувач ділянки.

Завідувач ділянки за його бажанням може бути звільнений від обов'язків класного керівника, керівника творчого учнівського об'єднання.

7. Завідувач ділянки:

- відповідає за стан ділянки;
- організовує та контролює роботу учнів;
- організовує, координує та контролює роботу педагогічних працівників;
- складає на початку навчального року річний план роботи та господарсько-фінансовий кошторис ділянки;
- відповідає за неухильне виконання учнями та педагогічними працівниками, залученими до роботи на ділянці, правил техніки безпеки та санітарно-гігієнічних вимог;
- веде облік роботи учнів і педагогічних працівників;
- організовує участь учнів у звітних і презентаційних виставках;
- подає пропозиції керівнику навчального закладу, педагогічній раді щодо використання коштів, отриманих від реалізації продукції, вирощеної на навчально-дослідній земельній ділянці, одержаного врожаю з ділянки; про відзначення кращих класів, ланок, гуртків, груп, окремих учнів;
- складає річний звіт про навчальну й дослідницьку роботу учнів на ділянці та подає його на розгляд педагогічної ради.

8. Оплата за завідування ділянкою здійснюється відповідно до статті 22 Закону України "Про позашкільну освіту".

9. Підведення підсумків робіт на ділянці проводять на початку кожного навчального року.

У межах звіту про роботу учнів на ділянці можуть організовувати виставки, ярмарки, свято врожаю тощо.

10. У разі відсутності у навчальному закладі ділянки учні можуть здійснювати відповідні роботи на ділянках позашкільних навчальних закладів еколого-натуралістичного напряму, сільськогосподарських підприємств, дендропарків, ботанічних садів тощо.

IV. Охорона праці учнів на ділянці

1. У процесі роботи учнів на ділянці забезпечується раціональний режим праці й відпочинку та дотримання учнями правил техніки безпеки і

санітарно-гігієнічних вимог згідно з Положенням про організацію роботи з охорони праці учасників навчально-виховного процесу в установах і навчальних закладах, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 1 серпня 2001 року № 563, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 20 листопада 2001 року за № 969/6160 (далі – Положення про організацію роботи з охорони праці).

2. Учнів допускають до роботи на ділянці лише після проведення з ними інструктажу та перевірки знань з охорони праці. Інструктаж з охорони праці проводиться відповідно до Положення про організацію роботи з охорони праці.

Учні працюють на ділянці лише у денний час та не допускаються до роботи з отрутохімікатами.

V. Фінансування та матеріально-технічне забезпечення діяльності ділянки

Витрати на фінансування та матеріально-технічне забезпечення діяльності ділянки здійснюються за рахунок коштів, не заборонених чинним законодавством України.

Додаток 4А до Положення про учнівські навчально-дослідні земельні ділянки (пункт 1 розділу ІІ)

Таблиця орієнтовних площ учнівських навчально-дослідних земельних ділянок для різних типів навчальних закладів

№ з/п	Тип навчального закладу	Орієнтовна площа ділянки (тис. м^2)
1	Загальноосвітній навчальний заклад І ступеня	5–15
2	Загальноосвітній навчальний заклад І–ІІ ступенів	5–20
3	Загальноосвітній навчальний заклад ІІ–ІІІ і ІІІ ступенів, професійно-технічний навчальний заклад	7–20
4	Позашкільний навчальний заклад районного (міського) підпорядкування	10–25
5	Позашкільний навчальний заклад обласного підпорядкування	5–20

Додаток 4Б до Положення про учнівські навчально-дослідні земельні ділянки (пункт 3 розділу ІІ)

Таблиця орієнтовних мінімальних площ об'єктів учнівської навчально-дослідної земельної ділянки

