
ФІЗИОЛОГІЯ РОСЛИН

УДК 631.527:633.14"324"
DOI 10.31654/2786-8478-2023-BN-2-37-46

Симоненко Н. В.

науковий співробітник,
Національний Науковий Центр Інститут землеробства
Національної академії аграрних наук України
ninaskoryk2@ukr.net
orcid.org/0000-0001-9327-5828

Скорик В. В.

викладач кафедри загального землеробства,
Уманський національний аграрний університет
skorik-v@ukr.net
orcid.org/0009-0008-8715-8826

**ОПІРНИСТЬ КОРОТКОСТЕБЛОВОГО ЖИТА ОЗИМОГО
ЩОДО НАКОПИЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У ЗЕРНІ**

Перспективним напрямком селекції жита озимого в Україні є створення сортів толерантних щодо накопичення екотоксикантів, важких металів, радіонуклідів особливо у забруднених від військових дій чи техногенного впливу місцях. Ці властивості сортів жита повинні поєднуватись із короткостебловістю, високою стійкістю рослин до вилягання, крупним зерном високої якості цільового використання для хлібопечення, кормовиробництва, глибокої переробки, що дозволить отримувати екологічно безпечну житню сировину.

Метою роботи було вивчити сортові особливості короткостеблового жита озимого різних морфотипів щодо рівня накопичення екотоксикантів, а також вивчити вплив погодних умов вирощування на здатність зразків акумулювати радіонукліди, намітити шляхи використання потенціалу зразків із стабільно низьким накопиченням радіонуклідів у селекційних програмах.

Визначення вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr у зерні короткостеблового жита озимого з альтернативними ознаками здійснювали гамма-радіометричним методом. Вихідний матеріал – 5 сортів і 25 популяцій жита озимого з альтернативними ознаками, які є носіями домінантної короткостебловості (ген Hl), резистентності до бурого і листового іржі (ген Rd), борошнистої роси (гени Er), стеблової іржі (ген Sr), рецесивної крупнозерності (гени Ig і tg).

Жито озиме не є активним аккумулятором радіонуклідів навіть у забруднених зонах, діапазон вмісту їх варіює в межах нижче ГДК: за цезієм 3,3 – 13,9 Бк/кг, за стронцієм 6,4 – 22,3 Бк/кг. Щодо вмісту ^{90}Sr розподіл зразків за групами накопичення близький до нормального, тоді, як за ^{137}Cs крива розподілу здвинута в бік зразків з низьким накопиченням. В якості вихідного матеріалу для селекції на стабільно низький сумарний вміст радіонуклідів – це зразки № 8 (Альдана), 20, 23 (Ласкаве).

Вихідним матеріалом для селекції на стабільно низьке накопичення радіонуклідів із низьким варіюванням ознаки є зразки № 8, 20, 23. Ці зразки доцільні для включення їх в асортимент зразків при вирощуванні жита у зонах техногенного забруднення, а також зразки № 12 (Оріана), 16, 24, Алатир. Зразки № 2 і 7 (іноземний гібрид і Єліка) можна використовувати у селекційних програмах, як стандарти, що характеризуються найбільш високим рівнем вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr .

Ключові слова: короткостеблове жито озиме, накопичення радіонуклідів у зерні, стронцій, цезій.

Вступ. Висока інтенсивність бойових дій росії в Україні з 2014 року разом спричинила широкомасштабну деградацію довкілля через забруднення вибуховими речовинами снарядів і ставить під сумнів безпечність використання земель, які вже постраждали в результаті аварій Чорнобильської АЕС (1987 рік). І це є головною екологічною проблемою України [1, 5, 8, 11, 14, 19, 21].

На ступінь кореневого і фоліарного забруднення рослин токсичними металами Pb, Cu, Ni і дозоутворюючими радіонуклідами ^{137}Cs і ^{90}Sr (полютанти), а також на загальну адаптивність рослин при інших антропогенних впливах мають значення збалансованість елементів живлення, оптимальна густина стеблестою, наявність воскового покриття, опушення рослини, їх гетерозисний стан, інші фактори. Фізіологічні механізми, що нормалізують процеси обміну і метаболізм рослин підвищують стійкість щодо внутрішньої детоксикації сполуками вибухових речовин деяких рослин, роблять їх толерантними до радіоактивного забруднення. Тобто, вміст у рослинах радіонуклідів – це показник забруднення середовища, а також збалансованості системи організму, фітоценозу і біоценозу [4, 13, 17, 20].

Жито озиме належить до рослин ексклюдерів, тобто накопичує у вегетативній масі низький вміст токсичних елементів – ртуть, мідь, кадмій і свинець. Це важливо для чистоти харчових ланцюгів із збереженням високої продуктивності зеленої маси і зернової продукції жита, що в кінцевому результаті зберігає здоров'я людей, оскільки жито озиме є головною хлібною культурою українців і першою весняною зеленою масою для худоби. Накопичення у зерні жита радіонуклідів стронцій-90 і цезій-137 небезпечно тим, що стронцій є хімічним аналогом кальцію, який накопичується у скелеті людини і вражає систему кровотворення; цезій в обмінних процесах близький до калію і входить до складу крові і м'язів, пригнічує функцію кісткового мозку [2, 12, 15–16, 18].

