

СЕЛЕКЦІЯ

УДК 633.854.78:631.527:631.524.8

DOI: <https://doi.org/10.31359/2413-7642-2025-1-131>

В.В. Антоненко, аспірант

Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

СЕЛЕКЦІЙНЕ ПОЛПШЕННЯ АМАРАНТУ

У статті висвітлено сучасні підходи до селекційного вдосконалення амаранту (*Amaranthus spp.*) як перспективної нішевої культури, здатної забезпечити продовольчу та функціональну безпеку в умовах глобальних кліматичних змін. Наведено аналіз морфологічних, біохімічних та генетичних ознак, що мають селекційну цінність, зокрема вміст білка, лізину, сквалену, а також показники врожайності, адаптивності та стійкості до абіотичних стресів. Обговорено перспективи використання біотехнологічних методів, таких як маркерна селекція, геномне редагування (CRISPR/Cas9), а також інтеграція іноземного генофонду для підвищення адаптивності та харчової цінності нових сортів. Представлено результати польових досліджень та порівняльну характеристику сортів за агрономічними показниками. Наголошено на потребі подальшого розвитку генетичних ресурсів, молекулярної селекції та агротехнічного супроводу вирощування культури в різних агрокліматичних зонах України. Запропоновано стратегії поєднання традиційних і сучасних методів селекції для створення високопродуктивних, стійких та поживно цінних сортів амаранту, здатних ефективно реагувати на виклики сучасного сільського господарства.

Ключові слова: амарант, селекція, продуктивність, абіотичні стреси, генетичні ресурси, сортове різноманіття, біотехнології, адаптивність.

Вступ. У сучасних умовах глобальних змін клімату, зростання населення та обмежених ресурсів сільське господарство стикається з викликами забезпечення продовольчої безпеки та підвищення якості харчових продуктів. У цьому контексті зростає інтерес до малопоширених культур, зокрема амаранту (*Amaranthus spp.*), який вирізняється високою поживною цінністю, здатністю адаптуватися до несприятливих умов та значним селекційним потенціалом [46].

Амарант — це однорічна рослина з добре розвинутою кореневою системою, прямостоячим стеблом, яке може сягати 150–250 см заввишки, великим листям (довжина до 20 см), і характерним щільним суцвіттям-волоттю. Морфологічні показники, зокрема висота рослин, площа листової поверхні, довжина і маса суцвіття, кількість насіння з рослини, мають велике значення для оцінки продуктивного потенціалу сортів [48].

Насіння амаранту — дрібне (діаметром 1–1,5 мм), сферичної форми, з блискучою поверхнею, забарвлення якого варіює від

кремового до чорного. У контексті селекції важливими ознаками є маса 1000 насінин, рівень обсіпання, щільність розміщення насіння у суцвітті, а також співвідношення між вегетативною та генеративною масою рослини [47].

Насіння містить високоякісний білок із збалансованим амінокислотним складом, включаючи лізин та метіонін, що рідко зустрічаються в основних зернових культурах [48]. Крім того, зерно багате на харчові волокна, антиоксиданти, мінерали, вітаміни та біологічно активні речовини, зокрема сквален [47].

Завдяки фотосинтезу типу C₄, амарант проявляє високу ефективність використання води та відносну стійкість до посухи, що є важливою перевагою в умовах змін клімату [15]. Проте селекційна робота з амарантом значно поступається за обсягом і результатами дослідженням традиційних культур, що обумовлює необхідність активізації наукових зусиль у цьому напрямі.

Науковці акцентують увагу на вивченні генетичного різноманіття, виявленні цінних алелів та розробці методів ефективної селекції. Зокрема, використовуються такі підходи як міжвидова гібридизація, мутагенез, маркерна селекція та сучасні біотехнологічні інструменти, включаючи CRISPR/Cas-редагування геному [4].

В Україні амарант успішно вирощується в різних агрокліматичних зонах, демонструючи високу адаптивність. За результатами досліджень [45], врожайність культури варіює залежно від сорту, агротехніки, рівня мінерального живлення та морфологічних особливостей, що підкреслює значення комплексної оцінки сортів у процесі селекції.

Таким чином, селекційне поліпшення амаранту на продуктивність та якість зерна з урахуванням морфологічних характеристик є важливим і перспективним напрямом сучасної аграрної науки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Амарант (*Amaranthus spp.*) останніми роками викликає значний науковий інтерес через поєднання високої біологічної цінності зерна, адаптації до екстремальних умов вирощування та перспектив для сталого землеробства. Останні дослідження вказують на важливість комплексного підходу до селекції, що включає як традиційні морфологічні, так і молекулярно-генетичні методи.

Стеттер разом з колегами розглянули еволюційні аспекти та генетичні ресурси амаранту, акцентуючи на важливості популяційного аналізу для селекційних програм [41, 42]. Гелотар та співавтори використали ISSR-маркери для оцінки генетичної різноманітності, що є важливою передумовою для селекції високопродуктивних генотипів [8]. Аналогічно, дослідження Нгуєна підтвердили генетичну

варіабельність серед в'єтнамських зразків *Amaranthus tricolor* L., що відкриває перспективи для виведення нових сортів з підвищеною якістю зерна [30].

Кумар і співавтору своїй оглядовій роботі систематизували сучасні селекційні підходи, включно з CRISPR/Cas-редагуванням, для вдосконалення агрономічних ознак амаранту зосередилися на біомасі як селекційній цілі, дослідивши продуктивність ранньостиглих і пізньостиглих генотипів [6, 18]. Саркер та Оба у серії публікацій [37–39] систематично аналізували мінливість, спадковість та кореляційні зв'язки між ознаками у овочевих форм амаранту, що також має значення для зернових сортів.

Амарант (*Amaranthus spp.*) відомий своєю здатністю адаптуватися до несприятливих умов середовища, зокрема до посухи та засолення ґрунтів. Ця толерантність обумовлена поєднанням морфофізіологічних та молекулярних механізмів, що дозволяють рослині зберігати продуктивність в екстремальних умовах.

Дослідження, проведені в Італії, показали, що *Amaranthus hypochondriacus* може зберігати якість зерна навіть за умов обмеженого зрошення та підвищеної солоності води, що робить його перспективною культурою для вирощування в маргінальних умовах [35]. У цьому дослідженні встановлено, що якість зерна залишалася стабільною, незважаючи на різні режими зрошення та рівні солоності води.

На молекулярному рівні, гени, пов'язані з адаптацією до абіотичних стресів, відіграють ключову роль у толерантності амаранту. Наприклад, ген AhDGR2, який кодує білок родини DUF642, був значно індукований у рослинах *Amaranthus hypochondriacus* під впливом водного дефіциту та соляного стресу, що свідчить про його участь у толерантності до абіотичних стресів [33].