№ з/п	Назва відділу ділянки	Площа відділу ($м^2$)			
		Загально-освітні навчальні заклади І та І–ІІ ступенів	Загальноосвітні навчальні заклади І–ІІІ та ІІ–ІІІ ступенів, професійно-технічні навчальні заклади	Позашкільні навчальні заклади районного (міського) підпорядкування	Позашкільні навчальні заклади обласного підпорядкування
1	Колекційний	100	150	200	300
2	Селекційно-генетичний	200	200	200	200
3	Квітково-декоративний	250	500	350	500
4	Дендрологічний	500	1000	500	1000
5	Плодово-ягідний	500	700	700	1000
6	Польових культур	300	500	0	700
7	Овочевих культур	200	300	400	500
8	Закритого ґрунту (теплиці, парники)	10	15	20	30
9	Зоолого-тваринницький	20	30	30	50
10	Підсобні приміщення	30	40	50	60

Додаток 5

ПАСПОРТ

навчально-дослідної земельної ділянки _____
ЗОШ _____місто _____район_____
завідувач ділянкою_____ _____
має фах_____
педагогічний стаж_____

1. Площа дослідної ділянки _____
   а) розміщення ділянки – біля школи на відстані від школи;
   б) благоустрій ділянки – ділянка огороджена, є окремий вихід;
   (наявне підкреслити)
   в) відділки ділянки:
   польових культур_____(площа);
   овочевих культур_____(площа);
   плодово-ягідних культур_____(площа);
   квітково-декоративний _____ (площа);
   колекційний _____ (площа);
   селекційно-генетичний _____ (площа);
   зоолого-тваринницький_____ (площа);
   дендрологічний _____ (площа)
2. Проведення дослідницької роботи:
   Кількість дослідів:
   кількість дослідів за завданням вчених (вказати прізвище вчених вуз), передовиків с/г виробництва (вказати прізвище, місце роботи)
3. Закритий ґрунт:
   парники _____ (кількість, площа);
   теплиці _____(кількість, площа).
4. Документація ділянки:
   картотека ділянки _____ ;
   річний план роботи _____ ;
   польовий журнал_____ ;
   щоденники спостережень _____(їх кількість).
5. Позакласна робота на навчально-дослідній ділянці:
гуртки еколого-натуралістичного профілю: овочівників, рослинників, генетиків-селекціонерів, агрохіміків, садоводів, квітникарів, зоологів, акваріумістів, юних друзів природи, екологів та інші (вказати кількість наявних гуртків і в них учнів).
6. Матеріальна база для роботи на навчально-дослідній ділянці (наявність малогабаритної техніки, трактор тощо).

М.П. Директор школи

Додаток 6

Методика проведення дослідів на навчально-дослідній земельній ділянці (НДЗД)

Однією з умов успішного проведення дослідницької роботи у школі є правильна підготовка і організація учнівського колективу.

Завідувач навчально-дослідної земельної ділянки згідно з планом роботи на НДЗД розробляє тематику дослідів для кожного класу або гуртка юннатів і обговорює її з учнями.

Колективно розробляють робочий план досліду і розпочинають ведення щоденника дослідницької роботи.

Щоденник дослідницької роботи

учнів _____ класу _____школи
_____ району
_____ області
з досліду (тема)
200____рік

Щоденник може бути складений за такою формою:

1. Особистий склад ланки.
2. Культура.
3. Сорт.
4. Тема досліду.
5. Мета досліду.
6. Схема досліду, площа.
7. Місце проведення досліду.
8. Характеристика рельєфу і ґрунту.
9. Характеристика культури.
10. План агрозаходів.
11. Щоденний облік роботи.
12. Схема фенологічних спостережень.
13. Наслідки досліду.
14. Висновки.

Перед закладанням досліду потрібно провести заняття на тему "Методика закладання і проведення польового досліду" і ознайомити юннатів з поняттями: дослідна ділянка, облікова площа, захисна смуга, повторність досліду, варіанти досліду, виключка.

