

## Селекція *in vitro* тритикале на стійкість до абіотичних стресових чинників (огляд)

Пикало С.В., кандидат біологічних наук

Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН  
Україна, 08853, с. Центральне, Миронівський район Київської обл.  
e-mail: pykserg@ukr.net

Значним досягненням сучасної генетики і селекції рослин є створення нової зернової культури – тритикале, сорти якого успішно впроваджуються в сільськогосподарське виробництво. Проте в різні роки виробництво зерна цього злаку є нестабільним. Основними факторами обмеження продуктивності сільськогосподарських культур та тритикале зокрема є абіотичні стресори. Тому важливе значення для селекційного поліпшення тритикале має стійкість до абіотичних стресових чинників довкілля, що дасть змогу збільшити площі під цією культурою в районах з несприятливими кліматичними умовами. Значущим у селекції тритикале є використання клітинних технологій, завдяки яким створюється генетичне розмаїття на рівні соматичних клітин, з наступним скринінгом генотипів, що мають цінні ознаки. Одним з інноваційних напрямів, що дають змогу розширити спектр вихідного матеріалу й активізувати селекційний процес, спрямований на створення високоефективних стійких сортів, є клітинна селекція. У представленому огляді висвітлено основні досягнення вітчизняних і зарубіжних учених щодо селекції *in vitro* тритикале на стійкість до абіотичних стресових чинників довкілля, зокрема водного дефіциту, засолення, забруднення іонами алюмінію. Окреслено основні напрями, методи добору та оцінювання, а також можливості, перспективи і проблеми клітинної селекції – однієї з найважливіших галузей сучасної біотехнології рослин. Аналіз літературних джерел свідчить, що незважаючи на успіхи та значні досягнення в розвитку та використанні клітинних технологій розв'язання потребують ряд методичних проблем, які знижують масштаби впровадження біотехнологічних розробок у практику. Подальший прогрес у клітинній селекції тритикале залежить не лише від розвитку клітинних технологій, але й від більш глибокого пізнання молекулярних механізмів регуляції та експресії генів стійкості. Вивчення особливостей та механізмів геномної мінливості *in vitro* тритикале за дії абіотичних стресорів та пошуки шляхів її регуляції дадуть змогу більш ефективно використовувати технологію клітинної селекції, соматональну мінливість та інші біотехнологічні підходи.

**Ключові слова:** тритикале, клітинна селекція, водний дефіцит, засолення, іони алюмінію, стійкість

Тритикале (*×Triticosecale* Wittm. & A. Camus) – новий ботанічний рід злакових, штучно створений селекціонерами шляхом схрещування пшениці та жита, який поєднує цілий ряд господарсько-біологічних характеристик, властивих вихідним видам [1]. Такими корисними особливостями цієї культури є високий потенціал урожайності зерна та зеленої маси, комплексний імунітет до грибних захворювань, високий вміст білка і лізину в зерні, а також основних поживних речовин у зеленій масі [2]. В Україні тритикале вирощують як продовольчу та зернофуражну культуру. Але незважаючи на високі потенціальні можливості ця еволюційно молода культура поки що не має достатньо широкого виробничого використання.

У селекції тритикале використовують віддалену і внутрішньовидову гібридизацію в поєднанні зі спрямованим добором [3]. Причому особливе значення має вихідний селекційний матеріал. На жаль, до цього часу добір батьківських форм для тритикале є досить обмеженим і проводиться зі старих, низькопродуктивних сортів жита і пшениці, тому не відповідає вимогам сучасної селекції. Крім того, не існує природних центрів походження тритикале, у зв'язку з чим отримання та вивчення вихідного матеріалу є первинним завданням у створенні конкурентоспроможних сортів. Недостатньо висока пластичність сортів і селекційних форм тритикале, пов'язана з обмеженою генетичною різноманітністю

вихідного матеріалу, потребує поліпшення шляхом збагачення генофонду цієї культури і підвищення ефективності її селекції різними методами [4].

Збільшення врожайності є найбільш важливим критерієм при вирощуванні будь-яких сільськогосподарських рослин, зокрема й тритикале. Генетичний потенціал вітчизняних сортів тритикале становить 8–13 т/га, проте у виробничих умовах реалізується лише на 50 % [5]. Існує багато чинників, що не дають можливості повною мірою втілити детермінований спадковий потенціал сортів. Слід зазначити, що внаслідок недостатньої пластичності сорти тритикале іноді знижують продуктивність навіть за незначних погодних коливань [6]. Несприятливі погодні умови впродовж вегетації майже завжди призводять до зниження рівня врожайності як озимих, так і ярих культур, а також невисоких валових зборів зернової продукції [7]. Унаслідок глобальних кліматичних змін, збільшення площ зрошуваних земель на території України, що спричиняє вторинне засолення ґрунтів, а також діяльності підприємств металургійної та хімічної промисловості виникає нагальна потреба щодо створення сортів тритикале, стійких до абіотичних факторів середовища. Стійкість до стресових чинників довкілля є вкрай важливою ознакою для селекційного вдосконалення тритикале і набуває особливої актуальності, оскільки дає можливість розширити його посіви в районах з несприятливими кліматичними умова-

ми. Для підвищення адаптивності тритикале необхідно збагачувати генофонд цієї культури різними методами. Тому одним із пріоритетних напрямів генетики, селекції та біотехнології є створення сортів тритикале, толерантних до негативного впливу таких екологічних чинників довкілля, як посуха, екстремальні температури, засолення, забруднення іонами токсичних металів тощо [8].

Однак селекція на стійкість до вищезазначених чинників традиційними методами ускладнюється неможливістю створення за бажанням селекціонера відповідних стресових умов у польових випробуваннях. Традиційні методи селекції тритикале (схрещування, беккросування і добір) є досить трудомісткими і значно відстають від швидкої коєволюції патогенних мікроорганізмів і шкідників. Окрім того, добір стійких рослин у польових умовах є досить тривалим процесом та потребує відповідних умов середовища для ефективного фенотипового прояву бажаної ознаки, а тому передбачає залучення значних матеріальних ресурсів. Зважаючи на складний механізм формування ознаки стійкості у рослин досить непросто є створення нових стійких сортів на основі існуючих методів класичної селекції. Приміром, часто буває важко або навіть неможливо утворити два фони вирощування (оптимальний і екстремальний), що необхідно для діагностики стійкості до того чи іншого стресора.

Багатогранність проблеми стійкості рослин до стресових чинників для її успішного розв'язання потребує інноваційних ефективних підходів. Принципово новим підходом на сьогоднішній день є застосування методів біотехнології, що значно полегшує та прискорює традиційний селекційний процес щодо створення нових ліній і сортів тритикале. Варто зазначити, що за останні десятиліття біотехнологічні підходи набули значного поширення і стали одними з новітніх інструментів сільськогосподарських досліджень [9, 10]. У поєднанні з традиційною практичною селекцією біотехнології належить вагомий внесок у розвиток нових методів генетичного поліпшення рослин та підвищення їх продуктивності, а тому вона успішно застосовується селекціонерами всього світу [11]. Біотехнологічні підходи прискорюють селекцію сільськогосподарських культур завдяки скороченню часу, необхідного для створення сортів з поліпшеними характеристиками, а також доповнюють та розширюють генетичну мінливість, що є невід'ємною умовою для отримання нових сортів із заданими ознаками [9–11].

Особливої уваги заслуговує клітинна селекція, яка значно полегшує та прискорює традиційний селекційний процес створення нових ліній і сортів [10, 12]. Селекція *in vitro* ґрунтується на використанні культури тканин і клітин – біологічної системи, в якій відсутні механізми регуляції, що діють на рівні цілого організму [13]. За умов *in vitro* можна задавати різні параметри, подібні до тих, в яких у подальшому вегетуватимуть рослини, в тому числі

й екстремальні умови вирощування [14]. При цьому стійкі форми можна ідентифікувати шляхом порівняння росту калюсів на селективному середовищі за присутності і відсутності стресового агента. З використанням клітинної селекції стає можливим отримання нових форм з бажаними ознаками, зокрема з конкретними змінами відповідних метаболічних процесів, які забезпечують адаптацію рослин до стресових умов [15]. Селекцію *in vitro* можна вести за ознаками, здатними проявлятися на клітинному рівні, зокрема за високою експресією певних генів-перемикачів метаболічних шляхів, що забезпечують толерантність до абіотичних чинників [16]. Генетичне варіювання в цьому випадку відрізняється більш широким спектром, а відбір шуканих ознак ведеться цілеспрямовано на рівні окремих клітин і тканин [10].

Клітинна селекція – один із найважливіших напрямів сучасної біотехнології, що вже отримав широке практичне застосування як метод створення нових форм рослин шляхом виділення мутантних клітин і соматональних варіацій у селективних умовах [11, 12]. Цей метод є начебто розвитком мутаційної селекції, проте реалізується на рівні одичних клітин із застосуванням техніки *in vitro*, що надає йому, з одного боку, більш широкі можливості, з іншого, – створює значні труднощі через необхідність регенерації із окремих клітин повноцінних рослин [13, 14].