Крім того, дослідження показали, що трансгенні рослини *Arabidopsis*, які експресують ген AtrTCP1 з амаранту, демонструють підвищену толерантність до соляного стресу, що вказує на потенціал використання цього гена в селекційних програмах для покращення стійкості до абіотичних стресів [22].

В Україні дослідження адаптації амаранту до абіотичних стресів також активно проводяться.

Агротехнічні заходи, зокрема застосування різних типів добрив, мають суттєвий вплив на врожайність та якість амаранту. Дослідження показують, що як органічні, так і мінеральні добрива можуть значно покращити агрономічні показники сортів.

Кунене та співавтору встановили, що внесення як органічних (20–40 т/га гною), так і мінеральних добрив (100–150 кг/га NPK) сприяє значному підвищенню росту та врожайності *Amaranthus hybridus*,

причому ефект був подібним у обох варіантів [21].

Матшона з колегами досліджували вплив різних доз азотних добрив і виявили, що їх застосування до 150 кг/га підвищує врожайність листя амаранту та вміст білка, при цьому мінеральні добрива давали вищу суху речовину і білок, ніж органічні [27].

Ахмад та співавтор провели порівняльну оцінку впливу органічних (курячий послід, гній) і мінеральних (сечовина) добрив на ріст *Amaranthus dubius*. Мінеральні добрива показали кращі результати щодо приросту біомаси та кількості листків [3].

Айоделе встановив, що оптимальна доза азоту (100–200 кг/га) значно підвищує врожайність *A. hybridus* і *A. hypochondriacus*. Для *A. hybridus* вона досягала 75% приросту врожаю листя [5].

Дослідження Брессані з колегами показали, що застосування добрив не лише підвищувало врожай, але й збільшувало вміст білка в зерні трьох видів амаранту, особливо в *A. caudatus*, хоча зміна якості білка була незначною [7].

Селекційна робота з амарантом в Україні спрямована на створення високопродуктивних сортів із покращеними агрономічними та якісними характеристиками зерна. Зокрема, сорти Харківський 1, Лера та Ацтек демонструють високий вміст білка (20,2–24,9%) та лізину (0,85–0,91%), що робить їх перспективними для харчового використання [45].

Українські науковці приділяють значну увагу амаранту як перспективній культурі для вирощування в умовах змін клімату. Вагомий внесок у цю галузь зробили Т.І. Гопцій та її колеги.

Гопцій Т.І. досліджувала агроекологічні та агротехнічні основи вирощування амаранту в умовах Лівобережного Лісостепу України. Вона обгрунтувала доцільність введення цієї культури в сівозміни. [9].

У подальших публікаціях розглядаються селекційні аспекти, зокрема добір сортів з високим вмістом білка, стійкістю до посухи та адаптивністю до умов вирощування. Було доведено, що сорти за сприятливих умов забезпечують врожайність на рівні 3,0–3,4 т/га зерна [12].

Також спільно з Гудковською проведено експерименти, в яких вивчали вплив строків сівби та способів висіву на формування продуктивності амаранту. Встановлено, що найвищу продуктивність забезпечували посіви в першій декаді травня широкорядним способом [13].

Дослідження цих науковців є основою для формування національних селекційних програм, спрямованих на створення сортів амаранту з підвищеним вмістом білка, стабільною врожайністю та адаптацією до умов посушливих регіонів України.

Як зазначають Тируса та Лихочвор сорт Харківський 1

забезпечував найвищу врожайність зерна (до 4,03 т/га) в умовах Західного Лісостепу України [45].

У дослідженнях Яценка було вивчено вплив гідрогелю MaxiMargin на продуктивність сортів Харківський 1, Геліос та Сем. Застосування гідрогелю сприяло підвищенню врожайності зеленої маси та покращенню якості зерна, що свідчить про ефективність інтеграції селекційних та агротехнічних заходів [48].

Таким чином, селекційне поліпшення амаранту в Україні є комплексним і багатовекторним, охоплюючи як адаптацію до умов вирощування, так і формування покращених показників продуктивності та якості зерна у комплексі з агротехнічними заходами.

Матеріали і методи досліджень. Під час підготовки статті використано джерела з відкритим доступом, включно з науковими статтями, монографіями, а також результатами експериментальних досліджень, опублікованих у міжнародних базах даних. До аналізу включено рецензовані публікації, що висвітлюють результати досліджень з селекції, агротехніки та оцінки якості зерна амаранту. Основним критерієм відбору джерел були: наявність відкритого доступу, наукова цінність, рецензування. Перевагу надавали публікаціям останніх десяти років, у яких розглянуто сучасні методи селекції та агротехнічного вдосконалення культури амаранту.

Для аналізу літератури застосовано систематичний підхід: визначення ключових тем, порівняння методів оцінки врожайності, якості та стабільності сортів. Вивчалися як польові експерименти, так і результати біохімічних та молекулярно-генетичних досліджень.

Результати досліджень та їх обговорення. Селекційні дослідження амаранту спрямовані на вирішення кількох важливих агрономічних і харчових завдань, що включають підвищення врожайності, поліпшення якості зерна, забезпечення стійкості до стресів та впровадження сучасних технологій селекції.

Одним із провідних напрямків є підвищення врожайності та адаптивності сортів. Завдяки значній генетичній різноманітності, доступній серед існуючих видів амаранту, з'являються широкі можливості для виведення сортів, адаптованих до різних кліматичних умов. Дослідження свідчать про успішне використання фенотипових відборів для досягнення високої врожайності у різних регіонах [15, 16].

Другим напрямком є поліпшення харчової якості зерна, зокрема вмісту білка, лізину, кальцію, заліза та цинку. Сучасні селекційні програми спрямовані на створення сортів з вищим вмістом поживних речовин та зниженням рівнем антинутрієнтів [20, 25].

Важливим завданням також є підвищення стійкості до абіотичних та біотичних стресів, таких як посуха, засоленість ґрунтів, хвороби і шкідники. Розробка сортів з високою стійкістю дозволяє забезпечити

стабільну продуктивність навіть за несприятливих умов [17].

Ще одним важливим напрямом є використання біотехнологічних методів, таких як молекулярна маркерна селекція, геномна селекція та редагування геному. Вони дозволяють скоротити час селекційного процесу та точніше виводити сорти з бажаними ознаками [20, 41, 42].

Нарешті, участь фермерів у селекційних програмах сприяє практичному впровадженню результатів на місцях. Такий підхід дозволяє адаптувати сорти відповідно до локальних потреб, підвищуючи їх прийнятність та ефективність у реальних господарських умовах [31].

Селекційні технології, що застосовуються до амаранту, відзначаються великою варіативністю. Ключовими напрямами сучасної селекції є традиційний фенотиповий відбір, впровадження біотехнологічних методів та геномна селекція [37, 38].