Польовий дослід – це дослідження життя рослин у польових умовах на спеціально відведених ділянках для встановлення кількісного впливу умов або прийомів вирощування на врожай сільськогосподарських рослин та його якість. Польовий дослід повинен бути точним і достовірним. Під точністю розуміють ретельне додержання всіх правил методики і агротехніки закладання та проведення досліду, виконання всієї програми

спостережень і досліджень. Польовий дослід повинен відповідати принципу єдиної відмінності. Наприклад, якщо поставлено завдання вивчити терміни посіву, то варіанти досліду відрізняються тільки термінами посіву, решта умов (обробіток ґрунту, якість насіння, терміни сівби і норми висіву, догляд за посівами тощо) в усіх варіантах мусять бути однаковими і проводитись в один день.

Правильно проведені польові досліди дають необхідні результати, які можна використати для розробки й наукового обґрунтування різних агротехнічних прийомів. Усі практичні рекомендації щодо вирощування сільськогосподарських культур ґрунтуються, головним чином, на результатах польових дослідів.

Дослідна ділянка – це частина поля, виділена для проведення досліду. Від правильного вибору дослідної ділянки значною мірою залежать точність досліду і достовірність його результатів. Бажано, щоб ґрунт ділянки був однорідним і типовим для даної місцевості.

Рельєф повинен бути рівним, бо з нерівністю рельєфу пов'язана і різниця у родючості ґрунту. Не слід закладати досліди на ділянках з близьким заляганням ґрунтових вод, поблизу шляхів, ярів тощо.

Захисна смуга – частина дослідної ділянки, яка захищає посіви від зовнішніх впливів сусідніх ділянок, пошкоджень рослин. На шкільній ділянці ширина захисної смуги для зернових культур з повздовжнього боку 5–6 рядків і з поперечного 50–70 см, для просапних культур відповідно 2–3 рядки (50–70 см). Урожай із захисної смуги збирають окремо і до загального врожаю з дослідної ділянки не включають.

Варіанти досліду. У кожному досліді обов'язково повинен бути варіант, з яким порівнюють прийоми і фактори, що вивчають. Цей варіант називають контрольним або просто контролем (у сортовипробуванні контрольний сорт називають стандартом).

Варіант і ділянка – поняття різні. Кожний варіант містить стільки ділянок, у скількох повторностях закладено дослід.

Повторність досліду. Щоб домогтися більшої достовірності результатів, дослід потрібно повторити 2–3 рази і більше. Урожай збирають і обліковують окремо з кожного варіанта в усіх повторностях і виводять середнє арифметичне.

Виключка – це площа, яка випадає з обліку із загальної площі облікової ділянки через об'єктивні причини (вимерзання, вимокання тощо).

Форма і розмір дослідної ділянки. Точність досліду залежить від форми ділянки і її розмірів. При однакових розмірах видовжена ділянка повніше охоплює строкатість родючості ґрунту, ніж квадратна. Отже, при видовжених формах ділянок підвищується і точність досліду. Крім того, на такій ділянці зручніше виконувати агротехнічні заходи.

Площі ділянки для одного варіанта визначають, враховуючи піддослідну культуру, вимоги до точності досліду, наявність вільної площі, виходячи

з того, що чим більша площа живлення рослини, тим більшою повинна бути і площа ділянки.

На шкільній ділянці для навчально-польових дослідів розміри ділянки можуть бути: 10–20 м для зернових культур, 15–25 м – для просапних.

Етикетування дослідної ділянки

Розмір етикеток для дослідів має бути 30х20 см з таким змістом: назва культури, сорту, тема досліду, виконавці; для варіантів – 15х10 см із зазначенням номера варіанта і змісту.

Етикетки фарбують однаковою олійною фарбою, написи краще робити чорною лаковою фарбою.

Фенологічні спостереження під час проведення дослідів

У навчально-дослідній роботі велику роль відіграє систематичне ведення фенологічних спостережень. Спостереження за різними фазами росту і розвитку піддослідних рослин дають можливість юним дослідникам краще пізнати біологічні особливості сільськогосподарських рослин, допомагають зрозуміти вплив як усього комплексу агротехнічних заходів, так і дію досліджуваного фактора на рослини.