Виявлення і створення сортів жита озимого толерантних щодо накопичення екотоксикантів, важких металів, радіонуклідів особливо у забруднених від військових дій чи техногенного впливу місцях є актуальним. Всі ці показники сортів жита мають поєднуватись із короткостебловістю, високою стійкістю рослин до вилягання, крупним зерном високої якості цільового використання для хлібопечення, кормовиробництва, глибокої переробки. Це дозволить отримувати екологічно безпечну житню сировину [9–10].

Мета роботи – оцінити вихідний матеріал короткостеблових жита озимого з альтернативними ознаками на стабільно низьке накопичення екотоксикантів, вивчити вплив погодних умов вирощування щодо здатності зразків акумулювати радіонукліди і намітити шляхи використання їх потенціалу в селекційних програмах.

Матеріали і методи. Дослідження проведено у 2020–2022 роках в умовах польової сівозміни зерно-бобових культур Національного Наукового Центру Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України, Фастівський район Київської області, що територіально належить до правобережної зони Північного лісостепу України. Експериментальний матеріал для досліджень – це зерно 30 зразків жита: 5 з них – це комерційні сорти, що характеризуються високими показниками якості зерна для хлібопечення і кормовиробництва, а також 25 синтетичні популяції, що є джерелами і донорами цінних ознак. Притаманними ознаками цього матеріалу є поєднання в одному генотипі домінантної короткостеблості (ген *Hl*), крупності зерна (гени *Ig* і *tg*) з полігенним контролем резистентності проти грибкових хвороб (збудники роду *Fusarium* Link.), борошнисто-росяні (*Erysiphe graminis* f. sp. *Secalis*) та іржасті (*Puccinia recornita* f. sp. *Recornita*) – гени *Er*, *Rd*, *Sr*. Серед них вісім короткостеблових синтетичних популяцій з такими альтернативними ознаками, як відсутність воскового покриття на рослині, еректоїдне розміщення листя у просторі, відсутність лігули на стеблі, відсутність антоціанового забарвлення сходів. Вміст ^{137}Cs і ^{90}Sr у зерні жита озимого визначали за допомогою гамма-радіометричного методу [3, 6, 7, 9, 10].

Результати досліджень та їх обговорення.

Крім мікронутрієнтів – основних вітамінів і мінеральних речовин – із продукцією зернових культур в організм людини і тварин надходять радіонукліди. Ця проблематика стосується земель, що забруднені екотоксикантами. Полютанти, зокрема дозоутворюючі радіонукліди ^{137}Cs і ^{90}Sr , можуть проникати у рослину в результаті безпосереднього осідання і поглинання їх фотосинтезуючим апаратом рослини. Але, все-таки,

переважна кількість радіонуклідів надходять у рослину із ґрунту. Селекція щодо зменшення накопичення радіонуклідів у зерновій продукції є найбільш радикальним і екологічно виправданим засобом зниження постачання їх з їжею.

Здатність різних сільськогосподарських культур накопичувати радіонукліди має виражену видову і сортову специфіку, що залежить від стану забруднення ґрунту, його гранулометричного складу, рН, від співвідношення ізотопних і неізотопних носіїв радіонуклідів, для ^{90}Sr і ^{137}Cs це кальцій і калій, відповідно. Відмічено інтенсивність накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr в частинах рослин і за часом вегетаційного періоду. Є певні відмінності накопичення радіонуклідів у рослинах злаків за роками досліджень, до того ж коефіцієнт накопичення в рослинах стронцію значно вищий, ніж цезію.

Дослідження щодо акумуляції радіоактивних елементів в зерні жита озимого практично не проводились. Ми проаналізували колекційний розплідник короткостеблового жита озимого з альтернативними ознаками власної селекції за вмістом накопичення радіонуклідів у зерні. За результатами досліджень концентрації ^{137}Cs і ^{90}Sr у зерні короткостеблового жита проявляються відмінності між сортами і популяціями за метеорологічними умовами вегетаційного періоду.

В умовах правобережної зони Північного лісостепу України накопичення полюантів – радіонуклідів невисоке, залежно від року і зразка, що варіювало від 3,3 до 10,3 Бк/кг за цезієм, що майже у 30 разів нижче гранично допустимої концентрації (ГДК). За стронцієм вміст змінюється від 6,4 до 18,7 Бк/кг, що більш ніж у 20 разів нижче ГДК (таблиці 1 і 2) [7].