Традиційна селекція базується на багаторазовому відборі найкращих форм за ознаками врожайності, якості зерна, стійкості до стресів та адаптивності. В Україні ці підходи активно використовуються у наукових установах, зокрема в Державному біотехнологічному університеті, де було створено низку вітчизняних сортів амаранту, таких як Харківський-1, Лера, Ультра [2]. За словами українських дослідників, саме традиційна селекція дає змогу адаптувати сорти до конкретних кліматичних зон та забезпечити стабільну врожайність у виробництві [9, 11].

Біотехнологія в селекції амаранту охоплює молекулярно-генетичні маркери, індукований мутагенез, генетичну трансформацію та геномне редагування. Наприклад, використання маркерної селекції дозволяє відібрати генотипи з високим вмістом білка або адаптивними ознаками без необхідності багаторічних польових дослідів [20].

Геномна селекція є новітнім напрямом, який базується на прогнозуванні цінності генотипу за допомогою повногеномного профілю. Такий підхід дозволяє пришвидшити селекційний процес у 2–3 рази. Як свідчать результати досліджень [41, 42], впровадження цього методу в селекцію амаранту дає змогу досягти вищої точності у доборі ознак, що є складними за своєю спадковістю. Таким чином, поєднання традиційних і сучасних методів селекції дозволяє створювати високопродуктивні, стійкі та якісні сорти амаранту, які відповідають викликам сучасного сільського господарства.

У результаті досліджень українських науковців було визначено низку сортів амаранту, які демонструють високі показники врожайності, якості зерна та адаптивності до умов вирощування в Україні (табл. 1).

1. Порівняльна характеристика сортів амаранту за основними господарськими ознаками

Сорт	Висота рослини (см)	Веgetаційний період (днів)	Вміст білка (%)	Вміст олії (%)	Урожайність зерна (т/га)	Стійкість до вилягання (балів)	Стійкість до обеспиання (балів)
Харківський 1	160	120	24,9	8,0	5,0	9	9
Ультра	140	85	22,0	5,0	2,5	9	9
Студентський	125	125	18,6	4,0	3,0	9	9
Лера	200	110	20,6	9,0	4,0	9	8

Сорт амаранту Харківський 1 створено шляхом індивідуального добору з популяції *Amaranthus hypochondriacus* у Харківському національному аграрному університеті ім. В.В. Докучаєва (нині Державний біотехнологічний університет) під керівництвом доктора сільськогосподарських наук Тетяни Іванівни Гопцій [11]. З 2001 року сорт внесено до Державного реєстру сортів рослин України як лікарський [43].

Рослини цього сорту мають висоту до 160 см, зелене стебло та листя, а також компактну білу волоть до 60 см завдовжки. Насіння дрібне, біле, маса 1000 насінин становить 0,65 г, вміст олії — до 8%. Веgetаційний період триває близько 120 днів. Завдяки кореневій системі, яка сягає до 7 м у глибину, рослини характеризуються високою посухостійкістю [11,34].

Основну цінність сорту визначає високий вміст білка — до 24,9%, а також лізину — до 0,91% [23]. Крім того, зерно містить значну кількість незамінних амінокислот — треонін, триптофан, ізoleyцин, що забезпечує високу харчову цінність сорту. За результатами досліджень, білок амаранту за амінокислотним складом наближається до ідеального [29].

Олія насіння Харківський 1 багата на сквален, токофероли, фітостероли та інші біологічно активні речовини. Ці компоненти зумовлюють її перспективність для застосування у фармацевтичній промисловості, зокрема для профілактики цукрового діабету другого типу та виразкової хвороби [43].

Сорт Ультра було створено в Харківському національному аграрному університеті ім. В.В. Докучаєва (нині ДБТУ) шляхом хімічного мутагенезу, що підтверджується в роботах українських вчених [12]. Він належить до виду *Amaranthus hybridus* і характеризується ранньостиглістю, з веgetаційним періодом 70–90 днів залежно від регіону вирощування [11].

Рослини сорту досягають висоти 120–150 см, мають світло-зелене стебло та листя. Суцвіття — жовто-коричнева волоть довжиною до 70 см. Насіння біле, дрібне, не схильне до обсипання, що полегшує механізоване збирання врожаю [12].

Сорт стійкий до вилягання та обсипання, що забезпечує стабільну врожайність. Він рекомендований для вирощування в різних агрокліматичних зонах України, включаючи Полісся, Лісостеп та Степ [12].

Вміст олії в насінні сорту Ультра становить до 8%, що робить його перспективним для використання в харчовій та фармацевтичній промисловості [12]. Зерно широко використовується для виробництва круп, борошна, макаронних виробів, а також у кондитерській промисловості.

Дослідження, проведені в Львівському національному університеті природокористування, показали, що сорт Ультра має висоту рослин 162 см, вагу однієї рослини 267 г, кількість рослин на м² — 18 шт., урожайність зеленої маси — 48 т/га [44, 45]. Ці показники свідчать про його ефективність як сидеральної культури.

Сорт Студентський є одним з перспективних сортів амаранту, який демонструє стабільну врожайність та адаптивність до умов вирощування в Україні. Дослідження показали, що цей сорт має високий вміст білка та інших поживних речовин, що робить його привабливим для подальшого використання у селекційних програмах [45]. Сорт було створено в Харківському національному аграрному університеті ім. В.В. Докучаєва шляхом індивідуального добору із зразка *Amaranthus hypochondriacus* K-1267 [12]. У 2009 році його було зареєстровано в Державному реєстрі сортів рослин України. Сорт належить до середньопізньої групи стиглості з вегетаційним періодом близько 125 днів.

Рослини досягають висоти до 125 см, мають руде стебло та зелене листя з рудими прожилками. Суцвіття — компактна руда волоть довжиною до 40 см. Насіння біле, маса 1000 насінин становить 0,8 г. Сорт характеризується високою стійкістю до вилягання та обсипання (9 балів) [43].

За результатами досліджень, проведених на дослідному полі Державного біотехнологічного університету, сорт Студентський продемонстрував високий адаптивний потенціал та стабільну врожайність у східній частині Лівобережного Лісостепу України. Зокрема, вміст білка в насінні становить 18,6%, а врожайність насіння — до 30 ц/га [10].

Сорт рекомендований для вирощування в агрокліматичних зонах Полісся, Лісостепу та Степу України. Завдяки високому вмісту білка та стійкості до несприятливих умов, сорт Студентський є перспективним

для використання в харчовій та кормовій промисловості [12]. Сорт Лера було створено в Харківському національному аграрному університеті ім. В.В. Докучаєва (нині Державний біотехнологічний університет) шляхом індивідуального добору зразка *Amaranthus hypochondriacus* К-14. У 2002 році сорт було занесено до Державного реєстру сортів рослин України [12]. Рослини сорту Лера досягають висоти 170–220 см. Стебло зелене, листя зелене з червоними прожилками. Суцвіття — компактна червона волоть довжиною до 54 см. Насіння біле, маса 1000 насінин становить 0,7 г. Сорт характеризується високою стійкістю до вилягання та обсипання [10].