У процесі фенологічних спостережень потрібно врахувати зміну умов зовнішнього середовища, у якому перебувають рослини протягом вегетаційного періоду. Тому, поряд з фенологічними, слід вести й метеорологічні спостереження.

Мета фенологічних спостережень полягає у тому, щоб за зміною зовнішніх ознак встановити процес розвитку рослин. Ще до початку фенологічних спостережень юннати ознайомлюються з фазами росту і розвитку рослин і складають план (схему) спостережень.

Для цього відмічають час сівби і терміни основних фаз вегетації сільськогосподарських рослин.

Прийнято відмічати початок фази і повну фазу. Початок фази відмічають, коли у фенофазу вступило 10 % рослин, а повну – 75 % рослин. Кількість рослин, які вступили у фазу, визначають підрахунком або візуально.

У окремих груп сільськогосподарських рослин відмічають такі фази вегетації:

- озимі культури (пшениця, жито, ячмінь) – поява сходів, кущіння, відновлення вегетації навесні, вихід у трубку, колосіння, квітування, стиглість зерна (молочна, воскова і повна);
- ярі зернові культури (пшениця, ячмінь, овес, просо, сорго, рис) – сходи, кущіння, вихід у трубку, розгортання п’ятого листка, колосіння (викидання суцвіть), квітування (не відмічають у ячменю, просі, сорго), молочна, воскова і повна стиглість зерна;
- зернобобові культури (горох, соя, чина, сочевиця тощо) – сходи, поява третього справжнього листка, утворення суцвіть (бутонізація), квітування, достигання насіння;

- кукурудза – сходи, поява третього листка, кущіння (поява пасинків), викидання суцвіття, квітування чоловічих і жіночих квіток, молочно-воскова і повна стиглість зерна;

- гречка – сходи, розгортання першого листка, утворення суцвіть, квітування, достигання зерна;

- соняшник – сходи, утворення I–II пар справжніх листків, утворення суцвіть, квітування, достигання зерна.

У овочевих культур методикою досліджень прийнято відмічати такі фенофази:

Капуста – поява сходів, утворення 1, 3, 5 листків, висаджування розсади у відкритий ґрунт, утворення розетки, зав'язування головок, технічна стиглість.

Пасльонові (помідори, баклажани, перець) – висівання у парники, пікірування розсади, утворення 2–3 пар справжніх листків, висаджування розсади у відкритий ґрунт, бутонізація, початок квітування, масове квітування, зав'язування плодів, поява поодиноких плодів бурої стиглості, час першого і останнього збирання врожаю, засихання бадилля.

Гарбузові (огірки, гарбузи, кабачки, кавуни, дині) – сходи, розгортання першого і трьох справжніх листків, утворення бічних пагонів, бутонізація, квітування, зав'язування плодів, достигання.

Коренеплоди (цукрові, кормові, столові буряки, турнепс, морква та ін.) – сходи, фаза вилочки, поява другої пари справжніх листків, початок потовщення кореня, змикання міжрядь, утворення коренеплодів, пожовтіння нижніх листків, технічне достигання.

Картопля – сходи (перші і масові), бутонізація, квітування (початок і кінець), в'янення бадилля, технічне достигання.

Цибуля, часник – висівання, поява сходів, утворення цибулин, вилягання пера, збирання врожаю.

Протягом вегетаційного періоду потрібно визначати густоту стояння рослин, висоту рослин на дослідний і контрольній ділянках, а також підібрати рослини для гербарію у різні фази розвитку.

Особливо важливим і необхідним елементом дослідницької роботи є знання і свідоме виконання дітьми вимог, правил техніки безпеки, дотримання норм виробничої санітарії і особистої гігієни.

Основні правила безпеки сільськогосподарської праці

1. Сільськогосподарські роботи належить виконувати в зручному робочому одязі, у вільному взутті, головному уборі.

Добавлено примечание ([U3]): ???