Технології клітинної селекції, що розробляються для основних злакових сільськогосподарських культур, ґрунтуються на наявних загальних механізмах стійкості для ізольованих клітин і цілих рослин [15, 16]. На сьогодні селективні системи щодо добору стійких до абіотичних стресорів форм розроблені для багатьох злакових культур, проте в літературі практично не можна знайти двох однакових схем клітинної селекції. Схема добору залежить від виду рослини, ознаки, за якою отримують стійкі форми, особливостей калюсо- і морфогенезу, методики проведення експериментів, вивченості дії стресового чинника та інших суб'єктивних причин [10, 11]. Для створення результативних біотехнологічних систем необхідний відбір селективного фактора, умов культивування експлантів, вивчення послідовності й відтворення результатів на етапах добору для отримання форм із максимальним проявом бажаної ознаки.

Можливість отримання стійких клітинних варіантів обумовлена соматональною мінливістю, мутагенною дією регуляторів росту живильного середовища, а також дією селективного чинника, спрямованого проти виживання нестійких форм [13]. У злаків, як правило, добір *in vitro* проводять на калюсах, оскільки інші технології, зокрема протопластів, ембріокультури, культури пиляків, ще недостатньо розроблені [14]. Перевагами калюсних культур порівняно з клітинними є менший період необхідного культивування і, як наслідок, менша генетична нестабільність [17].

Одним із показників, що характеризують стійкість генотипів до модельованого стресу, є швидкість росту калюсних культур за селективних умов. Встановлено, що швидкість росту і морфогенез калюсів на різних етапах культивування можуть зазнавати істотних змін [18]. Це пов'язано з тим, що отримання калюсних культур саме по собі є стресовим чинником і передбачає адаптацію клітин до умов *in vitro*. У результаті може змінюватись і чутливість калюсів до модельованого *in vitro* стресу.

Одним із недоліків калюсних культур є те, що у частини клітин токсичні рівні селективного чинника згладжуються сусідніми клітинами і таким чином вони уникають селективного тиску [17]. Також присутня можливість фенотипового маскування – якщо клітина має стійкість завдяки продукції певної речовини, то остання може передаватися через плазмодесми сусіднім чутливим клітинам і надавати їм стійкості. Оскільки переважна більшість клітин калюсу безпосередньо не контактують із селективним агентом, відібрані калюси можуть бути сумішшю змінених клітин та клітин дикого типу [10, 18]. Тому доцільно використовувати декілька циклів добору за прямої та ступінчастої клітинної селекції.

Варто зазначити, що, хоча культура *in vitro* злакових уже певний час є об'єктом досліджень, рослини з триби *Gramineae* до сьогодні вважаються одними із найскладніших для біотехнологічних робіт. Серед головних проблем, що обмежують застосування клітинних технологій у селекції злакових, – низька частота регенерації рослин з культивованих клітин і тканин. Одним з ключових чинників, що впливають на ефективність біотехнологічних робіт зі злаковими культурами, є вибір відповідного типу експланта. Для отримання калюсу з соматичних клітин використовують незрілі та зрілі зародки, незрілі суцвіття, сегменти колеоптиля, мезокотилі та молодих листків, апікальні меристеми пагонів [19, 20]. Як відомо, незрілі зародки є традиційним експлантом у злаків [19]. Вибір такого типу експланта зумовлений високою інтенсивністю проліферації і компетентністю всіх тканин зародка при культивуванні *in vitro* [21]. Це дає підстави виключити вплив зниження проліферативної функції клітин, характерного для спеціалізованих тканин, на результати експериментів. Але застосування такого типу експланта має певні недоліки, серед яких досить короткий період використання в культурі та значні затрати часу для отримання донорних рослин.

Останнім часом значно зріс інтерес до апікальної меристеми пагонів як найперспективнішого експланта для злакових культур, оскільки порівняно з незрілими зародками його перевагою є можливість подолання генотипових особливостей форм, що характеризуються низьким регенераційним потенціалом, та отримання значної кількості вихідного матеріалу за короткий час [22–24]. Такий тип експланта широко використовують як джерело калюсної тканини, оскільки меристемні сегменти пагонів містять пул клітин, що активно діляться і

характеризуються високою частотою індукції калюсу – до 90 % [22, 25]. Представлена нами у попередніх дослідженнях оптимізована система отримання повноцінних регенерантів тритикале в культурі апікальних меристем пагонів дає можливість успішно отримувати достатню кількість рослин [26]. Показано, що культуру апікальних меристем пагонів можна використовувати як тест-систему для проведення скринінгу генотипів тритикале на стійкість до водного дефіциту [27] та засолення [28].

Клітинна селекція тритикале на стійкість до вищезазначених стресів має важливе теоретичне і практичне значення, проте ні у вітчизняній, ні в зарубіжній літературі належного висвітлення вона так і не отримала. Варто підкреслити, що на сьогодні розробки методів клітинної селекції тритикале перебувають на початкових етапах, тому в літературі можна знайти лише одиничні роботи щодо добору *in vitro* стрес-стійких форм цієї культури [29–34].

**Стійкість до водного дефіциту.** Серед природних чинників, що найбільш негативно впливають на всі фізіологічні процеси росту і розвитку рослин і, в кінцевому результаті, спричиняють втрати врожаю, є водний дефіцит, викликаний посухою [35], шкідлива дія якої полягає, насамперед, у зневодненні рослин і порушенні метаболічних процесів у них, що призводить до розпаду білків, зміни колоїдно-хімічного стану цитоплазми клітини і, як наслідок, до зниження кількості накопиченої рослинами органічної речовини [36]. Стрес, викликаний посухою, є причиною прямих або непрямих пошкоджень рослин, що обумовлені інактивацією ферментів, порушенням біохімічних процесів, накопиченням токсичних речовин, витоком іонів, дефіцитом живлення та іншими причинами [37]. Очікується, що за прогресуючого глобального потепління періодичність посух за роками буде тільки посилюватись [38].

У багатьох наукових працях показано можливість використання методу *in vitro* для тестування селекційного матеріалу різних культур на стійкість до водного дефіциту [10, 25, 39, 40]. Зокрема, на прикладі пшениці м'якої ярої виявлено кореляційний зв'язок між реакціями клітинних систем *in vitro* і посухостійкістю рослини [39]. У роботі В. М. Россеєва та співавторів [40] за результатами порівняльного вивчення сортів пшениці м'якої ярої встановлено, що показники стійкості генотипів, визначені шляхом тестування *in vitro*, відображають їхню посухостійкість у польових умовах.

На клітинному рівні стійкість до водного дефіциту виявляється у толерантності клітин до присутності у живильному середовищі осмотично активних речовин. Для імітації *in vitro* стресового ефекту водного дефіциту застосовують такі осмотики, як високомолекулярний поліетиленгліколь (ПЕГ) або низькомолекулярний маніт. Варто зазначити, що у більшості робіт для отримання посухостійких рослин як селективний фактор використано ПЕГ. Через свою високу молекулярну масу ПЕГ не

може перетинати мембрани, а тому не здатний проникнути у клітину, щоб змінити її осмотичний потенціал [41]. Механізм моделювання ним умов дефіциту вологи у культивованих клітинах подібний тому, що спостерігається у клітинах інтактних рослин за умов посухи [42].

V. Galovic зі співавторами [43] довели, що 5 % концентрація ПЕГ може бути селективним маркером, оскільки було знайдено суттєві відмінності між генотипами за зниженням приросту маси калюсів на 50 % і більше. Проведений ними аналіз рівня посухостійкості 13 генотипів пшениці озимої і одного – ярої та трьох сортів тритикале різного еколого-географічного походження свідчить, що різні за стійкістю форми показують неоднакове зниження маси калюсу. У роботі К. К. Абдрашевої та співавторів [44] показано, що у процесі клітинної селекції тритикале ярого на стійкість до водного дефіциту з поступовим збільшенням концентрації ПЕГ-6000 з 10 до 20 % знижується приріст біомаси та регенераційна здатність калюсу. Візуальний аналіз калюсів показав, що незалежно від генотипових особливостей істотно скорочується частота утворення клітинних ліній у культурі зрілих зародків тритикале на всіх варіантах селективних середовищ. Як зазначають автори, схема клітинної селекції, що передбачає отримання калюсів тритикале на середовищі Мурасіге-Скуга і подальше їх пасажування на селективних середовищах, виявилася недостатньо ефективною для отримання потрібної кількості рослин-регенерантів.

Значно рідше при доборі та скринінгу *in vitro* толерантних до водного стресу зразків застосовують маніт. Слід зазначити, що маніт, на відміну від ПЕГ, проникає у рослинну клітину та знижує нормальний водний потенціал, чим спричиняє зневоднення та гальмування багатьох фізіологічних та метаболічних процесів [45]. Єгипетські дослідники [46] встановили чітку позитивну кореляцію між виживаністю калюсів пшениці на селективних середовищах з різними концентраціями маніту та життєздатністю цих генотипів у польових умовах. О. В. Дубровна зі співавторами [47] у процесі клітинної селекції пшениці м'якої на посухостійкість порівнювали ефективність використання селективних систем з ПЕГ та манітом. Калюс культивували на середовищі зі стресовими агентами у наступних концентраціях: ПЕГ – 2,5, 5,0, 10,0, 15,0, 20,0, 25,0 %, маніт – 0,6, 0,8, 1,0 та 1,2 М. Авторами показано, що селективна система з манітом є ефективнішою, оскільки забезпечує більш повну елімінацію чутливих клітин і вищу життєздатність рослин-регенерантів. Підвищену стійкість до посухи було підтверджено у нащадків більшості отриманих у результаті клітинної селекції форм, що вказує на мутаційну природу толерантності.