Веgetаційний період становить 105–110 днів. Сорт має високу врожайність: насіння — до 4 т/га, зелена маса — до 150 т/га, також відзначається високим вмістом білка (до 24,9%), лізину (0,85–0,91%), та олії — 8–10% що робить його цінним для харчової промисловості [23]. Лера рекомендований для вирощування в агрокліматичних зонах Лісостепу, Полісся та Степу України [12] (рис. 1).

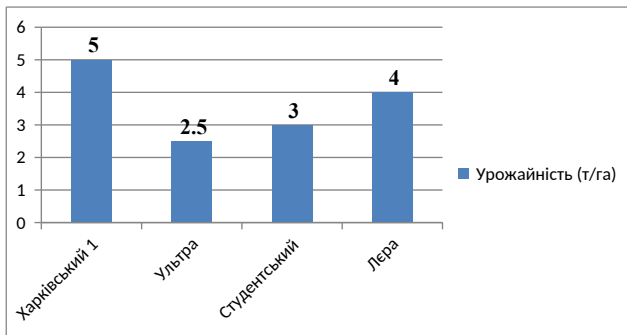


Рис. 1. Порівняння врожайності сортів амаранту української селекції [12]

На сьогодні в Україні переважають вітчизняні сорти амаранту, а іноземні займають лише близько 5% ринку. Проте деякі зарубіжні сорти мають значний потенціал для використання в селекційних програмах, спрямованих на підвищення врожайності, вмісту олії та адаптації до різних кліматичних умов.

Іноземні сорти амаранту становлять значний інтерес для селекційної науки в Україні, оскільки характеризуються різноманітністю морфологічних, біохімічних та агрономічних ознак, що можуть бути цінними при створенні нових високопродуктивних і адаптованих сортів. Зокрема, гібриди американської селекції *Amaranthus cruentus* та *Amaranthus hypochondriacus* відомі своєю високою врожайністю, а також високим вмістом олії та білка [40].

Дослідження показали, що сорти з Центральної та Південної Америки, особливо *Amaranthus caudatus*, мають вищу антиоксидантну активність, що пояснюється високим вмістом фенольних сполук, сквалену, токоферолів та флавоноїдів. Ці характеристики є надзвичайно важливими для розробки сортів з покращеною харчовою цінністю та стійкістю до біотичних стресів [26].

Залучення таких сортів до селекційного процесу в Україні дозволить не лише підвищити генетичну різноманітність, а й створити сорти, більш стійкі до кліматичних змін. Крім того, ці сорти демонструють високу адаптивність, що є вирішальним чинником для стабільного виробництва в умовах кліматичних коливань [26, 40].

Сорти амаранту, розглянуті в даному дослідженні – Харківський-1, Ультра, Студентський та Лера, мають суттєве значення як джерела цінних господарських ознак у селекції культури на продуктивність та якість зерна (рис. 2).

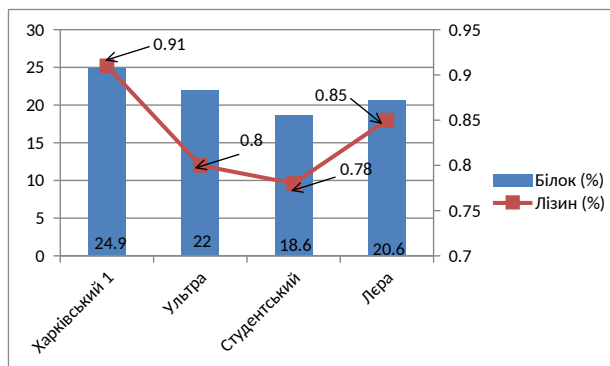


Рис. 2. Вміст білка та лізину в досліджуваних сортах [23, 24]

Кожен із них володіє специфічними перевагами, що дозволяють використовувати їх у якості батьківських форм або вихідного матеріалу у програмах гібридизації.

Сорт Харківський 1 є одним із найбільш вивчених і стабільних за агрономічними характеристиками. Його висока врожайність (до 5 т/га), вміст білка (до 24,9%) та лізину (до 0,91%) роблять його ідеальним донором для підвищення харчової цінності зерна в нових сортах [23].

Сорт Ультра має короткий вегетаційний період (80–95 днів), що забезпечує можливість вирощування культури в умовах короткого теплового періоду або як повторної культури. Він може бути використаний як джерело ранньостиглості та стійкості до вилягання [12].

Сорт Студентський відзначається стабільною врожайністю, високою адаптивністю до умов Лівобережного Лісостепу та помірним

вмістом білка. Його стійкість до абіотичних чинників та пластичність дозволяють використовувати його в селекції на стресостійкість [10, 12, 24].

Сорт Лера є перспективним джерелом ознак високої зеленої маси (до 150 т/га) та підвищеного вмісту олії (до 10%), що відкриває можливості для селекції на універсальні сорти — зерно-кормові та зерно-олійні [12].

Комбінування цінних ознак з вітчизняних сортів з адаптивністю іноземного генофонду, зокрема з сортів *Amaranthus caudatus* та *Amaranthus cruentus*, дозволяє створювати високопродуктивні, поживні та стійкі до кліматичних стресів сорти нового покоління [40].

Незважаючи на значний прогрес у селекції амаранту, зокрема у створенні вітчизняних сортів із високою врожайністю та харчовою цінністю, існують певні наукові прогалини, що стримують подальший розвиток цієї культури. Насамперед, це стосується обмеженої кількості досліджень із функціональної геноміки та браку доступних молекулярно-генетичних маркерів, які дозволили б прискорити процес створення нових сортів [28]. Хоча транскриптомні аналізи *Amaranthus hypochondriacus* вже ідентифікували низку генів, пов'язаних із біотичними й абіотичними стресами, цей напрям досі перебуває на ранній стадії розвитку.

Ще однією суттєвою прогалиною є обмежене вивчення впливу агротехнічних заходів на якість зерна амаранту та здатність різних сортів адаптуватися до змін клімату. Наукові дані щодо впливу густоти посіву, рівня мінерального живлення та зрошення на хімічний склад зерна є фрагментарними й не систематизованими [10].

Крім того, в Україні недостатньо розвинені колекції генетичних ресурсів амаранту, що знижує можливості селекційного відбору за ознаками стійкості, адаптивності та харчової цінності. Також, лише поодинокі дослідження присвячені оцінці впливу агротехнічних факторів, таких як режим зрошення, щільність посіву, застосування добрив, на хімічний склад зерна та адаптаційний потенціал нових сортів до умов глобальних змін клімату [10].