Таблиця 1

Рівень вмісту ^{137}Cs у зерні зразків жита озимого, Бк/кг, 2020 – 2022 роки

| Зразок, донорські гени | Роки досліджень | | | Середнє за роками | Група за рівнем накопичення | Cve, % |
|---|-----------------|------|------|-------------------|-----------------------------|--------|
| | 2020 | 2021 | 2022 | | | |
| Алатир, st. | 4,0 | 5,7 | 8,8 | 6,2 | II | 39,2 |
| № 8 – Альдана | 5,9 | 5,9 | 7,4 | 6,4 | II | 13,5 |
| № 12 – Оріана | 3,4 | 5,8 | 8,5 | 5,9 | I | 43,2 |
| № 23 – Ласкаве | 4,1 | 6,4 | 6,4 | 5,6 | I | 23,6 |
| № 1 – F ₃₁ Sintetic-6/НІ-1НІ-1, забарвлені лігули (Vil) | 3,6 | 6,3 | 6,6 | 5,5 | I | 30,2 |
| № 2 – іноземний зразок | 4,8 | 6,8 | 12,4 | 8,0 | IV | 49,2 |
| № 3 – Єліка | 4,8 | 8,3 | 10,0 | 7,7 | IV | 34,4 |
| № 7 – Левітан (багатоквітковий) | 6,4 | 7,4 | 11,9 | 8,6 | IV | 34,0 |
| № 4 – F ₃₅₋₃₆ Інтеркрос х Імунер-76, еректний кущ (P) | 3,7 | 8,0 | 7,8 | 6,5 | II | 37,3 |
| № 5 – F ₃₅₋₃₆ Інтеркрос х Імунер-76, розлогий кущ (p) | 3,4 | 7,3 | 8,1 | 6,3 | II | 40,1 |
| № 6 – Довге зерно (lg, tg) | 4,0 | 8,5 | 10,3 | 7,6 | III | 42,7 |
| № 13 – F ₂₅ НІ-2 з довгим колосом / Крупнозерне | 3,7 | 5,9 | 8,9 | 6,2 | II | 42,3 |
| № 15 – НІ-2НІ-2wswcelelapan | 3,3 | 5,5 | 6,6 | 5,1 | I | 32,7 |
| № 16 – F ₃₆ Кустро / Кустро х Імунер-76 | 3,4 | 5,9 | 7,6 | 5,6 | I | 37,8 |
| № 19 – F ₁₄ (F ₂ wswc / ErEr) / PdPd / SrSr, звисаючий лист | 4,2 | 7,7 | 9,6 | 7,2 | III | 38,2 |
| № 20 – Крупнозерне / F ₂ wswcelel | 4,0 | 5,9 | 7,0 | 5,6 | I | 26,9 |

Продовження таблиці 1

| | | | | | | |
|--|------|------|------|------|-----|------|
| № 21 – F ₁₅ (WcWc / eel) / Крупнозерне | 5,3 | 6,3 | 9,0 | 6,9 | III | 27,9 |
| № 22 – HlHlwcwcelel, кругле зерно | 4,7 | 7,5 | 8,9 | 7,0 | III | 30,4 |
| № 24 – F ₁₃ [Hl-3 / ВПК] / Крупнозерне, пріоритет за Hl-3 | 3,9 | 6,7 | 9,5 | 6,7 | II | 41,8 |
| № 25 – F ₁₆ Hl-3Hl-3 / eel / wswc | 3,3 | 7,1 | 9,4 | 6,6 | II | 46,7 |
| Середнє за зразками | 4,2 | 6,7 | 8,8 | - | - | - |
| Cvg, % | 21,0 | 13,7 | 18,8 | 19 | - | - |
| НСР05 за фактором А (зразок) | | | | 1,0 | - | - |
| НСР 05 за фактором Б (рік) | | | | 6,5 | - | - |
| НСР05 відмінностей | | | | 0,59 | - | - |
| ГДК | | | | 130 | - | - |

Примітка: Hl – короткостебловість, Wc – наявний восковий наліт, wc – відсутність воскового нальоту, Pd – резистентність до бурої іржі, Sr – резистентність до стеблової іржі, Er – резистентність до борошнистої роси, El – повисла листова пластинка, el – еректна листова пластинка, Vil – забарвлена лігула, ap – безантоціанове забарвлення сходів, lg – довге зерно, tg – товсте зерно, P – еректний кущ, p – розлогий кущ

Таблиця 2

Рівень вмісту ⁹⁰Sr у зерні зразків жита озимого, Бк/кг, 2020 – 2022 роки

| Зразок | Роки досліджень | | | Середнє за роками | Група за рівнем накопичення | Cve, % |
|---|-----------------|------|------|-------------------|-----------------------------|--------|
| | 2020 | 2021 | 2022 | | | |
| Алатир, st. | 7,9 | 9,8 | 13,8 | 10,5 | II | 28,9 |
| № 8 – Альдана | 10,8 | 11,3 | 14,3 | 11,5 | II | 19,8 |
| № 12 – Оріана | 6,7 | 10,3 | 12,5 | 9,8 | I | 29,7 |
| № 23 – Ласкаве | 8,2 | 11,7 | 11,5 | 10,5 | II | 18,8 |
| № 1 – F ₃₁ Sintetic-6/Hl-1Hl-1, забарвлені лігули | 11,1 | 11,4 | 15,2 | 12,6 | III | 18,2 |
| № 2 – іноземний зразок | 10,6 | 10,5 | 19,3 | 13,5 | IV | 37,4 |
| № 3 – Єліка | 8,5 | 12,5 | 13,5 | 11,5 | II | 23,0 |
| № 7 – Левітан (багатоквітковий) | 12,6 | 11,3 | 18,7 | 14,2 | IV | 27,9 |
| № 4 – F ₃₅₋₃₆ Інтеркрос х Імунер-76, еректний кущ | 8,6 | 12,0 | 12,3 | 11,0 | II | 18,5 |
| № 5 – F ₃₅₋₃₆ Інтеркрос х Імунер-76, розлогий кущ | 9,5 | 12,5 | 14,7 | 12,2 | III | 21,3 |
| № 6 – Довге зерно (lg, tg) | 9,2 | 12,7 | 16,3 | 12,7 | III | 27,9 |
| № 13 – F ₂₅ Hl-2 з довгим колосом / Крупнозерне | 8,8 | 10,8 | 15,7 | 11,8 | III | 30,2 |
| № 15 – Hl-2Hl-2wswcelelanap | 13,2 | 10,6 | 19,8 | 14,5 | IV | 32,6 |
| № 16 – F ₃₆ Кустро / Кустро х Імунер-76 | 7,7 | 9,8 | 13,3 | 10,3 | II | 27,6 |
| № 19 – F ₁₄ (F ₂ wswc/ErEr) / PdPd / SrSr, звисаючий лист | 7,5 | 9,8 | 12,8 | 10,0 | II | 26,3 |
| № 20 – Крупнозерне / F ₂ wswcelel | 8,5 | 8,3 | 11,5 | 9,4 | I | 19,0 |
| № 21 – F ₁₅ (WcWc/eel) / Крупнозерне | 7,6 | 10,5 | 10,9 | 9,7 | I | 18,3 |
| № 22 – HlHlwcwcelel, кругле зерно | 10,9 | 10,6 | 10,8 | 10,8 | II | 1,4 |
| № 24 – F ₁₃ [Hl-3/ВПК]/Крупнозерне, пріоритет за Hl-3 | 6,4 | 9,3 | 12,8 | 9,5 | I | 33,7 |
| № 25 – F ₁₆ Hl-3Hl-3/eel/wswc | 6,9 | 12,4 | 16,8 | 12,0 | III | 41,2 |
| Середнє за зразками | 9,1 | 10,9 | 14,4 | | | |
| Cvg, % | 21,1 | 10,9 | 19,0 | 18 | | |