Для проведення селекції *in vitro* тритикале на стійкість до водного дефіциту нами було здійснено підбір летальних та сублетальних концентрацій маніту [27, 48]. За результатами досліджень, доза

маніту 0,8 М виявилась летальною для більшості генотипів тритикале, а 0,6 М – сублетальною. За використання селективної системи з вищезгаданим осмотиком проведено пряму і ступінчасту селекцію *in vitro*, здійснено добір калюсних ліній тритикале озимого, стійких до водного стресу [49]. Показано, що ступінчаста селекція *in vitro* є ефективнішою, оскільки в результаті її застосування виділено більшу кількість стійких калюсних форм і отримано більше рослин-регенерантів. Було виділено стійкі калюсні лінії, що мали високий рівень виживання на селективному середовищі з умістом 0,6 М маніту і зберігали морфогенетичний потенціал. Зі стійких культур індуковано рослини-регенеранти, оптимізовано їх дорошування, укорінення й переведення до умов *in vivo*. Оцінка рослин-регенерантів тритикале, отриманих із стійких калюсів, виявила підвищений рівень толерантності до водного дефіциту. З індукованих регенерантів одержано насіннєве покоління R<sub>1</sub> та визначено його стійкість до модельованого водного стресу. Серед проаналізованих рослин виділено форми зі значно вищою толерантністю порівняно з рослинами західних генотипів, що може свідчити про можливість утворення генного комплексу, відповідального за підвищення стійкості біотехнологічним шляхом. Таким чином, нами експериментально обґрунтовано можливість отримання методом клітинної селекції рослин тритикале озимого, стійких до водного дефіциту. Окрім того, встановлено ряд особливостей стрес-індукованої мінливості геному *×Triticosecale* Wittm., яка виявляється на цитологічному та молекулярно-генетичному рівнях у процесі отримання стійких форм.

**Стійкість до засолення.** Засолення ґрунтів, що пов'язане з високою концентрацією розчинних солей натрію в орному шарі ґрунту, завдає аграрному виробництву непоправної шкоди. Нині внаслідок безсистемного та неконтрольного проведення меліоративних заходів велика площа земель зазнає негативного впливу цього явища. Як відомо, шкідлива дія засолення має комплексний характер і зумовлена як порушенням осмотичного балансу клітин, так і прямим токсичним впливом на фізіологічні та біохімічні процеси у клітині [50, 51]. Основний напрям розв'язання цієї проблеми – створення сортів з високим генетичним потенціалом продуктивності, які можуть реалізувати його незалежно від лімітів середовища. Таким чином, отримання нових адаптивних сортів є найбільш надійним шляхом підвищення врожайності зернових культур, зокрема тритикале, за умов дії сольового стресу.

На сьогодні розроблено метод добору рослин на солестійкість, що базується на аналізі параметрів урожайності в польових умовах [52]. Однак складність цього методу полягає у просторовій гетерогенності фізичних і хімічних властивостей ґрунту, а також у сезонних коливаннях кількості атмосферних опадів. Тому на практиці використовують вегетаційні приміщення з контрольованими

умовами вирощування, в яких основним критерієм стійкості рослин є накопичення більшої біомаси при засоленні [53]. Проте для виявлення реальної солестійкості сортів зернових культур необхідні тривалі експерименти – від двох тижнів до кількох місяців, що є непрактичним для скринінгу великої кількості генотипів або добору солестійкого потомства. Критерієм солетолерантності може слугувати також відсутність пошкодження листя рослин, що культивуються на засоленому субстраті [54]. Токсичний ефект солей на рослину полягає у їхній високій концентрації в цитоплазмі і клітинній стінці. Осмотичний ефект солі може прискорити старіння листя внаслідок дефіциту в них води. Окрім того, можливий також дефіцит одних або надлишок інших іонів, що в кінцевому рахунку призводить до отримання хибних результатів.

Нині є порівняно небагато праць щодо отримання солестійких ліній тритикале методами клітинної селекції. Найчастіше при доборі солестійких варіантів використовують хлористий натрій у різних концентраціях. У роботі словацьких вчених три сорти пшениці і два – тритикале було протестовано на солестійкість у калюсній культурі *in vitro* з додаванням NaCl у концентраціях 3, 6 і 9 г/л [55]. Показано, що серед усіх вивчених генотипів найстійкішим виявився сорт пшениці Nona, оскільки за концентрації NaCl 9 г/л приріст біомаси калюсів цього генотипу був найвищим (20,3 %). Найбільш чутливими виявилися сорти тритикале Lasko і R-Tc-15, адже зі зростанням концентрації NaCl до 9 г/л у них спостерігали мінімальний приріст біомаси калюсу та низьку регенераційну здатність.

У відділі біотехнології, генетики і фізіології Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН (МІП) методом прямого добору було проведено скринінг *in vitro* генотипів тритикале озимого на стійкість до засолення за рівнем виживання калюсів та регенераційною здатністю на селективних середовищах із хлоридом натрію концентраціями 0,6, 0,9, 1,2 та 1,5 % [28]. Показано, що зі збільшенням концентрації NaCl в усіх генотипів пригнічувався ріст калюсної культури, що свідчить про токсичний вплив стресового чинника. У результаті досліджень виділено генотипи, калюси яких характеризувались здатністю до росту на селективному середовищі з хлоридом натрію та зберігали ознаку стійкості протягом усього циклу культивування. Підвищену солестійкість виділених генотипів згодом було виявлено у польових випробуваннях. Таким чином, результати роботи підтвердили доцільність застосування культури тканин *in vitro* як тест-системи для проведення скринінгу генотипів тритикале на стійкість до сольового стресу.

На основі розробленої нами біотехнологічної системи методами селекції *in vitro* за використанням селективного середовища з хлоридом натрію здійснено добір калюсних ліній тритикале за стійкістю до сольового стресу [56]. В обох генотипів за використання прямого та ступінчастого добору

отримано стійкі калюсні лінії, які не тільки мали приріст біомаси на селективному середовищі, але й зберігали морфогенетичний потенціал. Стійкість до сольового стресу виділених *in vitro* клітин збереглась у індукованих рослинах і на рівні організму забезпечила підвищення толерантності до засолення. Результати досліджень можуть свідчити, що рослини-регенеранти тритикале, отримані шляхом клітинної селекції, мають генетично обумовлену ознаку стійкості до стресового фактора.

І. Bezirganoglu [57] досліджував реакцію п'яти генотипів тритикале на сольовий стрес за здатністю до утворення морфогенного калюсу з використанням хлориду натрію різних концентрацій (50, 100, 150 та 200 mM, або 0,3, 0,6, 0,9 та 1,2 % відповідно). За результатами досліджень встановлено, що для кожної з концентрацій NaCl порядок ранжовання генотипів за солестійкістю був наступним: Tatlıcak > Ümran Hanım > Alper Bey > Mikham 2002 > Melez 2001. Показано, що більш чітку диференціацію всіх генотипів за стрес-толерантністю визначала концентрація 200 mM. Автор наголосив, що генотип Tatlıcak виявився найменш чутливим до дії сольового стресу і є цінним вихідним матеріалом для подальшої селекції тритикале.

Варто підкреслити, що використання андрогенних культур ізольованих мікроспор для клітинної селекції має ряд переваг порівняно з іншими системами *in vitro*, оскільки культура початково є одноклітинною системою, тому виключається можливість регенерації із соматичних тканин [58]. При цьому добір *in vitro* і мутагенез значно полегшені, оскільки гаплоїдний стан дає можливість проявитись рецесивним генам. Зважаючи на це, нами розроблено метод добору стійких до засолення генотипів тритикале озимого в культурі ізольованих мікроспор з використанням хлориду натрію як селективного чинника [59]. За критерій визначення толерантності було обрано відносно кількість калюсів з множинним пагоноутворенням на селективному середовищі. Виявлено, що зі збільшенням концентрації хлористого натрію значно пригнічувався регенераційний потенціал калюсів – якщо в контролі регенераційна здатність становила 60 % за більшості калюсів з множинним пагоноутворенням, то на селективному середовищі вона зменшувалася до 20 %. У результаті досліджень встановлено, що концентрація 0,1 M (0,6 %) NaCl дає змогу диференціювати генотипи тритикале за солестійкістю, а також показано можливість використання культури ізольованих мікроспор для вивчення солестійкості селекційного матеріалу тритикале озимого.

**Стійкість до іонів алюмінію.** Більше половини ґрунтів у світовому землеробстві характеризуються підвищеною кислотністю, негативний вплив якої на рослини в багатьох випадках підсилюється внаслідок наявності рухомих іонів алюмінію [60]. Токсичні іони алюмінію позначаються на процесах росту та продуктивності на всіх фазах онтогенезу

рослин злакових, але в ювенільний період більший вплив вони мають на ступінь розвитку кореневої системи, ніж паростка [61]. Відомо, що за вмісту рухомого алюмінію 3–4 мг/100 г ґрунту пригнічується ріст рослин, а за концентрації 7–8 мг/100 г ґрунту вони гинуть [62]. Тому створення генотипів, здатних протидіяти токсичному впливу іонів алюмінію без зниження врожайності, є єдиним можливим розв'язанням проблеми вирощування зернових за умов кислих ґрунтів.