Для подальшого розвитку селекції амаранту необхідно розширити дослідження генетичного різноманіття, зокрема шляхом збору та збереження диких і культурних форм у спеціалізованих банках генетичних ресурсів. Це створить передумови для виявлення нових джерел ознак, таких як стійкість до посухи, вилягання, підвищена вміст білка чи олії.

Крім того, доцільно впроваджувати сучасні біотехнологічні підходи, зокрема технології точного редагування геному, такі як CRISPR/Cas9. Перші кроки в цьому напрямі зроблено завдяки розробці систем редагування на основі плазмід та тестуванню *in vitro*-регенерації

у *Amaranthus cruentus* [16]. Такі підходи відкривають нові перспективи у створенні сортів із заданими ознаками.

Паралельно з цим, необхідно проводити агротехнологічні дослідження з вивчення впливу основних елементів вирощування — густоти посіву, добрив, поливу — на фізіолого-біохімічні показники продукції. Це дозволить не лише підвищити продуктивність, а й адаптувати сорти до змін клімату та регіональних особливостей вирощування [10].

Ключовим напрямом має стати створення сортів з широкою екологічною пластичністю, здатністю забезпечувати стабільну врожайність за умов стресових факторів довкілля, а також підвищеним вмістом функціональних компонентів для харчової і фармацевтичної промисловості. Такий інтегрований підхід дозволить Україні посісти конкурентну нішу у вирощуванні та переробці амаранту як стратегічної нішевої культури.

Таким чином, подальший розвиток селекції амаранту має базуватись на інтеграції класичних та молекулярно-біотехнологічних підходів у поєднанні з агроекологічним моніторингом для забезпечення продовольчої безпеки України.

Висновки. На основі проведеного аналізу встановлено, що амарант є надзвичайно перспективною культурою для селекційного вдосконалення в умовах України завдяки високій адаптивності, поживній цінності зерна та стійкості до абіотичних стресів. Результати досліджень доводять, що українські сорти, зокрема Харківський 1, Ультра, Студентський та Лера, мають значний потенціал для подальшого використання як вихідний матеріал у селекції. Водночас інтеграція іноземних сортів з високим вмістом біоактивних речовин і генетичним різноманіттям розширює селекційні можливості. Впровадження біотехнологічних методів, зокрема CRISPR/Cas-редагування, та системна агротехнічна оптимізація сприятимуть створенню нових, високопродуктивних сортів амаранту, придатних до умов змін клімату. Таким чином, селекція амаранту в Україні має науково обґрунтовану перспективу та практичне значення для забезпечення продовольчої безпеки України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abebe, T., & Feyissa, T. Multivariate analysis for yield and yield-related traits of amaranth (*Amaranthus* spp.) genotypes in Ethiopia. *Heliyon*, 9(1), 2023.
2. AgroPortal.ua.URL: <https://agroportal.ua/news/rasteniievodstvo/vukrajini-nalichuyetsya-19-sortiv-amarantu-ale-siyut-perevazhno-tri>

3. Ahmad, A.T., Bello, I.U., Jibril, S.M., Kolawole, O.S., Ogah, J.J., & Daniel, S. Comparative evaluation of the effects of organic and inorganic fertilizers on the vegetative growth of spleen amaranth (*Amaranthus dubius* L). *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(2), 2019. P: 243–247.
4. Anuradha, M., Kumari, M., Zinta, G., et al. Genetic resources and breeding approaches for improvement of amaranth. *Frontiers in Nutrition*, 10. 2023.
5. Ayodele, V.I. Influence of nitrogen fertilisation on yield of *Amaranthus* species. *Acta Horticulturae*, 571, 2002. P:89–94. Doi:10.17660.2002.571.9
6. Bergholz A., Stetter M.G., Schmid K.J. Breeding Amaranth for Biomass: Evaluating Dry Matter Content and Biomass Potential. *Agronomy*, 11(5), 2021. Doi:10.3390/11050970
7. Bressani, R., Gonzalez, J.M., Elias, L.G., & Melgar, M. (1987). Effect of fertilizer application on the yield, protein and fat content, and protein quality of raw and cooked grain of three amaranth species. *Plant Foods for Human Nutrition*, 37, 59–67.
8. Gelotar M.J., Dharajiya D.T., Solanki S.D. et al. (2019). Genetic diversity analysis and molecular characterization of grain amaranth genotypes using ISSR markers. *Bull Natl Res Cent*, 43:103. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0146-2>
9. Hoptsi T.I. (2004). Ahroekolohichni i ahrotekhnichni osnovy vvedennia amarantu v kulturu v Livoberezhnomu Lisostepu Ukrainy (Avtoreferat dys. d-ra s.-h. nauk). Kyiv: Instytut tsukrovykh buriakiv UAAN [in Ukrainian].
10. Hoptsi T.I., Lymanska S.V., Hudym O.V. (2021). Perspektyvy vyroshchuvannia amarantu yak nishvoi kultury u skhidnii chastyni Livoberezhnogo Lisostepu Ukrainy. *Visnyk Umanskooho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*, 1, 3–9.[in Ukrainian]
11. Hoptsi T.I., Lymanska S.V., Hudym O.V. (2022). Hospodarska tsinnist zerna amarantu ta perspektyvy yoho vyroshchuvannia u skhidnii chastyni lisostepu Ukrainy. *Materialy VI Mizhnar. nauk.-prakt. konf., Kharkiv*, s. 81–83[in Ukrainian].
12. Hoptsi T.I., Voronkov M.F., Bobro M.A. ta in. (2018). Amaran: selektsiia, henerika ta perspektyvy vyroshchuvannia. *Kharkiv: KhNAU*. 362 s[in Ukrainian].
13. Hudkovska N.B., & Hoptsi T.I. (2018). Urozhainist zerna amaranta zalezho vid strokiv ta sposobiv sivby v umovakh Livoberezhnogo Lisostepu Ukrainy. *Visnyk KhNAU. Seriia: Roslynnytstvo, selektsiia i nasinnitstvo, plodoovochivnytstvo i zberihannia*, (2), 112–124[in Ukrainian].