2. Сільськогосподарський інвентар потрібно переносити робочою частиною вниз, а після роботи приводити до порядку і класти в інвентарну повітку підсобного приміщення.

3. Колючі і ріжучі інструменти (садові ножі, секатори) необхідно тримати робочою частиною у напрямку від себе.

4. Роботи виконувати у рукавицях. Добрива і розчини готувати у гумових рукавицях.

5. Після роботи добре вимити руки з милом і насухо їх витерти.

6. При догляді за тваринами суворо дотримуватися правил особистої гігієни. Для цього акуратно працювати, щоб гній, залишки корму не потрапляли на обличчя, одяг, взуття.

7. Якщо немає потреби, то не слід торкатися тварин руками, і в жодному разі їх не дражнити.

8. На фермі не можна шуміти, бігати, голосно розмовляти через те, що це може негативно позначитись на продуктивності тварин.

9. При вході на територію ферми продезінфікувати підошву взуття на килимку, просоченому спеціальним розчином, щоб не занести на ферму збудників інфекційних хвороб.

10. Не можна підходити близько до машин і механізмів, що працюють. Не торкатися до рубильників, вимикачів і оголених дротів.

При цьому слід дотримуватися "Правил безпеки під час трудового навчання й літніх практичних робіт учнів 10–11 класів загальноосвітніх навчальних закладів у сільськогосподарському виробництві", зареєстрованими у Мін'юсті України від 15.12.1998 р. №793/3233 та затвердженими наказом Держнагляду охорони праці України від 16.11.1998 р. № 219 ДНАОП 9.2.30-1.03.1998 р. (Інформаційний збірник МО України № 10 1999 р.).

Перед виконанням робіт вчитель зобов'язаний провести з дітьми інструктаж з техніки безпеки згідно з інструкціями, затвердженими директором школи, і зробити відповідний запис у журналі обліку проведення інструктажів.

Додаток 7

Польовий журнал дослідницької роботи

в _____сівозміні
навчально-дослідної ділянки _____школи
(району, області)

I. Ротаційна таблиця _____сівозміни

II. Загальні відомості

1. Площа сівозміни.
2. Площа одного поля.
3. Рельєф.
4. Механічний склад ґрунту.
5. Реакція ґрунту (РН).

III. Рік проведення: 20___рік

IV. Поле № 1.

а) культура _____;
б) сорт _____;
в) мета досліду:

Схема досліду	Площа	Попередник	Спосіб висівання	Час висівання	Фенологічні спостереження (за фазами розвитку) відповідно до кожної культури	Врожай	
						ділянки	перерахунок на 1 га
1. 2. 3.							

V. План агротехнічних заходів.

VI. Поле № 2 і усі наступні поля оформляються так, як поле № 1. Польовий журнал ведеться окремо по польовій, овочевій сівозмінах і по сівозміні плодово-декоративного розсадника та шкілки і розрахований на весь період ротації полів.

Між полями сівозміни роблять доріжки 1 м завширшки і центральну доріжку завширшки 2 м. Кожне поле сівозмін нумерують і виставляють на ньому номерний знак.

Для нотаток

Навчальне видання

Гавій Валентина Миколаївна,
Приплавко Світлана Олександрівна,
Коваленко Світлана Олександрівна,
Сенченко Галина Григорівна

ҐРУНТ ЯК ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

Навчальний посібник

Технічний редактор – І. П. Борис
Верстка, макетування – Н. О. Приходько
Літературний редактор – О. М. Лісовець

Підписано до друку 28.09.17 р. | Формат 60x84/16 | Папір офсетний
Гарнітура ComputerModern | Обл.-вид. арк. 9,70 | Електронне видання
Замовлення № 105 | Ум. друк. арк. 11,04

Ніжинський державний університет
імені Миколи Гоголя.
м. Ніжин, вул. Воздвиженська, 3/4
(04631)7-19-72
E-mail: vidavn_ndu@ukr.net
www.ndu.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 2137 від 29.03.05 р.