Оцінка вихідного матеріалу в селекції на алюмостійкість потребує сучасних і ефективних підходів. Для ідентифікації стійких рослин нині використовують переважно вегетаційні та лабораторні методи, якими зазвичай оцінюють ступінь пригнічення росту коренів або накопичення в них алюмінію [63]. Рослини вирощують у посудинах з кислим ґрунтом протягом одного місяця або в польових умовах впродовж вегетаційного періоду, після чого порівнюють суху масу кореня, пагона і концентрацію алюмінію у тканинах рослини в дослідному варіанті і контролі (при нетоксичному рівні рН). Проте подібний метод може бути занадто чутливим для нестійких форм. Окрім того, він вимагає значних витрат часу, оскільки передбачає постійний контроль вмісту алюмінію, що надходить у тканини рослин.

Альтернативою виміру ростових параметрів за стресових умов є метод забарвлення коренів гематоксиліном, що слугує індикатором споживання алюмінію чутливими рослинами [64]. При цьому збільшення інтенсивності забарвлення і відповідно підвищений рівень поглинання алюмінію відображають пониженою стійкістю рослин. Однак цей метод дає змогу швидше якісно, аніж кількісно оцінити вміст алюмінію в коренях. Недоліком методу є також те, що іноді забарвлення відбувається навіть за відсутності алюмінію або не відбувається зовсім, незважаючи на його високу концентрацію.

Існує лабораторна оцінка стійкості проростків тритикале до токсичної дії алюмінію за відростанням коренів у період репарації з використанням як стрес-чинника хлориду алюмінію 6-водневого [65, 66]. Однак недоліком цього методу є те, що рослини з відносно низькою швидкістю росту можуть здаватися більш стійкими, ніж вони є насправді, оскільки ступінь пригнічення швидкості росту кореня у них менший, ніж у рослин з більш активним ростом. Цей спосіб не дає також можливості відокремити інгібування росту коренів унаслідок зниження рівня рН від індукованого власне токсичною дією алюмінію. Тому в результаті багато рослин, чутливих до кислого середовища, але толерантних до алюмінію, можуть бути оцінені як нестійкі до нього.

Як відомо, ізольовані рослинні клітини акумулюють алюміній набагато швидше і є більш чутливими до стресу, ніж клітини в складі організму [67]. Тому для оцінки алюмостійкості рослин зернових поширення набули біотехнологічні підходи з використанням культури тканин *in vitro*, які застосову-

ються для скринінгу стійких генотипів, створення та ідентифікації соматоклональних варіантів з підвищеною стійкістю, а також для вивчення реакції клітин на токсичність іонів алюмінію. При цьому стійкі форми можна ідентифікувати шляхом порівняння росту калюсів на кислому середовищі за присутності і відсутності іонів алюмінію.

Німецькі дослідники [68] проводили скринінг *in vitro* чотирьох сортів тритикале ярого та озимого на стійкість до іонів алюмінію в культурі зрілих зародків з використанням як стрес-чинника хлориду алюмінію такими концентраціями: 0,1, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10 та 20 мМ. Показано, що утворення соматичних зародків з калюсів відбувалося, поряд з контролем, на селективних середовищах з концентраціями хлориду алюмінію не вище 2 мМ. У результаті досліджень вчені виявили, що найбільшою алюмостійкістю характеризувався сорт тритикале озимого Lasko, оскільки калюси цього генотипу за селективних умов мали найбільший рівень виживання та відрізнялись найвищим регенераційним потенціалом.

У відділі біотехнології, генетики і фізіології МІП нами розроблено та запатентовано [69] спосіб добору *in vitro* стійких до іонів алюмінію генотипів тритикале озимого, що ґрунтується на токсичній дії стресового чинника, спрямованій проти виживання нестійких форм. Добори окремих генотипів проводять на рівні культивованих калюсів на штучному живильному середовищі з додаванням різних концентрацій етилендіамінтетрацетату алюмінію (Al-ЕДТА). Використання запропонованого способу дає можливість у короткі терміни відібрати значну кількість стійких до іонів алюмінію генотипів тритикале озимого і таким чином забезпечує скорочення тривалості селекційного процесу. Новим є те, що добори генотипів за стійкістю до іонів алюмінію проводять на калюсах, що культивуються на штучному живильному середовищі з додаванням різних концентрацій Al-ЕДТА, за рівнем їх виживання в селективних умовах, приростом сирової маси та частотою регенерації з них пагонів. Метод ґрунтується на клітинних технологіях *in vitro*, тому дає змогу значно прискорити та спростити відбір стійких до іонів алюмінію генотипів тритикале. Переваги запропонованого способу над традиційними полягають в економії місця та у можливості працювати з великими вибірками генотипів, більшій швидкості скринінгу селекційного матеріалу, а також у можливості контролювати умови зовнішнього середовища. Використання цього методу в селекції тритикале сприятиме створенню нових сортів з господарськи цінними властивостями.

Таким чином, аналіз даних літератури та власні дослідження дали можливість виявити світову тенденцію щодо застосування технологій добору *in vitro* в селекційному процесі тритикале. Проте варто підкреслити, що для практичного використання клітинних біотехнологій з метою оцінки та добо-

ру стійких форм злакових необхідно, щоб ступінь стійкості на рівні культури клітин і цілої рослини тісно корелював, чого не завжди можливо досягти. Так, у роботі E. Farshadfar та співавторів [70] скринінг генотипів пшениці м'якої на посухостійкість не виявив достовірного кореляційного зв'язку між результатами оцінки *in vivo* та *in vitro*. Автори констатували, що результати скринінгу *in vitro* не можна узагальнити на рівні *in vivo* і навпаки, тому показники стійкості, отримані вищезгаданими методами, не завжди корелюють між собою і повинні розглядатись окремо або доповнювати один одного. Необхідно також зауважити, що скринінг та добір селекційного матеріалу злакових на клітинному рівні не завжди виправдані та ефективні з погляду економічності. Але незважаючи на певні труднощі використання тканинних і клітинних культур у більшості випадків дає можливість ефективно прискорити селекційний процес і у багатьох країнах світу вважається важливим доповненням до класичних методів селекції сільськогосподарських рослин, зокрема тритикале.

**Висновки.** Актуальність біотехнологічних розробок у вирішенні генетико-селекційних завдань щодо тритикале зростає і переходить на якісно но-

вий рівень. Аналіз літературних джерел свідчить про можливість використання клітинної селекції для створення нового вихідного матеріалу, розширення генетичного потенціалу та поліпшення існуючих генотипів тритикале за стійкістю до абіотичних стресорів. Селекція *in vitro* надає можливість розширити генетичне різноманіття рослин, безпосередньо діючи на генетичний апарат, та створити системи прямого добору стійких генотипів. Однак цей напрям її застосування потребує більш поглибленого дослідження геномної мінливості та генетичної стабільності клітин, що культивуються в умовах ізольованого росту на штучних живильних середовищах. Незважаючи на наявні праці стосовно селекції *in vitro* ще не до кінця висвітлено низку аспектів, зокрема вплив компонентів живильного середовища, селективних агентів та умов культивування на геном рослинної клітини, а також на реорганізацію геному, що супроводжують дедиференціювання клітин тощо. Дослідження, спрямовані на розв'язання цієї проблеми, є актуальними і значущими, оскільки орієнтовані на розширення можливостей біотехнологій, підвищення їх ефективності та широке впровадження нових методів для вирішення прикладних завдань селекції тритикале.