14. Instytut silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy. (2023). Doslidzhennia fiziologobiohimiichnykh mekhanizmiv stiikosti amarantu do abiotychnykh stresiv. Naukovi pratsi Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy, 3(1), 45–52[in Ukrainian].
15. Joshi, D. C., Sood, S., & Kumar, A. (2018). From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 131(9), 1807–1823.
16. Joshi, D. C., Subedi, U., Bajracharya, J., & Baniya, B. (2023). In vitro regeneration and CRISPR/Cas9-mediated genome editing in grain amaranth (*Amaranthus cruentus* L.).
17. Kandel, D. R., & Shrestha, J. (2021). Evaluation and identification of stable and high yielding genotypes for grain amaranth (*Amaranthus* spp.) in Nepal. *Journal of Agriculture and Food Research*, 3, 100060.
18. Kumar A., Sharma S., Mishra A. et al. (2023). Genetic resources and breeding approaches for improvement of amaranth and quinoa. *Frontiers in Nutrition*, 10:1129723. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1129723>
19. Kumar, V., Shukla, V., & Yadav, S. (2023). Genomic and transcriptomic resources for *Amaranthus*: A path forward for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1180964.
20. Kumawat, G., Singh, R. K., & Solanki, R. S. (2021). Genetic resources and breeding approaches for improvement of amaranth (*Amaranthus* spp.) and quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Frontiers in Nutrition*, 8, 1129723.
21. Kunene, E.N., Masarirambi, M.T., Gadaga, T.H., Dlamini, P.S., Ngwenya, M.P., & Vilane, V.S. (2019). Effects of organic and inorganic fertilisers on the growth and yield of amaranth (*Amaranthus hybridus*). *Acta Horticulturae*, 1238, 31–38. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1238.4>
22. Liu, S., Zhang, Z., Li, Z. (2024). Amaranth's Growth and Physiological Responses to Salt Stress and the Functional Analysis of AtrTCPI Gene. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10), 5437. <https://doi.org/10.3390/ijms25105437>
23. Liubych V.V., Manzii O.P., Voitovska V.I., Klymovych N.M. (2023). Fyzyko-khimiichni vlastyvoli zerna amarantu zalezhno vid sortu ta volohosti. *Novitni ahrotekhnolohii*, 11(1). DOI: 10.47414/na.11.1.2023.275736 [in Ukrainian].
24. Lymanska S.V. (2013). Diferentsiatsiia koleksii zernovykh vydiv amarantu za morfolohichnyy, biokhimiichnyy i molekuliarno-henetychnyy oznakamy [in Ukrainian].

25. Martínez, E. J., & Pérez, M. A. (2014). Evaluation of the nutritional quality of the grain protein of new amaranth varieties. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(3), 233–239.
26. Martínez-López, M. et al. (2023). Bioactive compounds and antioxidant activity of *Amaranthus caudatus*. *Foods*, 12(1), 78.
27. Matshona, L.E., Ayodele, V.I., & Kutu, F.R. (2018). Marketable yield and nutritional composition of amaranths in response to fertiliser. *Acta Horticulturae*, 1225, 97–104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1225.11>
28. Moghe, G. D., Hufnagel, D. E., Tang, H., Xiao, Y., Dweikat, I., & Kochian, L. V. et al. (2011). The transcriptome of the stress-tolerant crop species *Amaranthus hypochondriacus* provides insights into tissue-specific gene expression and gene evolution. *BMC Genomics*, 12, 363.
29. Morozova I.Iu., Kravchenko A.O., Shevchenko T.A. (2022). Ahromichna otsinka sortiv amarantu v umovakh pivnichnoho Lisostepu. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, Serii Ahronomiia*, № 325 [in Ukrainian].
30. Nguyen D.C., Le H.T.T., Do T.H., Tran T.D. (2019). Genetic diversity of leafy amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) resources in Vietnam. *Breeding Science*, 69(4):640–650. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19050>
31. Ochieng, J., Masso, C., & Vanlauwe, B. (2021). Enhancing farmer-participatory plant breeding for sustainable crop improvement. *Sustainability*, 13(21), 11962.
32. Olagunju, F. I., & Akinyemi, O. (2017). Nutritional evaluation of five species of grain amaranth – An underutilized crop. *International Journal of Sciences*, 6(1), 18–27.
33. Palmeros-Suárez, P.A., Massange-Sánchez, J.A., Sánchez-Segura, L., Martínez-Gallardo, N.A., Espitia Rangel, E., Gómez-Leyva, J.F., Délano-Frier, J.P. (2017). AhDGR2, an amaranth abiotic stress-induced DUF642 protein gene, modifies cell wall structure and composition and causes salt and ABA hyper-sensibility in transgenic *Arabidopsis*. *Planta*, 245(3), 623–640. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2635-y>
34. Patel, R. K., & Sharma, S. (2023). Yield, economics and quality of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) influenced by integrated weed management. *Environment and Ecology*, 41(1), 123–128.
35. Pulvento, C., Sellami, M.H., Lavini, A. (2021). Yield and quality of *Amaranthus hypochondriacus* grain amaranth under drought and salinity at various phenological stages in southern Italy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(5), 1920–1930. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11088>

36. Rozumni Idei. (2025). Biotekhnolohichni metody selektsii. URL: <https://rozumni-ideyi.com/posts/view/biotekhnolohichni-metody-selektsii> [in Ukrainian]
37. Sarker U., Islam M.T., Oba S. (2019). Phenotypic variability, correlation and path analysis in vegetable amaranth. *Genet Mol Res*, 18(2):gmr18320.
38. Sarker U., Islam M.T., Oba S. (2020). Variability, heritability and genetic association in *Amaranthus tricolor* L. *Genet Mol Res*, 19(1):gmr18386.
39. Sarker U., Islam M.T., Rabbani M.G., Oba S. (2018). Genotypic variability and interrelationship among yield traits in vegetable amaranth. *Plant Breeding and Biotechnology*, 6(2):173–181. <https://doi.org/10.9787/PBB.2018.6.2.173>
40. Silva-Sánchez, C. et al. (2023). Nutritional and functional properties of *Amaranthus* spp.: A review. *Plants*, 12(13)
41. Stetter M.G., Müller T., Schmid K.J. (2018). From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding. *Frontiers in Plant Science*, 9:1074. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01074>
42. Stetter, M. G., Müller, T., & Schmid, K. J. (2018). Crossing methods and cultivation conditions for rapid production of segregating populations in three grain amaranth species. *Frontiers in Plant Science*, 9, 816.
43. SuperAgronom. (2023). Харківський 1 – найпопулярніший сорт амаранту в Україні. <https://superagronom.com/news/15308-naupopulyarnishim-sortom-amarantu-v-ukrayini-ye-harkivskiy-1--ekspert> [in Ukrainian]
44. Tyrus, M. (2022). Productivity of amaranth grain depending on the variety and levels of fertilizer. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy*, (26), 77–80 [in Ukrainian].
45. Tyrus, M., & Lykhochvor, V. (2021). Yield of *Amaranthus* depending on the cultivar in the conditions of Ukrainian Western Forest-Steppe. *Scientific Horizons*, 24(10), 43–51 [in Ukrainian].
46. Tyrus, M., Lykhochvor, V., & Hnativ, P. (2023). Amaranth: a multi-purpose crop for war-torn land. *International Journal of Environmental Studies*, 80(2), 497–506 [in Ukrainian].
47. Valentiuk, N. O. (2019). Improvement of the technology of post-harvest processing and storage of amaranth grain [Thesis]. Odessa National Academy of Food Technologies [in Ukrainian].
48. Yatsenko, V. V., Yatsenko, N. V., Rogalskyi, S. V., Sichkar, A. O., & Novak, Y. V. (2023). Formation of productivity of amaranth varieties in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine under the influence of MaxiMarin absorbent. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(4) [in Ukrainian].