Продовження таблиці 2

| | | | |
|------------------------------|-----|--|--|
| НСР05 за фактором А (зразок) | 1,7 | | |
| НСР 05 за фактором Б (рік) | 2,7 | | |
| НСР05 відмінностей | 1,1 | | |
| ГДК | 50 | | |

Примітка: *Hl* – короткостебловість, *Wc* – наявний восковий наліт, *wc* – відсутність воскового нальоту, *Pd* – резистентність до бурої іржі, *Sr* – резистентність до стеблової іржі, *Er* – резистентність до борошнистої роси, *EI* – повисла листова пластинка, *eI* – еректна листова пластинка, *Vil* – забарвлена лігула, *ap* – безантоціанове забарвлення сходів, *Ig* – довге зерно, *tg* – товсте зерно, *P* – еректний кущ, *p* – розлогий кущ

На загальну мінливість ознаки «накопичення радіонуклідів» у більшості зразків має суттєвий вплив екологічна складова, яка, залежно від зразка, змінна у межах $C_{ve} = 13 - 49\%$ для цезію і $C_{ve} = 1 - 41\%$ для стронцію. Вклад генетичної складової у міжсорткову мінливість невисокий – $C_{vg} = 14 - 21\%$ для цезію і $C_{vg} = 11 - 21\%$ для стронцію. Найменші відмінності між зразками для обох елементів були у вологих умовах 2020 вегетаційного року із середнім загальним рівнем накопичення радіонуклідів, де різниця між крайніми зразками склала всього 1,5 рази.

Порівняльна оцінка зразків за стабільністю накопичення радіонуклідів мала значні відмінності у характері їх розподілу (рисунки 1).

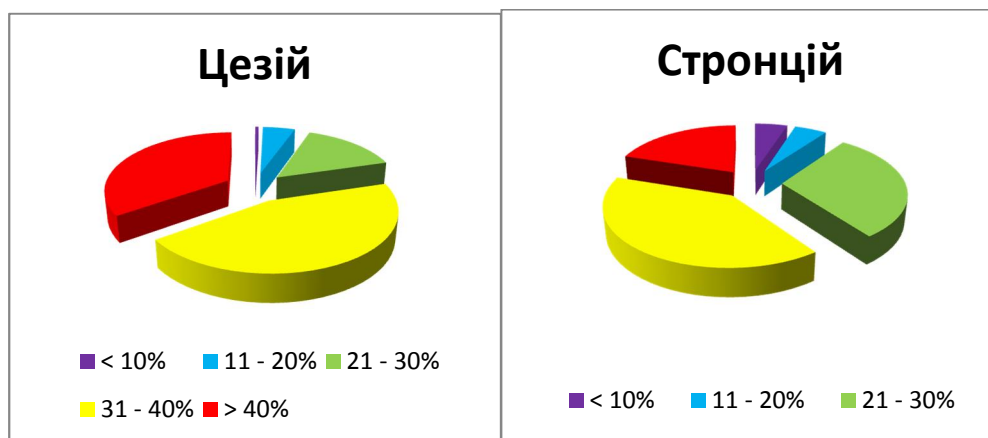


Рисунок 1. Розподіл зразків жита озимого за коефіцієнтом стабільності накопичення радіонуклідів (C_{ve}, %)

Кількість зразків з низьким (до 10%) і середнім (до 20%) ступенем варіювання за вмістом цезію був суттєво меншим, порівняно до стронцію, і в сумі склало від загального числа 5% і 35%, відповідно. Найбільш стабільний щодо накопичення ¹³⁷Cs тільки один зразок № 8, щодо ⁹⁰Sr – сім зразків: № 4, 8, 20, 21, 22, 23, Левітан, у яких C_{ve} < 20%, зразок № 22 (C_{ve}=1,4%).