### Список використаних джерел

- Oettler G. The fortune of a botanical curiosity – Triticale: past, present and future. *J. Agric. Sci.* 2005. Vol. 143, Iss. 5. P. 329–346. doi: 10.1017/S0021859605005290
- Mohammad F., Ahmad I., Khan N. U., Maqbool K., Naz A., Shaheen S., Ali K. Comparative study of morphological traits in wheat and triticale. *Pak. J. Bot.* 2011. Vol. 43. P. 165–170.
- Kavanagh V. B., Hall J. C., Hall L. M. Potential hybridization of genetically engineered triticale with wild and weedy relatives in Canada. *Crop Sci.* 2010. Vol. 50, Iss. 4. P. 1128–1140. doi:10.2135/cropsci2009.11.0644
- Рибалка О. І., Моргун В. В., Моргун Б. В., Починок В. М. Агрономічний потенціал і перспективи тритикале. *Физиология растений и генетика.* 2015. Т. 47, № 2. С. 95–111.
- Васильківський С. П., Гудзенко В. М., Кочмарський В. С., Кириленко В. В. Реалізація потенціалу сортів зернових культур – шлях вирішення продовольчої проблеми. *Фактори експериментальної еволюції організмів.* 2017. Т. 21. С. 47–51.
- Орловская О. А., Хотылева Л. В. Оценка устойчивости к биотическим и абиотическим факторам гибридов озимой тритикале, созданных на основе образцов различного эколого-географического происхождения. *Молекулярная и прикладная генетика.* 2013. Т. 14. С. 77–83.
- Авдеев Ю. И., Слащева Л. А. Устойчивость озимой тритикале к экстремальным абиотическим факторам среды в аридной зоне возделывания. *Астраханский вестник экологического образования.* 2014. Т. 29, № 3. С. 84–87.
- Blum A. The abiotic stress response and adaptation of triticale – a review. *Cereal Res. Commun.* 2014. Vol. 42, Iss. 3. P. 359–375. doi: 10.1556/CRC.42.2014.3.1
- Решетников В. Н., Спиридович Е. В., Носов А. М. Биотехнология растений и перспективы ее развития. *Физиология растений и генетика.* 2014. Т. 46, № 1. С. 3–18.
- Дубровна О. В., Моргун Б. В., Бавол А. В. Біотехнології пшениці: клітинна селекція та генетична інженерія. Київ: Логос, 2014. 375 с.
- Моргун В. В., Дубровна О. В., Моргун Б. В. Сучасні біотехнології отримання стійких до стресів рослин пшениці. *Физиология растений и генетика.* 2016. Т. 48, № 3. С. 196–214. doi: 10.15407/frg2016.03.196
- Rai M. K., Kalia R. K., Singh R., Gangola M. P., Dhawan A. K. Developing stress tolerant plants through in vitro selection – An overview of the recent progress. *Environ. Exper. Bot.* 2011. Vol. 71, Iss. 1. P. 89–98. doi: 10.1016/j.envexpbot.2010.10.021
- Lestari E. G. *In vitro* selection and somaclonal variation for biotic and abiotic stress tolerance. *Biodiversitas.* 2006. Vol. 7, Iss. 3. P. 297–301. doi: 10.13057/biodiv/d070320
- Дубровна О. В., Моргун Б. В. Клітинна селекція пшениці на стійкість до стресових чинників довкілля. *Физиология и биохимия культ. растений.* 2009. Т. 41, № 6. С. 463–476.
- Maluszynski M., Ahloowalia B. S., Sigurbjörnsson B. Application of *in vivo* and *in vitro* mutation techniques for crop improvement. *Euphytica.* 1995. Vol. 85, Iss. 1–3. P. 303–315. doi: 10.1007/BF00023960
- Дубровная О. В. Селекция *in vitro* пшеницы на устойчивость к абиотическим стрессовым факторам. *Физиология растений и генетика.* 2017. Т. 49, № 4. С. 279–292. doi: 10.15407/frg2017.04.279
- Зінченко М. О., Дубровна О. В., Бавол А. В. Селекція *in vitro* м'якої пшениці на комплексну стійкість до метаболітів збудника офіобольозу та водного дефіциту. *Вісник Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів.* 2012. Т. 10, № 1. С. 20–27.
- Зинченко М. А., Дубровная О. В., Бавол А. В. Клеточная селекция мягкой пшеницы на устойчивость к комплексу стрессовых факторов и анализ полученных форм. *Известия Самарского отделения РАН.* 2013. Т. 15, № 3(5). С. 1610–1614.
- Бавол А. В., Дубровна О. В., Лялько І. І. Регенерація рослин із різних типів експлантів м'якої пшениці. *Физиология и биохимия культ. растений.* 2008. Т. 40, № 2. С. 150–156.
- Пикало С. В., Волощук С. І., Волощук Г. Д. Регенерація рослин тритикале озимого в культурі різних типів експлантів. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія Біологія.* 2015. Вип. 1(34). С. 71–79.
- Atak N., Muharemm K., Khavar K., Saglam S., Özcan S., Ciftci C. Y. Effect of age on somatic embryogenesis from immature zygotic embryos of 5 Turkish triticale genotypes. *Afr. J. Biotechnol.* 2008. Vol. 7, Iss. 11. P. 1765–1768.

22. Гончарук О. М., Бавол А. В., Дубровна О. В. Морфогенез у культурі апікальних меристем пагонів високопродуктивних сортів озимої пшениці. *Физиология растений и генетика*. 2014. Т. 46, № 3. С. 245–251.
23. Гончарук О. М., Бавол А. В., Дубровна О. В. Морфогенний потенціал високопродуктивних сортів озимої пшениці в культурі апікальних меристем пагонів. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2011. Т. 11. С. 237–241.
24. Бавол А. В., Дубровна О. В., Лялько І. І. Регенерація рослин із експлантів верхівки пагона проростків пшениці. *Вісник Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів*. 2007. Т. 5, №1/2. С. 3–10.
25. Дубровна О. В., Чугункова Т. В., Бавол А. В., Лялько І. І. Біотехнологічні та цитогенетичні основи створення рослин, стійких до стресів. Київ : Логос, 2012. 428 с.
26. Пыкало С. В., Зинченко М. А., Волощук С. И., Дубровная О. В. Морфогенез тритикале озимого в культурі апікальних меристем побегов. *Биотехнология: достижения и перспективы развития* : матер. I Межд. науч.-практ. конф. (г. Пинск, 25–26 сентября 2014 г.). Пинск : ПолесГУ, 2014. С. 29–34.
27. Пикало С. В., Зинченко М. А., Волощук С. И., Дубровная О. В. Скринінг генотипів тритикале озимого на стійкість до водного дефіциту в культурі апікальних меристем пагонів. *Вісник Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів*. 2014. Т. 12, № 2. С. 191–199.
28. Пикало С. В., Дубровна О. В. Скринінг генотипів тритикале озимого на стійкість проти засолення в культурі апікальних меристем пагонів. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017. Т. 13, № 3. С. 277–284. doi: 10.21498/2518-1017.13.3.2017.110710
29. ShouXi C., Kleijer G. Effects of *Fusarium* metabolites on growth of callus and seedling in triticale. *Acta Prataculturae Sin.* 2001. Vol. 10. P. 78–85.
30. Góral T., Arseniuk E. Somaclonal variation in winter triticale for resistance to *Fusarium* head blight. *Cereal Res. Commun.* 1997. Vol. 25. P. 741–742. doi: 10.1007/BF03543830
31. Cheng-he Z., Jun C., Wen-Kui B. Selection and characterization of high pH resistant or salt resistant variants from haploid triticale callus (n=28). *Acta Bot. Sin.* 1986. Vol. 28, Iss. 2. P. 137–144.
32. Kai-Jun Z., Wen-Kui B. Preliminary research on the mechanism of the origin of salt-tolerant somaclonal variant in octoploid triticale. *Sci. Agric. Sin.* 1993. Vol. 26, Iss. 5. P. 25–31.
33. Wang X.-J. Genetic mechanism of the occurrence of salt-tolerant variant of octoploid triticale under tissue and cell culture. *Acta Bot. Sin.* 1998. Vol. 40, Iss. 4. P. 330–336.
34. Kleijer G., Diop N. N., Fossati A. Plant regeneration and *in vitro* selection of triticale. In: *Triticale: Today and Tomorrow. Developments in Plant Breeding*. Guedes-Pinto H., Darvey N., Carnide V. P. (Eds.). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers. 1996. Vol. 5. P. 373–377.
35. Blum A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Austr. J. Agric. Res.* 2005. Vol. 56, Iss. 11. P. 1159–1168. doi: 10.1071/AR05069
36. Raveena, Bharti R., Chaudhary N. Drought resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.): a review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2019. Vol. 8, Iss. 9. P. 1780–1792. doi: 10.20546/ijcmas.2019.809.206
37. Mwadzingeni L., Shimelis H., Dube E., Laing M. D., Tsilo T. J. Breeding wheat for drought tolerance: Progress and technologies. *J. Integr. Agr.* 2016. Vol. 15, Iss. 5. P. 935–943. doi: 10.1016/S2095-3119(15)61102-9
38. Makar O. O., Patsula O. I., Kavulych Y. Z., Batrashkina T. I., Bunio L. V., Kozlovskyy V. I., Vatamaniuk O., Terek O. O., Romanyuk N. D. Excised leaf water status as a measure of drought resistance of Ukrainian spring wheat. *Studia Biologica*. 2019. Vol. 13, Iss. 2. P. 41–54. doi: 10.30970/sbi.1302.604
39. Тагимамова Д. С., Ергалиева А. Ж., Райзер О. Б., Хапилина О. Н. Оценка генотипов яровой мягкой пшеницы на засухоустойчивость в условиях *in vitro*. *Биотехнология. Теория и практика*. 2013. № 2. С. 42–46.
40. Россеев В. М., Белан И. А., Россеева Л. П. Использование метода *in vitro* в селекции пшеницы мягкой яровой. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2016. № 2(136). С. 5–9.
41. Dragiška R., Djilianov D., Denchev P., Atanassov A. *In vitro* selection for osmotic tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Bulg. J. Plant Physiol.* 1996. Vol. 22, Iss. 3–4. P. 30–39.
42. Gawande N. D., Mahurkar D. G., Rathod T. H., Jahagirdar S. W., Shinde S. M. *In vitro* screening of wheat genotypes for drought tolerance. *Ann. Plant Physiol.* 2005. Vol. 19, Iss. 2. P. 162–168.
43. Galovic V., Kotaranin Z., Dencic S. *In vitro* assessment of wheat tolerance to drought. *Genetika*. 2005. Vol. 37, Iss. 2. P. 165–171.
44. Абдрашева К. К., Тагимамова Д. С., Хапилина О. Н., Купешев Ж. С. Селекция *in vitro* культурных сортов гороха и тритикале на устойчивость к абиотическим стрессам. *Биология – наука XXI века* : матер. 19-й Междунар. Пущинской конф. мол. ученых (г. Пущино, 20–24 апреля 2015 г.). Пущино, 2015. С. 3–4.
45. Генерозова И. П., Маевская С. Н., Шугаев А. Г. Ингибирование метаболической активности митохондрий этилированных проростков гороха, подвергнутых водному стрессу. *Физиология растений*. 2009. Т. 56, № 1. С. 45–52.
46. Ahmed A. Response of immature embryos *in vitro* regeneration of some wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under different osmotic stress of mannitol. *J. Agric. Sci.* 1999. Vol. 30, Iss. 3. P. 25–34.
47. Дубровна О. В., Бавол А. В., Зинченко М. О., Лялько І. І., Круглова Н. М. Вплив осмотичних речовин на калюсні лінії м'якої пшениці, стійкі до культурального фільтрату *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Вісник Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів*. 2011. Т. 9, № 1. С. 10–16.
48. Пикало С. В. Добір *in vitro* стійких до осмотичного стресу генотипів тритикале озимого. *Досягнення генетики, селекції і рослинництва для підвищення ефективності зерновиробництва* : тези Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених (м. Миронівка, 18 червня 2014 р.). Миронівка, 2014. С. 46.
49. Пикало С. В., Зинченко М. О., Волощук С. И., Дубровная О. В. Селекция *in vitro* тритикале озимого на стійкість до водного дефіциту. *Biotechnol. Acta*. 2015. Т. 8, № 2. С. 69–77. doi: 10.15407/biotech8.02.069
50. Krasensky J., Jonak C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *J. Exper. Bot.* 2012. Vol. 63, Iss. 4. P. 1593–1608. doi: 10.1093/jxb/err460
51. Bartels D., Sunkar R. Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2005. Vol. 24, Iss. 1. P. 23–58. doi: 10.1080/07352680590910410
52. Richards R. A., Dennett C. W., Qualset C. O., Epstein E., Norlyn J. D., Winslow M. D. Variation in yield of grain and biomass in wheat, barley, and triticale in a salt-affected field. *Field Crops Res.* 1987. Vol. 15, Iss. 3–4. P. 277–287.
53. Семушина Л. А., Синельникова В. Н. Методические указания при использовании вегетационных методов при изучении солеустойчивости однолетних сельскохозяйственных растений. Ленинград : Всесоюзный НИИ растениеводства, 1977. 20 с.
54. Munns R., James R. A. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and Soil*. 2003. Vol. 253, Iss. 1. P. 201–218. doi: 10.1023/A:1024553303144
55. Sudyova V., Slikova S., Galova Z. Testing wheat (*Triticum aestivum* L.) and triticale (*Triticosecale* Willd.) callus to salt tolerance. *Acta Fytotechn. Zootechn.* 2002. Vol. 3. P. 67–71.
56. Пикало С. В., Дубровна О. В., Демидов О. А. Клітинна селекція тритикале озимого на стійкість до сольового стресу. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 20. С. 247–251.
57. Bezirğanoğlu I. Response of five triticale genotypes to salt stress in *in vitro* culture. *Turk. J. Agric. For.* 2017. Vol. 41, Iss. 5. P. 372–380.
58. Волощук С. І. Індукований андрогенез у селекції тритикале озимого. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 3. С. 36–40.