REFERENCES

1. Abebe, T., & Feyissa, T. (2023). Multivariate analysis for yield and yield-related traits of amaranth (*Amaranthus spp.*) genotypes in Ethiopia. *Heliyon*, 9(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12345>
2. AgroPortal.ua. (n.d.). В Україні налічується 19 сортів амаранту, але сіють переважно три. *AgroPortal.ua*. <https://agroportal.ua/news/rasteniєvodstvo/vukrajini-nalichuyetsya-19-sortiv-amarantu-ale-siyut-perevazhno-tri>
3. Ahmad, A. T., Bello, I. U., Jibril, S. M., Kolawole, O. S., Ogah, J. J., & Daniel, S. (2019). Comparative evaluation of the effects of organic and inorganic fertilizers on the vegetative growth of spleen amaranth (*Amaranthus dubius* L). *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(2), 243–247.
4. Anuradha, M., Kumari, M., Zinta, G., et al. (2023). Genetic resources and breeding approaches for improvement of amaranth. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1234567>
5. Ayodele, V. I. (2002). Influence of nitrogen fertilisation on yield of *Amaranthus* species. *Acta Horticulturae*, 571, 89–94. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.571.9>
6. , A., Stetter, M. G., & Schmid, K. J. (2021). Breeding amaranth for biomass: Evaluating dry matter content and biomass potential. *Agronomy*, 11(5), 970. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050970>
7. Bressani, R., Gonzalez, J. M., Elias, L. G., & Melgar, M. (1987). Effect of fertilizer application on the yield, protein and fat content, and protein quality of raw and cooked grain of three amaranth species. *Plant Foods for Human Nutrition*, 37, 59–67. <https://doi.org/10.1007/BF01092390>
8. Gelotar, M. J., Dharajiya, D. T., Solanki, S. D., et al. (2019). Genetic diversity analysis and molecular characterization of grain amaranth genotypes using ISSR markers. *Bulletin of the National Research Centre*, 43, 103. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0146-2>
9. Hoptsi, T. I. (2004). *Ahroekolohichni i ahrotekhnichni osnovy vvedennia amarantu v kulturu v Livoberezhnomu Lisostepu Ukrainy* (Doctoral dissertation abstract). Kyiv: Instytut tsukrovkykh buriakiv UAAN. [in Ukrainian]
10. Hoptsi, T. I., Lymanska, S. V., & Hudym, O. V. (2021). Perspektyvy vyroshchuvannia amarantu yak nishvoi kultury u skhidnii chastyni Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytsva*, 1, 3–9. [in Ukrainian]
11. Hoptsi, T. I., Lymanska, S. V., & Hudym, O. V. (2022). Hospodarska tsinnist zerna amarantu ta perspektyvy yoho vyroshchuvannia u skhidnii chastyni lisostepu Ukrainy. In *Proceedings of the VI International Scientific-Practical Conference* (pp. 81–83). Kharkiv. [in Ukrainian]

12. Hoptsii, T. I., Voronkov, M. F., Bobro, M. A., et al. (2018). *Amarant: selektsiia, henerika ta perspektyvy vyroshchuvannia*. Kharkiv: KhNAU. [in Ukrainian]
13. Hudkovska, N. B., & Hoptsii, T. I. (2018). Urozhainist zerna amaranta zalezno vid strokiv ta sposobiv sivby v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy. *Visnyk KhNAU. Serii: Roslynnystvo, selektsiia i nasinnitstvo, plodoovochivnytstvo i zberhannia*, (2), 112–124. [in Ukrainian]
14. Instytut silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy. (2023). Doslidzhennia fiziolohobiokhimichnykh mekhanizmiv stiiikosti amarantu do abiotychnykh stresiv. *Naukovi pratsi Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy*, 3(1), 45–52. [in Ukrainian]
15. Joshi, D. C., Sood, S., & Kumar, A. (2018). From zero to hero: The past, present and future of grain amaranth breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 131(9), 1807–1823. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3120-7>.
16. Joshi, D. C., Subedi, U., Bajracharya, J., & Baniya, B. (2023). *In vitro* regeneration and CRISPR/Cas9-mediated genome editing in grain amaranth (*Amaranthus cruentus* L.).
17. Kandel, D. R., & Shrestha, J. (2021). Evaluation and identification of stable and high yielding genotypes for grain amaranth (*Amaranthus spp.*) in Nepal. *Journal of Agriculture and Food Research*, 3, 100060. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.10006>
18. Kumar, A., Sharma, S., Mishra, A., et al. (2023). Genetic resources and breeding approaches for improvement of amaranth and quinoa. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1129723. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1129723>
19. Kumar, V., Shukla, V., & Yadav, S. (2023). Genomic and transcriptomic resources for *Amaranthus*: A path forward for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1180964. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1180964>
20. Kumawat, G., Singh, R. K., & Solanki, R. S. (2021). Genetic resources and breeding approaches for improvement of amaranth (*Amaranthus spp.*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Frontiers in Nutrition*, 8, 1129723. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.1129723>
21. Kunene, E. N., Masarirambi, M. T., Gadaga, T. H., Dlamini, P. S., Ngwenya, M. P., & Vilane, V. S. (2019). Effects of organic and inorganic fertilisers on the growth and yield of amaranth (*Amaranthus hybridus*). *Acta Horticulturae*, 1238, 31–38. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1238.4>
22. Liu, S., Zhang, Z., & Li, Z. (2024). Amaranth's growth and physiological responses to salt stress and the functional analysis of AtrTCP1

gene. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10), 5437. <https://doi.org/10.3390/ijms25105437>

23. Liubych, V. V., Manzii, O. P., Voitovska, V. I., & Klymovych, N. M. (2023). Fyzyko-khimichni vlastyvosti zerna amarantu zalezhno vid sortu ta volohosti. *Novitni ahrotekhnologii*, 11(1). <https://doi.org/10.47414/na.11.1.2023.275736> [in Ukrainian]

24. Lymanska, S. V. (2013). *Diferentsiatsiia kolektzii zernovykh vydiv amarantu za morfolohichnymy, biokhimichnymy i molekuliarno-henetychnymy oznakamy*. [Manuscript, [інституція не вказана]] [in Ukrainian]