Рівень накопичення радіонуклідів цезій і стронцій мають сортові відмінності і специфіку їх накопичення. Щодо середнього вмісту ¹³⁷Cs у зерні зразки жита були розділені на чотири групи:

I група – зразки із низьким рівнем накопичення (< 6 Бк/кг) – № 1, 12 (Оріана), 16, 15, 20, 23 (Ласкаве);

II група – із відносно низьким рівнем накопичення (6,0 – 6,8 Бк/кг) – Алатир (st.), № 1, 13, 5, 8 (Альдана), 24, 25;

III група – із середнім рівнем накопичення (6,9 – 7,7 Бк/кг) – № 6, 19, 21, 22;

IV група – з високим рівнем накопичення (> 7,7 Бк/кг) – № 7 (багатоквітковий сорт Левітан), 2 (іноземний гібрид), 3 (Єліка).

З метою виділення вихідного матеріалу для селекції на стабільно низький рівень накопичення цезію особливий інтерес мають шість зразків першої групи, а також сорт Альдана (№ 8) із другої групи, що характеризуються високою стабільністю прояву ознаки. Найбільш високий рівень вмісту ¹³⁷Cs вище 7,9 Бк/кг характеризуються сорти Левітан (№ 7), Єліка (№ 3) і іноземний гібрид (№ 2), які можна рекомендувати,

як контрасні форми під час вивчення закономірностей прояву і успадкування селекційної ознаки у нащадків.

Щодо накопичення ^{90}Sr зразки жита теж можна розділити на чотири групи:

I – < 10 Бк/кг – № 12 – Оріана і крупнозерні зразки № 20, 21, 24;

II – 10,0 – 11,5 Бк/кг – Алатир (st.), № 8 (Альдана), № 3 (Єліка), 4, 16, 19, 22, 23 (Ласкаве);

III – 11,6 – 13,0 Бк/кг – № 1, 5, 6, 13, 25;

IV – > 13,0 Бк/кг – № 7 (Левітан), 2 (іноземний гібрид), 15.

Серед зразків першої групи для селекції на стабільно низький вміст стронцію мають інтерес зразки № 20, 21, а з другої групи – № 22, 4, 23, у яких коефіцієнт екологічної мінливості за даною ознакою нижче 20%.

Здатність накопичення високий чи низький рівень вмісту певного хімічного елемента певним видом рослин не відповідає такій же здатності відносно іншого хімічного елемента. Число зразків, що належать до аналогічних груп за рівнем накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr у зерні жита невелике. Низький рівень вмісту обох елементів відмічено у зразків № 12 (Оріана), 4, 8 (Альдана), 6, 7 (Левітан), 2 (іноземний гібрид).

Важлива особливість щодо накопичення радіонуклідів у зерні жита є те, що за вмістом ^{90}Sr розподіл зразків за групами накопичення наближений до нормального, тоді як за ^{137}Cs розподіл асиметричний зі зміщенням у бік зразків з низьким накопиченням цього елемента.

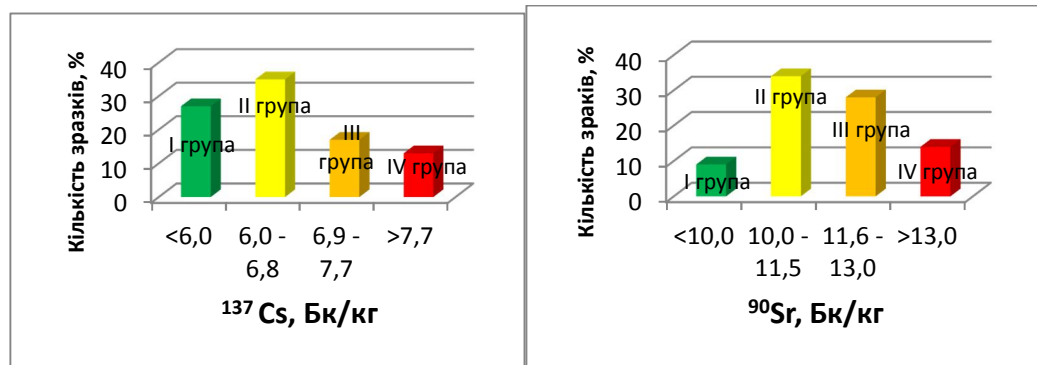


Рисунок 2. Розподіл зразків жита озимого відповідно груп накопичення радіонуклідів у зерні, 2020 – 2022 роки

Специфіка розподілу варіаційних рядів за рівнем накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr вказує на необхідність різного методичного підходу на початкових етапах селекційної роботи за кожним із досліджуваних елементів. Ймовірність виділення цінних форм з низьким рівнем накопичення цезію у випадковому доборі генотипів досить висока, тоді, як зустріваність форм з низьким накопиченням ^{90}Sr незначна. За цим елементом для добору на селектовану ознаку необхідно розширене вивчення, залучення великої кількості матеріалу або ведення синтетичної селекції для створення нових цінних форм.

Вихідним матеріалом для селекції на стабільно низьке накопичення радіонуклідів можна виділити зразки із низьким варіюванням ознаки – № 8 (Альдана), 20, 23 (Ласкаве). Ці зразки доцільні для включення їх в асортимент зразків при вирощуванні жита у зонах техногенного забруднення, а також зразки № 12 (Оріана), 16, 24, Алатир. Зразки № 2 і 7 (Єліка і іноземний гібрид) можна використовувати у селекційних програмах як стандарти, що характеризуються найбільш високим рівнем вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr .

Висновки. В результаті проведеної роботи відпрацьовано підхід щодо оцінки і ранжування зразків жита озимого щодо стабільно низького накопичення екотоксикантів, проведена оцінка короткостеблових сортів і популяцій з альтернативними ознаками власної селекції щодо специфіки накопичення радіонуклідів стронцію і цезію, що дозволило визначити основні напрямки селекції на покращення якості зерна. Встановлено, що жито озиме не є активним аккумулятором радіонуклідів навіть у забруднених зонах, діапазон вмісту їх варіює в межах нижче ГДК: за цезієм 3,3 – 13,9 Бк/кг, за стронцієм 6,4 – 22,3 Бк/кг. Щодо вмісту ^{90}Sr розподіл зразків за групами

накопичення близький до нормального, тоді, як за ^{137}Cs крива розподілу здвинута в бік зразків з низьким накопиченням. В якості вихідного матеріалу для селекції на стабільно низьке сумарне накопичення радіонуклідів за оцінкою залежно від умов вегетаційного періоду (умови року) виділено зразки № 8 (Альдана), 20, 23 (Ласкаве), які ми рекомендуємо для включення в сортимент сортозразків при вирощуванні жита озимого в зонах техногенного забруднення, де підвищений вміст радіонуклідів у ґрунті, оскільки ці зразки найменше накопичують радіонуклідів у зерні.

Література

1. Ведення сільськогосподарського виробництва на територіях, забруднених внаслідок Чорнобильської катастрофи, у віддалений період: рекомендації / за ред. Б.С. Прістера. Київ: АТІКА, 2007. 196 с.
2. Жито повертається. URL: <https://u.to/vy7YHA> (дата звернення: 20.01.2023).
3. Левчук С. Довідник по основних методах визначення активності радіонуклідів – Київ, 2016. 119 с.
4. Луцишин О. Г., Шандра О. В., Палапа Н. В. Вплив техногенного забруднення на функціональний стан зелених зон Київського мегаполісу. *Захист довкілля від антропогенного навантаження*. Київ, 2008. Вип. 17. С. 76–87.
5. Математичні моделі та експериментальні дані про поширення радіонуклідів у ґрунтах: монографія / В. Є. Гончарук, Г. Т. Лянце, Є. Я. Чапля, О. Ю. Чернуха; відп. ред. Я. Й. Бурак; НАН України, Центр мат. моделювання Ін-ту приклад. проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача. Львів: Растр-7, 2014. 244 с.
6. Методичний посібник з організації проведення науково-дослідних робіт в галузі сільськогосподарської радіології. Київ, 1992. 136 с.
7. Перепелиця О. П. Властивості та екологічний вплив хімічних елементів. Довідник. За редакцією академіка НАН України В. В. Скопенка. Київ: Вентурі, 1997. 192 с. ISBN5-09-002946-6
8. Радіаційно-екологічні аспекти використання забруднених земель у віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС / О. І. Дутов, В. П. Ландін, А. О. Мельничук, О. І. Гриник. *Агроекологіч. журн.* 2015. № 1. С. 115–120.
9. Симоненко Н. В. Вміст білка у зерні сортів жита озимого (*Secale cereale* L.) і його успадкування гібридами. *Colloquium journal*. 2022. № 4 (127). С. 31–35. DOI:10.24412/2520-6990-2022-4127-31-35.
10. Скорик Вікт. В. Генетична характеристика донора домінантної короткостеблості і крупності зерна жита озимого (*Secale cereale* L.) / Вікт. В. Скорик, Волод. В. Скорик, Н. В. Симоненко, О. П. Скорик. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2010. № 1. С. 5–12. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr_2010_1_3
11. Чумаченко С. М., Яковлев Є. О. Еколого-техногенні загрози для відновлення Донбасу на засадах збалансованого розвитку. *Матеріали конференції «Перспективи відновлення Сходу України на засадах збалансованого розвитку»*. м. Слов'янськ. 2017. С. 24–25.
12. Baraquoni, N.A., Qouta, S.R., VĚanskĚa, M., Diab, S.Y., PunamĚaki, R.L., Manduca, P., 2020. It takes time to unravel the ecology of war in Gaza, Palestine: longterm changes in maternal, newborn and toddlers' heavy metal loads, and infant and toddler developmental milestones in the aftermath of the 2014 military attacks. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 17 (18), 6698. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph17186698>
13. Dimitrios Kalderis, Albert L. Juhasz, Raj Boopathy, and Steve Comfort. Soils contaminated with explosives: Environmental fate and evaluation of state-of-the-art remediation processes (IUPAC Technical Report) *Pure Appl. Chem.*, Vol. 83, No. 7, pp. 1407–1484, 2011. doi:10.1351/PAC-REP-10-01-05
14. Distribution of natural and artificial radionuclides in chernozem soil/crop system from stationary experiments / B. Nataša Sarap, M. Milica Rajačić, G. Ivica Đalović at al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. Iss. 17. P. 17761–17773.
15. Manduca P., Al Baraquani N., Parodi S., 2020. Long term risks to neonatal health from exposure to war-9 Years long survey of reproductive health and contamination by weapon-delivered heavy metals in Gaza, Palestine. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 17 (7), 2538. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph17072538>
16. Rehman K., Fatima F., Waheed I., Akash M.S.H., 2018. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *J. Cell. Biochem.* 119 (1), 157–184. URL: <https://doi.org/10.1002/jcb.26234>