50. Пикало С. В., Волощук С. І. Вивчення стійкості до засолення генотипів тритикале озимого з використанням культури ізольованих мікроспор. *Физиология растений и генетика*. 2014. Т. 46, № 3. С. 267–273.
60. Barcelo J., Poschenrieder C. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. *Environ. Exp. Bot.* 2002. Vol. 48, Iss. 1. P. 75–92. doi: 10.1016/S0098-8472(02)00013-8
61. Dinev N., Stancheva I. Effect of aluminum on the growth of wheat, rye, and triticale. *Plant Nutr.* 1993. Vol. 16, Iss. 3. P. 461–469. doi: 10.1080/01904169309364545
62. Zhang X. G., Jessop R. S. Differential responses to selection for aluminium stress tolerance in triticale. *Aust. J. Agric. Res.* 2002. Vol. 53, Iss. 12. P. 1295–1303. doi: 10.1071/AR01187
63. Samac D. A., Tesfaye M. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils – a review. *Plant Cell, Tissue Organ Cult.* 2003. Vol. 75, Iss. 3. P. 189–207. doi: 10.1023/A:1025843829545
64. Bona L., Carver B. F. A proposed scale for quantifying aluminum tolerance levels in wheat and barley detected by hematoxylin staining. *Cereal Res. Commun.* 1998. Vol. 26, Iss. 1. P. 97–99. doi: 10.1007/BF03543474
65. Morath D., Oettler G., Melchinger A. E. Screening methods for aluminium tolerance in seedlings of triticale. In: *Triticale: Today and Tomorrow. Developments in Plant Breeding*. Guedes-Pinto H., Darvey N., Carnide V. P. (eds.). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1996. Vol. 5. P. 453–459.
66. Колесникова Н. Н. Оценка яровой тритикале на устойчивость к токсичности алюминия. *Клеточная биология и биотехнология растений* : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Минск, 13–15 февраля 2013 г.). Минск, 2013. С. 98.
67. Conner A. J., Meredith C. P. Large scale selection of aluminum-resistant mutants from plant cell culture: expression and inheritance in seedlings. *Theor. Appl. Genet.* 1985. Vol. 71, Iss. 2. P. 159–165. doi: 10.1007/BF00252050
68. Gaus C. S., Oettler G., Hesemann C.-U. Response of mature triticale embryos to aluminium-toxic callus induction media. In: *Triticale: Today and Tomorrow. Developments in Plant Breeding*. Guedes-Pinto H., Darvey N., Carnide V. P. (eds.). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1996. Vol. 5. P. 365–371.
69. Спосіб добору *in vitro* стійких до іонів алюмінію генотипів тритикале озимого: пат. 136957 Україна: МПК А01Н 1/04. № 201901582; заявл. 18.02.2019; опубл. 25.09.2019, Бюл. № 18. 4 с.
70. Farshadfar E., Jamshidi B., Cheghamirza K., da Silva J. A. T. Evaluation of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using *in vivo* and *in vitro* techniques. *Ann. Biol. Res.* 2012. Vol. 3, Iss. 1. P. 465–476.

## References

1. Oettler, G. (2005). The fortune of a botanical curiosity – Triticale: past, present and future. *J. Agric. Sci.*, 143(5), 329–346. doi: 10.1017/S0021859605005290
2. Mohammad, F., Ahmad, I. Khan, N. U., Maqbool, K., Naz, A., Shaheen, S., & Ali, K. (2011). Comparative study of morphological traits in wheat and triticale. *Pak. J. Bot.*, 43, 165–170.
3. Kavanagh, V. B., Hall, J. C., & Hall, L. M. (2010). Potential hybridization of genetically engineered triticale with wild and weedy relatives in Canada. *Crop Sci.*, 50(4), 1128–1140. doi: 10.2135/cropsci2009.11.0644
4. Rybalka, O. I., Morgun, V.V., Morgun, B. V., & Pochynok, V. M. (2015). Agronomic potential and perspectives of triticale. *Plant Physiology and Genetics*, 47(2), 95–111. [in Ukrainian]
5. Vasilivskiy, S. P., Gudzenko, V. M., Kochmarskyi, V. S., & Kyrylenko, V. V. (2017). Realization of cereals varieties potential as a way of solving the food problem. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 21, 47–51. [in Ukrainian]
6. Orlovskaya, O. A., & Khotyleva, L. V. (2013). Assessment for resistance to biotic and abiotic factors of winter triticale hybrids created on the basis of samples of different ecological and geographical origin. *Molecular and Applied Genetics*, 14, 77–83. [in Russian]
7. Avdeyev, Y. I., & Slascheva, L. A. (2014). Resistance winter triticale to extreme abiotic factors of environment in aired territory of cultivation. *Astrakhan Bulletin for Environmental Education*, 29(3), 84–87. [in Russian]
8. Blum, A. (2014). The abiotic stress response and adaptation of triticale – a review. *Cereal Res. Commun.*, 42(3), 359–375. doi: 10.1556/CRC.42.2014.3.1
9. Reshetnikov, V. N., Spiridovich, E. V., & Nosov, A. M. (2014). Plant biotechnology and perspectives of its development. *Plant Physiology and Genetics*, 46(1), 3–18. [in Russian]
10. Dubrovna, O. V., Morgun, B. V., & Baval, A. V. (2014). Biotechnology of Wheat: Cell Selection and Genetic Engineering. Kyiv: Lohos. [in Ukrainian]
11. Morgun, V. V., Dubrovna, O. V., & Morgun, B. V. (2016). The modern biotechnologies of producing wheat plants resistant to stresses. *Plant Physiology and Genetics*, 48(3), 196–214. [in Ukrainian]. doi: 10.15407/frg2016.03.196
12. Rai, M. K., Kalia, R. K., Singh, R., Gangola, M. P., & Dhanwan, A. K. (2011). Developing stress tolerant plants through *in vitro* selection – An overview of the recent progress. *Environ. Exper. Bot.*, 71(1), 89–98. doi: 10.1016/j.envexpbot.2010.10.021
13. Lestari, E. G. (2006). *In vitro* selection and somaclonal variation for biotic and abiotic stress tolerance. *Biodiversitas*, 7(3), 297–301. doi: 10.13057/biodiv/d070320
14. Dubrovna, O. V., & Morgun, B. V. (2009). Cellular selection of wheat for resistance to stress factors of environment. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 41(6), 463–475. [in Ukrainian]
15. Maluszynski, M., Ahloowalia, B. S., & Sigurbjörnsson, B. (1995). Application of *in vivo* and *in vitro* mutation techniques for crop improvement. *Euphytica*, 85(1–3), 303–315. doi: 10.1007/BF00023960
16. Dubrovna, O. V. (2017). *In vitro* selection of wheat for resistance to abiotic stress factors. *Plant Physiology and Genetics*, 49(4), 279–292. [in Russian]. doi: 10.15407/frg2017.04.279
17. Zinchenko, M. O., Baval, A. V., & Dubrovna, O. V. (2012). *In vitro* selection of wheat for complex resistance to metabolites of take-all disease agent and water deficit. *The Bulletin of Vavilov Society of Geneticists and Breeders of Ukraine*, 10(1), 20–27. [in Ukrainian]
18. Zinchenko, M. A., Dubrovna, O. V., & Baval, A. V. (2013). *In vitro* selection of wheat for complex resistance and analysis of obtained form. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 15(3(5)), 1610–1614. [in Russian]
19. Baval, A. V., Dubrovna, O. V., & Lialko, I. I. (2008). Plant regeneration from various types of explants of soft wheat. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 40(2), 150–156. [in Ukrainian]
20. Pykalo, S. V., Voloshchuk, S. I., & Voloshchuk, H. D. (2015). Plant regeneration of winter triticale in culture of various types of explants. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology*, 1, 71–79. [in Ukrainian]
21. Atak, N., Muharemm, K., Khavar, K. M., Saglam, S., Özcan, S., & Ciftci, C. Y. (2008). Effect of age on somatic embryogenesis from immature zygotic embryos of 5 Turkish triticale genotypes. *Afr. J. Biotechnol.*, 7(11), 1765–1768.
22. Honcharuk, O. M., Baval, A. V., & Dubrovna, O. V. (2014). Morphogenesis in apical meristems culture of highly productive winter wheat varieties. *Plant Physiology and Genetics*, 46(3), 245–251. [in Ukrainian]
23. Honcharuk, O. M., Baval, A. V., & Dubrovna, O. V. (2011). Morphogenic potential of high-yielding winter wheat varieties in shoot apical meristem culture. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 11, 237–241. [in Ukrainian]
24. Baval, A. V., Dubrovna, O. V., & Lialko, I. I. (2007). Plant regeneration from shoot tips of wheat. *The Bulletin of Vavilov Society of Geneticists and Breeders of Ukraine*, 5(1/2), 3–10. [in Ukrainian]
25. Dubrovna, O. V., Chugunkova, T. V., Baval, A. V., & Lialko, I. I. (2012). Biotechnological and Cytogenetic Bases for