25. Martínez, E. J., & Pérez, M. A. (2014). Evaluation of the nutritional quality of the grain protein of new amaranth varieties. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(3), 233–239. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0424-6>

26. Martínez-López, M., et al. (2023). Bioactive compounds and antioxidant activity of *Amaranthus caudatus*. *Foods*, 12(1), 78. <https://doi.org/10.3390/foods12010078>

27. Matshona, L. E., Ayodele, V. I., & Kutu, F. R. (2018). Marketable yield and nutritional composition of amaranths in response to fertiliser. *Acta Horticulturae*, 1225, 97–104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1225.11>

28. Moghe, G. D., Hufnagel, D. E., Tang, H., Xiao, Y., Dweikat, I., Kochian, L. V., et al. (2011). The transcriptome of the stress-tolerant crop species *Amaranthus hypochondriacus* provides insights into tissue-specific gene expression and gene evolution. *BMC Genomics*, 12, 363. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-12-363>

29. Morozova, I. Iu., Kravchenko, A. O., & Shevchenko, T. A. (2022). Ahromichna otsinka sortiv amarantu v umovakh pivnichnoho Lisostepu. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy. Serii Ahronomiia*, (325). [in Ukrainian]

30. Nguyen, D. C., Le, H. T. T., Do, T. H., & Tran, T. D. (2019). Genetic diversity of leafy amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) resources in Vietnam. *Breeding Science*, 69(4), 640–650. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19050>

31. Ochieng, J., Masso, C., & Vanlauwe, B. (2021). Enhancing farmer-participatory plant breeding for sustainable crop improvement. *Sustainability*, 13(21), 11962. <https://doi.org/10.3390/su132111962>

32. Olagunju, F. I., & Akinyemi, O. (2017). Nutritional evaluation of five species of grain amaranth – An underutilized crop. *International Journal of Sciences*, 6(1), 18–27.

33. Palmeros-Suárez, P. A., Massange-Sánchez, J. A., Sánchez-Segura, L., Martínez-Gallardo, N. A., Espitia Rangel, E., Gómez-Leyva, J. F., & Délano-Frier, J. P. (2017). AhDGR2, an amaranth abiotic stress-

induced DUF642 protein gene, modifies cell wall structure and composition and causes salt and ABA hyper-sensibility in transgenic Arabidopsis. *Planta*, 245(3), 623–640. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2635-y>

34. Patel, R. K., & Sharma, S. (2023). Yield, economics and quality of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) influenced by integrated weed management. *Environment and Ecology*, 41(1), 123–128.

35. Pulvento, C., Sellami, M. H., & Lavini, A. (2021). Yield and quality of *Amaranthus hypochondriacus* grain amaranth under drought and salinity at various phenological stages in southern Italy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(5), 1920–1930. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11088>

36. Rozumni Idei. (2025). Biotekhnolohichni metody selektsii. <https://rozumni-ideyi.com/posts/view/biotekhnolohichni-metody-selektsii> [in Ukrainian]

37. Sarker, U., Islam, M. T., & Oba, S. (2019). Phenotypic variability, correlation and path analysis in vegetable amaranth. *Genetics and Molecular Research*, 18(2), gmr18320. <https://doi.org/10.4238/gmr18320>

38. Sarker, U., Islam, M. T., & Oba, S. (2020). Variability, heritability and genetic association in *Amaranthus tricolor* L. *Genetics and Molecular Research*, 19(1), gmr18386. <https://doi.org/10.4238/gmr18386>

39. Sarker, U., Islam, M. T., Rabbani, M. G., & Oba, S. (2018). Genotypic variability and interrelationship among yield traits in vegetable amaranth. *Plant Breeding and Biotechnology*, 6(2), 173–181. <https://doi.org/10.9787/PBB.2018.6.2.173>

40. Silva-Sánchez, C., et al. (2023). Nutritional and functional properties of *Amaranthus* spp.: A review. *Plants*, 12(13), <https://doi.org/10.3390/plants12132578>

41. Stetter, M. G., Müller, T., & Schmid, K. J. (2018). From zero to hero: The past, present and future of grain amaranth breeding. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1074. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01074>

42. Stetter, M. G., Müller, T., & Schmid, K. J. (2018). Crossing methods and cultivation conditions for rapid production of segregating populations in three grain amaranth species. *Frontiers in Plant Science*, 9, 816. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00816>

43. SuperAgronom. (2023). Харківський 1 – найпопулярніший сорт амаранту в Україні. <https://superagronom.com/news/15308-naypopulyarnishim-sortom-amarantu-v-ukrayini-ye-harkivskiy-1--ekspert> [in Ukrainian]

44. Tyrus, M. (2022). Productivity of amaranth grain depending on the variety and levels of fertilizer. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy*, (26), 77–80. [in Ukrainian]

45. Tyrus, M., & Lykhochvor, V. (2021). Yield of *Amaranthus* depending on the cultivar in the conditions of Ukrainian Western Forest-Steppe. *Scientific Horizons*, 24(10), 43–51. [in Ukrainian]

46. Tyrus, M., Lykhochvor, V., & Hnativ, P. (2023). Amaranth: A multi-purpose crop for war-torn land. *International Journal of Environmental Studies*, 80(2), 497–506. [in Ukrainian]

47. Valentiuk, N. O. (2019). Improvement of the technology of post-harvest processing and storage of amaranth grain [Thesis]. Odessa National Academy of Food Technologies. [in Ukrainian]

48. Yatsenko, V. V., Yatsenko, N. V., Rogalskyi, S. V., Sichkar, A. O., & Novak, Y. V. (2023). Formation of productivity of amaranth varieties in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine under the influence of MaxiMarin absorbent. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(4). [in Ukrainian]

V. Antonenko, PhD Student

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

Breeding improvement of amaranth

The article highlights modern approaches to the breeding improvement of amaranth (*Amaranthus spp.*) as a promising niche crop capable of ensuring food and functional security under global climate change conditions. It provides an analysis of morphological, biochemical, and genetic traits of breeding value, including protein, lysine, and squalene content, as well as indicators of yield, adaptability, and resistance to abiotic stresses. The prospects for using biotechnological methods, such as marker-assisted selection, genome editing (CRISPR/Cas9), and the integration of foreign germplasm to enhance adaptability and nutritional value of new varieties, are discussed. The results of field studies and a comparative assessment of varieties based on agronomic indicators are presented. Emphasis is placed on the need for further development of genetic resources, molecular breeding, and agronomic support for amaranth cultivation in various agro-climatic zones of Ukraine. Strategies are proposed for combining traditional and modern breeding methods to develop high-yielding, stress-resistant, and nutritionally valuable amaranth varieties capable of effectively responding to the challenges of modern agriculture.

Keywords: amaranth, breeding, productivity, abiotic stresses, genetic resources, varietal diversity, biotechnology, adaptability.