17. Robinson B.H., Bischofberger S., Stoll A., Schroer D., Furrer G., Roulier S., Gruenwald A., Attinger W., Schulin R., 2008. Plant uptake of trace elements on a Swiss military shooting range: uptake pathways and land management implications. *Environ. Pollut.* 153 (3), 668–676. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.08.034>
18. Savabieasfahani M., Alaani S., Tafash M., Dastgiri S., Al-Sabbak M., 2015. Elevated titanium levels in Iraqi children with neurodevelopmental disorders echofindings in occupation soldiers. *Environ. Monit. Assess.* 187 (1), 4127. URL: <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4127-5>
19. Singh S. N., Mishra S., 2014. Phytoremediation of TNT and RDX. In: Singh, S.N. (Ed.), *Biological remediation of explosive residues*. Springer, Cham, pp. 371–392.
20. Via S.M. (2020) *Phytoremediation of Explosives*. In: Shmaefsky B. (eds) *Phytoremediation. Concepts and Strategies in Plant Sciences*. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_8
21. Yakovliev Y., Chumachenko S. *Assessment of ecological hazards in Donbas impacted by the armed conflict in eastern Ukraine*. Geneva. Centre for Humanitarian Dialogue. 2017. 60 p.

References

1. (2007). *Vedennia silskohospodarskoho vyrobnytstva na terytoriakh, zabrudnennykh vnaslidok Chornobylskoi katastrofy, u viddalenyi period* [Agricultural production in the territories contaminated by the Chernobyl disaster in the remote period]. B.S. Pristera (Ed.). Kyiv: ATiKA [in Ukrainian].
2. *Zhyto povertaietsia* [Rye is coming back]. URL: <https://u.to/vy7YHA> (data zvernennia: 20.01.2023) [in Ukrainian].
3. Levchuk S. (2016). *Dovidnyk po osnovnykh metodakh vyznachennia aktyvnosti radionuklidiv* [Handbook on the main methods of determining the activity of radionuclides]. Kyiv [in Ukrainian].
4. Lutsyshyn, O.H., Shandra, O.V. & Palapa, N.V. (2008). Vplyv tekhnohennoho zabrudnennia na funktsionalnyi stan zelenykh zon Kyivskoho mehapolisu [The impact of man-made pollution on the functional state of green areas of the Kyiv metropolis]. *Zakhyst dovkillia vid antropohennoho navantazhennia – Protection of the environment from anthropogenic load*. Issue 17. P. 76–87. Kyiv [in Ukrainian].
5. (2014). *Matematychni modeli ta eksperymentalni dani pro poshyrennia radionuklidiv u hruntakh* [Mathematical models and experimental data on the spread of radionuclides in soils]. V.Ye. Honcharuk, H.T. Liantse, Ye.Ya. Chaplia & O.Yu. Chernukha (Ed.). (Ya.Y. Burak (Eds.)). Lviv: Rastr-7 [in Ukrainian].
6. (1992). *Metodychnyi posibnyk z orhanizatsii provedennia naukovo-doslidnykh robit v haluzi silskohospodarskoi radiolohii* [Methodical manual for the organization of research works in the field of agricultural radiology]. Kyiv [in Ukrainian].
7. Perepelytsia, O.P. (1997). *Vlastyvosti ta ekolohichni vplyv khimichnykh elementiv*. [Properties and environmental impact of chemical elements]. (V.V. Skopenka (Eds.)). Kyiv: Venturi IBSN5-09-002946-6 [in Ukrainian].
8. (2015). *Radiatsiino-ekolohichni aspekty vykorystannia zabrudnennykh zemel u viddalenyi period pislia avarii na Chornobylskii AES* [Radiation and ecological aspects of the use of contaminated land in the remote period after the accident at the Chernobyl NPP]. O.I. Dutov, V.P. Landin, A.O. Melnychuk, O.I. Hrynyk (Ed.). *Ahroekolohich. zhurn. – Agroecology. magazine*. No 1. P. 115–120 [in Ukrainian].
9. Symonenko, N.V. (2022). *Vmist bilka u zerni sortiv zhyta ozymoho (Secale cereale L.) i yoho uspadkuvannia hibrydamy* [Protein content in grains of winter rye varieties (Secale cereale L.) and its inheritance by hybrids]. *Colloquium journal*. No 4 (127). P. 31–35 [in Ukrainian].
10. Skoryk Vikt. V. (2010). *Henetychna kharakterystyka donora dominantnoi korotkosteblosti i krupnosti zerna zhyta ozymoho (Secale cereale L.)* [Genetic characteristics of the donor of dominant shortness and grain size of winter rye (Secale cereale L.)]. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn*. № 1. P. 5–12. [in Ukrainian].
11. Chumachenko, S.M. & Yakovliev, Ye.O. (2017). *Ekoloho-tekhnohenni zahrozy dlia vidnovlennia Donbasu na zasadakh zbalansovanoho rozvytku* [Ecological and man-made threats to the restoration of Donbas on the basis of balanced development]. Sloviansk [in Ukrainian].
12. Baraquoni, N.A., Qouta, S.R., VĚanskĚa, M., Diab, S.Y., PunamĚaki, R.L., Manduca, P. (2020). It takes time to unravel the ecology of war in Gaza, Palestine: longterm changes in maternal, newborn and toddlers' heavy metal loads, and infant and toddler

developmental milestones in the aftermath of the 2014 military attacks. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health*. 17 (18), 6698. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph17186698> [in English].