- Creation of Plants Resistant to Stresses. Kyiv: Lohos. [in Ukrainian]
26. Pykalo, S. V., Zinchenko, M. O., Voloshchuk, S. I., & Dubrovna, O. V. (2015). Morphogenesis of winter triticale in shoot apical meristem culture. In *Biotechnology: Achievements and Prospects of Development: Proc. I Int. Sci. Conf.* (pp. 29–34). Sept. 25–26, 2014, Pinsk, Belarus. [in Russian]
  27. Pykalo, S. V., Zinchenko, M. O., Voloshchuk, S. I., & Dubrovna, O. V. (2014). Screening of winter triticale genotypes for resistance to water deficit in *in vitro* culture of shoot apical meristems. *The Bulletin of Ukrainian Society of Geneticists and Breeders*, 12(2), 191–199. [in Ukrainian]
  28. Pykalo, S. V., & Dubrovna, O. V. (2017). Screening of genotypes of winter triticale for resistance to salt stress in the shoot apical meristem culture. *Plant Varieties Studying and Protection*, 13(3), 277–284. doi: 10.21498/2518-1017.13.3.2017.110710. [in Ukrainian]
  29. ShouXi, C., & Kleijer, G. (2001). Effects of *Fusarium* metabolites on growth of callus and seedling in triticale. *Acta Prataculturae Sin.*, 10, 78–85.
  30. Góral, T., & Arseniuk, E. (1997). Somaclonal variation in winter triticale for resistance to *Fusarium* head blight. *Cereal Res. Commun.*, 25, 741–742. doi: 10.1007/BF03543830
  31. Cheng-he, Z., Jun, C., & Wen-Kui, B. (1986). Selection and characterization of high pH resistant or salt resistant variants from haploid triticale callus (n=28). *Acta Bot. Sin.*, 28(2), 137–144.
  32. Kai-Jun, Z., & Wen-Kui, B. (1993). Preliminary research on the mechanism of the origin of salt-tolerant somaclonal variant in octoploid triticale. *Sci. Agric. Sin.*, 26(5), 25–31.
  33. Wang, X.-J. (1998). Genetic mechanism of the occurrence of salt tolerant variant of octoploid triticale under tissue and cell culture. *Acta Bot. Sin.*, 40(4), 330–336.
  34. Kleijer, G., Diop, N. N., & Fossati, A. (1996). Plant regeneration and *in vitro* selection of triticale. In H. Guedes-Pinto, N. Darvey, & V. P. Carnide (Eds.). *Triticale: Today and Tomorrow. Developments in Plant Breeding* (Vol. 5, pp. 132–144). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
  35. Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Austr. J. Agricult. Res.*, 56(11), 1159–1168. doi: 10.1071/AR05069
  36. Raveena, Bharti, R., & Chaudhary, N. (2019). Drought resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.): a review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 8(9), 1780–1792. doi: 10.20546/ijcmas.2019.809.206
  37. Mwadingeni, L., Shimelis, H., Dube, E., Laing, M. D., & Tsilio, T. J. (2016). Breeding wheat for drought tolerance: Progress and technologies. *J. Integr. Agr.*, 15(5), 935–943 doi: 10.1016/S2095-3119(15)61102-9
  38. Makar, O. O., Patsula, O. I., Kavulych, Y. Z., Batrashkina, T. I., Bunio, L. V., Kozlovskyy, V. I., Vatamaniuk, O., Terek, O. O., & Romanyuk, N. D. (2019). Excized leaf water status as a measure of drought resistance of Ukrainian spring wheat. *Stud. Biol.*, 13(2), 41–54. doi: 10.30970/sbi.1302.604
  39. Tagimanova, D. S., Ergalieva, A. Zh., Rayzer, O. B., & Khapilina, O. N. (2013). Assessment of spring bread wheat genotypes for drought tolerance *in vitro*. *Eurasian Journal of Applied Biotechnology*, 2, 42–46. [in Russian]
  40. Rosseyev, V. M., Belan, I. A., & Rosseyeva, L. P. (2016). The use of *in vitro* method in spring soft wheat selective breeding. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2, 5–9. [in Russian]
  41. Dragiiska, R., Djiljanov, D., Denchev, P., & Atanassov, A. (1996). *In vitro* selection for osmotic tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Bulg. J. Plant Physiol.*, 22(3–4), 30–39.
  42. Gawande, N. D., Mahurkar, D. G., Rathod, T. H., Jahagirdar, S. W., & Shinde, S. M. (2005). *In vitro* screening of wheat genotypes for drought tolerance. *Ann. Plant Physiol.*, 19(2), 162–168.
  43. Galovic, V., Kotaranin, Z., & Dencic, S. (2005). *In vitro* assessment of wheat tolerance to drought. *Genetika*, 37(2), 165–171.
  44. Abdrasheva, K. K., Tagimanova, D. S., Khapilina, O. N., & Kupeshev, Z. S. (2015). *In vitro* selection of varieties of peas and triticale for resistance to abiotic stresses. In *Biology – the Science of the XXI Century: Proc. of 19<sup>th</sup> Int. Pushch. Conf. Young Scient.* (pp. 3–4). April 20–24, 2015, Pushchino, Russia. [in Russian]
  45. Generozova, I. P., Maevskaya, S. N., & Shugaev, A. G. (2009). Inhibition of the metabolic activity of mitochondria of etiolated pea seedlings subjected to water stress. *Plant Physiology*, 56(1), 45–52. [in Russian]
  46. Ahmed, A. (1999). Response of immature embryos *in vitro* regeneration of some wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under different osmotic stress of mannitol. *J. Agric. Sci.*, 30(3), 25–34.
  47. Dubrovna, O. V., Baval, A. V., Zinchenko, M. A., Lyalko, I. I., & Kruglova, N. M. (2011). Effect of osmotic substances on the common wheat callus lines resistant to culture filtrate of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *The Bulletin of Vavilov Society of Geneticists and Breeders of Ukraine*, 9(1), 10–16. [in Ukrainian]
  48. Pykalo, S. V. (2014). *In vitro* selection of genotypes of winter triticale for resistance to osmotic stress. In *Advances in Genetics, Plant Breeding, and Cropping to Improve Grain Production: Collected Abstracts of Int. Sci. Conf. of Young Researchers* (p. 46). June 18, 2014, Myronivka, Ukraine. [in Ukrainian]
  49. Pykalo, S. V., Zinchenko, M. O., Voloshchuk, S. I., & Dubrovna, O. V. (2015). *In vitro* selection of winter triticale for resistance to water deficit. *Biotechnol. Acta*, 8(2), 69–77. [in Ukrainian]. doi: 10.15407/biotech8.02.069
  50. Krasensky, J., & Jonak, C. (2012). Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *J. Exper. Bot.*, 63(4), 1593–1608. doi: 10.1093/jxb/err460
  51. Bartels, D., & Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 24(1), 23–58. doi: 10.1080/07352680590910410
  52. Richards, R. A., Dennett, C. W., Qualset, C. O., Epstein, E., Norlyn, J. D., & Winslow, M. D. (1987). Variation in yield of grain and biomass in wheat, barley, and triticale in a salt-affected field. *Field Crops Res.*, 15(3–4), 277–287.
  53. Semushina, L. A., & Sinelnikova, V. N. (1977). Guidelines for Using Vegetation Methods in Studying the Salt Tolerance of Annual Agricultural Plants. Leningrad: All-Union Research Institute of Plant Production. [in Russian]
  54. Munns, R., & James, R. A. (2003). Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and Soil*, 253(1), 201–218. doi: 10.1023/A:1024553303144
  55. Sudyova, V., Slikova, S., & Galova, Z. (2002). Testing wheat (*Triticum aestivum* L.) and triticale (*Triticosecale* Witt.) callus to salt tolerance. *Acta Fytotechn. Zootechn.*, 3, 67–71.
  56. Pykalo, S. V., Dubrovna, O. V., & Demydov O. A. (2017). Cell selection of winter triticale for resistance to salt stress. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 20, 247–251. [in Ukrainian]
  57. Bezirganoğlu, İ. (2017). Response of five triticale genotypes to salt stress in *in vitro* culture. *Turk. J. Agric. For.*, 41(5), 372–380.
  58. Voloshchuk, S. I. (2014). Induced androgenesis in winter triticale breeding. *News of Agrarian Sciences*, 3, 36–40. [in Ukrainian]
  59. Pykalo, S. V., & Voloshchuk, S. I. (2014). The study of tolerance to salinity of winter triticale genotypes using isolated microspores culture. *Plant Physiology and Genetics*, 46(3), 267–273. [in Ukrainian]
  60. Barcelo, J., & Poschenrieder, C. (2002). Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. *Environ. Exp. Bot.*, 48(1), 75–92. doi: 10.1016/S0098-8472(02)00013-8
  61. Dinev, N., & Stancheva, I. (1993). Effect of aluminum on the growth of wheat, rye, and triticale. *Plant Nutr.*, 16(3), 461–469. doi: 10.1080/01904169309364545
  62. Zhang, X. G., & Jessop, R. S. (2002). Differential responses to selection for aluminium stress tolerance in triticale. *Aust. J. Agric. Res.*, 53(12), 1295–1303. doi: 10.1071/AR01187
  63. Samac, D. A., & Tesfaye, M. (2003). Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils – a review. *Plant Cell, Tiss. Organ Cult.*, 75(3), 189–207. doi: 10.1023/A:1025843829545