13. Dimitrios Kalderis, Albert L. Juhasz, Raj Boopathy, and Steve Comfort (2011). Soils contaminated with explosives: Environmental fate and evaluation of state-of-the-art remediation processes (IUPAC Technical Report) *Pure Appl. Chem.* Vol. 83. No 7. P. 1407–1484. DOI:10.1351/PAC-REP-10-01-05 [in English].

14. (2016). Distribution of natural and artificial radionuclides in chernozem soil/crop system from stationary experiments. B. Nataša Sarap, M. Milica Rajačić, G. Ivica Đalović et al. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 23. Issue 17. P. 17761–17773 [in English]

15. Manduca, P., Al Barauni, N. & Parodi, S. (2020). Long term risks to neonatal health from exposure to war-9 Years long survey of reproductive health and contamination by weapon-delivered heavy metals in Gaza, Palestine. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 17 (7), 2538. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph17072538> [in English].

16. Rehman, K., Fatima, F., Waheed, I. & Akash M.S.H. (2018). Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *J. Cell. Biochem.* 119 (1), 157–184. URL: <https://doi.org/10.1002/jcb.26234> [in English].

17. Robinson, B.H., Bischofberger S., Stoll A., Schroer D., Furrer G., Roulier S., Gruenwald A., Attinger W., Schulin R., 2008. Plant uptake of trace elements on a Swiss military shooting range: uptake pathways and land management implications. *Environ. Pollut.* 153 (3), 668–676. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.08.034> [in English].

18. Savabieasfahani M., Alaani S., Tafash M., Dastgiri S., Al-Sabbak M., 2015. Elevated titanium levels in Iraqi children with neurodevelopmental disorders echofindings in occupation soldiers. *Environ. Monit. Assess.* 187 (1), 4127. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4127-5> [in English].

19. Singh, S.N. & Mishra, S. (2014). Phytoremediation of TNT and RDX. In: Singh, S.N. (Ed.), *Biological remediation of explosive residues*. Springer, Cham [in English].

20. Via S.M. (2020) Phytoremediation of Explosives. In: Shmaefsky B. (eds) *Phytoremediation. Concepts and Strategies in Plant Sciences*. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_8 [in English].

21. Yakovliev, Y. & Chumachenko, S. (2017). *Assessment of ecological hazards in Donbas impacted by the armed conflict in eastern Ukraine*. Geneva: Centre for Humanitarian Dialogue [in English].

Simonenko N.

Researcher, National Science Center Institute of Agriculture
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
ninaskoryk2@ukr.net
orcid.org/0000-0001-9327-5828

Skoryk V.

teacher of the Department of General Agriculture,
Uman National Agrarian University
skorik-v@ukr.net
orcid.org/0009-0008-8715-8826

RESISTANCE OF SHORT STEM WINTER RYE CONCERNSNG THE ACCUMULATION OF RADIONUCLIDES IN GRAIN

A promising direction of winter rye selection in Ukraine is the creation of varieties tolerant to the accumulation of ecotoxicants, heavy metals, radionuclides, especially in places polluted by military operations or technogenic influence. These properties of rye varieties should be combined with short stemness, high resistance of plants to lodging, large grain of high quality intended for bread baking, fodder production, and deep processing, which will allow obtaining ecologically safe rye raw materials.

The purpose of the work is to study the varietal features of short-stemmed winter rye of different morphotypes regarding the level of accumulation of ecotoxicants, as well as to study the influence of growing weather conditions on the ability of samples to accumulate

radionuclides, to outline ways of using the potential of samples with a stable low accumulation of radionuclides in breeding programs.

Determination of the content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the grain of short-stemmed winter rye with alternative signs was carried out by the gamma radiometric method. The starting material is 5 varieties and 25 populations of winter rye with alternative traits that are carriers of dominant shortness (gene *Hl*), resistance to brown and leaf rust (gene *Rd*), powdery mildew (genes *Er*), stem rust (gene *Sr*), recessive grains (*Ig* and *tg* genes).

Winter rye is not an active accumulator of radionuclides even in polluted areas, the range of their content varies within limits below the MPC: for cesium 3.3 – 13.9 Bq/kg, for strontium 6.4 – 22.3 Bq/kg. Regarding the content of ^{90}Sr , the distribution of samples by accumulation groups is close to normal, while for ^{137}Cs , the distribution curve is shifted towards samples with low accumulation. Samples No. 8 (Aldana), 20, 23 (Laskave) were used as the starting material for selection for a stably low total content of radionuclides.

Samples No. 8, 20, 23 are the starting material for selection for a stable low accumulation of radionuclides with low variation of the characteristic. These samples are suitable for inclusion in the assortment of samples for growing rye in areas of man-made pollution, as well as samples No. 12 (Oriana), 16, 24, Alaty. Samples No. 2 and 7 (foreign hybrid and Yelika) can be used in breeding programs as standards characterized by the highest content of ^{137}Cs and ^{90}Sr .

Key words: short-stemmed winter rye, accumulation of radionuclides in grain, strontium, cesium.

**Стаття до редакції надійшла 05.10.2023 року
Рецензія на статтю надійшла 19.10.2023 року**