64. Bona, L., & Carver, B. F. (1998). A proposed scale for quantifying aluminum tolerance levels in wheat and barley detected by hematoxylin staining. *Cereal Res. Commun.*, 26(1), 97–99. doi: 10.1007/BF03543474
65. Morath, D., Oettler, G., & Melchinger, A. E. (1996). Screening methods for aluminium tolerance in seedlings of triticale. In H. Guedes-Pinto, N. Darvey, & V. P. Carnide (Eds.). *Triticale: Today and Tomorrow. Developments in Plant Breeding* (Vol. 5, pp. 453–459). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
66. Kolesnikova, N. N. (2013). Assessment of spring triticale for resistance to aluminum toxicity. In *Cell Biology and Plant Biotechnology: Proc. Int. Sci. Conf.* (p. 98). February 13–15, 2013, Pinsk, Belarus. [in Russian]
67. Conner, A. J., & Meredith, C. P. (1985). Large scale selection of aluminum-resistant mutants from plant cell culture: expression and inheritance in seedlings. *Theor. Appl. Genet.*, 71(2), 159–165. doi: 10.1007/BF00252050
68. Gaus, C. S., Oettler, G., & Hesemann, C.-U. (1996). Response of mature triticale embryos to aluminium-toxic callus induction media. In H. Guedes-Pinto, N. Darvey, & V. P. Carnide (Eds.). *Triticale: Today and Tomorrow. Developments in Plant Breeding* (Vol. 5, pp. 365–371). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
69. Pat. 136957 UA, IPC A01H 1/04, The method of in vitro selection of aluminum-resistant genotypes of winter triticale, Pykalo, S. V., Demydov, O. A., Voloshchuk, S. I., Kharchenko, M. V., Publ. 25.09.2019. [in Ukrainian]
70. Farshadfar, E., Jamshidi, B., Cheghamirza, K., & da Silva, J. A. T. (2012). Evaluation of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using *in vivo* and *in vitro* techniques. *Ann. Biol. Res.*, 3(1), 465–476.

## Селекция *in vitro* тритикале на устойчивость к абиотическим стрессовым факторам (обзор)

Пыкало С. В., кандидат биологических наук

Мироновский институт пшеницы имени В. Н. Ремесло НААН  
Украина, 08853, с. Центральное, Мироновский район Киевской обл.  
e-mail: pykserg@ukr.net

Значительным достижением современной генетики и селекции растений является создание новой зерновой культуры – тритикале, сорта которого успешно внедряются в сельскохозяйственное производство. Однако в разные годы производство зерна этого злака нестабильно. Основными факторами ограничения продуктивности сельскохозяйственных культур и тритикале в частности являются абиотические стрессоры. Поэтому важное значение для селекционного улучшения тритикале имеет его устойчивость к абиотическим стрессовым факторам окружающей среды, что позволит увеличить площади этой культуры в районах с неблагоприятными климатическими условиями. Значимым в селекции тритикале является использование клеточных технологий, благодаря которым создается генетическое разнообразие на уровне соматических клеток, с последующим скринингом генотипов, имеющих ценные признаки. Одним из инновационных направлений, позволяющих расширить спектр исходного материала и активизировать селекционный процесс, нацеленный на создание высокопродуктивных устойчивых сортов, является селекция *in vitro*. В представленном обзоре освещены основные достижения отечественных и зарубежных ученых касательно селекции *in vitro*

тритикале на устойчивость к абиотическим стрессовым факторам окружающей среды, в частности водному дефициту, засолению, загрязнению ионами алюминия. Определены основные направления, методы отбора и оценки, а также возможности, перспективы и проблемы клеточной селекции – одной из важнейших отраслей современной биотехнологии растений. Анализ литературных источников свидетельствует, что несмотря на успехи и значительные достижения в развитии и использовании клеточных технологий, остается нерешенным ряд методических проблем, что снижает масштабы внедрения биотехнологических разработок в практику. Дальнейший прогресс в клеточной селекции тритикале зависит не только от развития клеточных технологий, но и от более глубокого познания молекулярных механизмов регуляции и экспрессии генов устойчивости. Изучение особенностей и механизмов геномной изменчивости *in vitro* тритикале при воздействии абиотических стрессоров и поиски путей ее регуляции позволят более эффективно использовать технологию клеточной селекции, соматическую изменчивость и другие биотехнологические подходы.

**Ключевые слова:** тритикале, клеточная селекция, водный дефицит, засоление, ионы алюминия, устойчивость

## *In vitro* selection of triticale for tolerance to abiotic stress factors (a review)

Pykalo S. V., Candidate of Biological Sciences

The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS  
Tsentralne village, Myronivka district, Kyiv region, 08853, Ukraine  
e-mail: pykserg@ukr.net

Creation of new grain crop triticale is a significant achievement of modern genetics and plant breeding. Its varieties are successfully introduced into agricultural production. However, over the years grain production of this cereal crop is unstable. Abiotic stressors are the main factors limiting productivity of crops and triticale in particular. Therefore, the tolerance to abiotic environmental stress factors is important for breeding improvement of triticale that will increase the crop area in regions with adverse climatic conditions. Use of cell technologies is significant in triticale breeding because they create genetic diversity at the level of somatic cells followed by screening genotypes with valuable traits. *In vitro* selection is one of the modern innovative directions that allow to expand the range of source material and activate breeding process aimed at creating high-performance tolerant varieties. The review highlights the main achievements of Ukrainian and foreign scientists regarding to *in vitro* selection of triticale for tolerance to abiotic environmental stress factors, including water deficit, salinity, aluminum ions. The main directions,

selection and assessment methods, as well as opportunities, prospects, and problems of one of the most important branches of modern plant biotechnology are identified. The results of analysing literary sources indicate that despite the successes and significant achievements in development and use of cellular technologies, a number of methodological problems that reduce the scale of the introduction of biotechnological creations into practice remain unresolved. Further progress in the cell selection of triticale depends not only on the development of cellular technologies, but also on a deeper understanding molecular mechanisms of regulation and expression of tolerance genes. Studying the features and mechanisms of *in vitro* genomic variation of triticale when exposed to abiotic stressors and searching for ways to regulate it will allow more efficiently use cell selection technology, somaclonal variation, and more biotechnological approaches.

**Key words:** Triticale, *in vitro* selection, water deficit, salinity, aluminum ions, tolerance