

## Adaptive potential of grain amaranth by productivity elements in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine

T. Hoptsiy | V. Antonenko✉

### Article info

Correspondence Author

V. Antonenko

E-mail:

[valetynantonenko2000@gmail.com](mailto:valetynantonenko2000@gmail.com)State Biotechnological  
University,  
44 Alchevskih Str.,  
Kharkiv, 61000,  
Ukraine

**Citation:** Hoptsiy, T., & Antonenko, V. (2026). Adaptive potential of grain amaranth by productivity elements in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 68–73. doi: 10.31210/spi2026.29.01.11

The article presents the results of the evaluation of the adaptive potential of 23 collection samples of grain species of the genus *Amaranthus* (*A. cruentus* – 11 samples, *A. hypochondriacus* – 8, *A. caudatus* – 1, *A. hybridus* – 3) based on the main productivity elements under the conditions of the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. The research was conducted during 2012–2014 and 2024–2025 at the experimental field of the State Biotechnological University under variable weather conditions, including both drought and high-temperature periods (2012, 2024) and relatively favourable years (2013–2014, 2025). The evaluation of adaptive potential was carried out using three key indicators: panicle length, panicle productivity, and 1000-seed weight, applying the following parameters: stability (S.F.), homeostaticity (Hom), breeding value (Sc), and agronomic stability (As). The average coefficient of variation was 12.7 % for panicle length, 24.2 % for panicle productivity, and 11.6 % for 1000-seed weight. Panicle length varied from 29.0 cm (K-253) to 47.0 cm (K-160), panicle productivity – from 4.6 g (Bp 721) to 14.5 g (K-219), and 1000-seed weight – from 479 mg (K-251) to 701 mg (Bp 719). For all three traits studied, the agronomic stability coefficient (As) exceeded 70 % in the majority of samples, reaching 90–99 % in the best genotypes. The analysis of homeostaticity (Hom) and breeding value (Sc) indicators allowed the identification of the most promising samples. For 1000-seed weight, the standout samples were Bp 719 (701 mg), Bp 625, K-219, and K-160, which were characterized by the highest values of Hom and Sc. The sample K-219 (*A. hypochondriacus*) demonstrated the maximum panicle productivity (14.5 g) and high adaptive parameters, while K-160 (*A. caudatus*) showed the maximum panicle length (47.0 cm) and stability of trait expression. Cluster analysis confirmed a clear differentiation of the studied samples according to the complex of productivity and adaptive indicators, revealing groups of genotypes with similar productivity traits. The selected samples (Bp 719, Bp 625, K-219, K-160) represent particularly valuable source material for future breeding programs. They combine a high level of productivity with excellent stability and ecological plasticity, making them promising for the development of high-yielding, stress-resistant varieties of grain amaranth adapted to the climatic conditions of the Eastern Forest-Steppe of Ukraine.

**Keywords:** adaptive potential, grain amaranth, productivity elements, stability, homeostaticity, breeding value, agronomic stability, Eastern Forest-Steppe of Ukraine.

## Адаптивний потенціал зернового амаранту за елементами продуктивності в Східному Лісостепу України

Т. І. Гопцій | В. В. Антоненко

Державний  
біотехнологічний  
університет,  
м. Харків, Україна

У статті представлено результати оцінки адаптивного потенціалу 23 колекційних зразків зернових видів роду *Amaranthus* (*A. cruentus* – 11 зразків, *A. hypochondriacus* – 8, *A. caudatus* – 1, *A. hybridus* – 3) за основними елементами продуктивності в умовах Східного Лісостепу України. Дослідження проводили протягом 2012–2014 та 2024–2025 років на дослідному полі Державного біотехнологічного університету в умовах мінливості погодних факторів, що включали як посушливі та високотемпературні періоди (2012, 2024 рр.), так і відносно сприятливі роки (2013–2014, 2025 рр.). Оцінювання адаптивного потенціалу здійснювали за трьома ключовими показниками: довжиною волоті, продуктивністю волоті та масою 1000 насінин із застосуванням комплексних параметрів: стабільності (S.F.), гомеостатичності (Hom), селекційної цінності (Sc) та агрономічної стабільності (As). Середній коефіцієнт варіації склав 12,7 % за довжиною волоті, 24,2 % – за продуктивністю волоті та 11,6 % – за масою 1000 насінин. Довжина волоті варіювала від 29,0 см (K-253) до 47,0 см (K-160), продуктивність волоті – від 4,6 г (Bp 721) до 14,5 г (K-219), маса 1000 насінин – від 479 мг (K-251) до 701 мг (Bp 719). Для всіх трьох досліджуваних ознак у більшості зразків значення коефіцієнта агрономічної стабільності (As) перевищувало 70 %, а в кращих генотипів досягало 90–99 %. Аналіз показників гомеостатичності (Hom) та селекційної цінності (Sc) дозволив виділити найбільш перспективні зразки. За масою 1000 насінин вирізнялися Bp 719 (701 мг), Bp 625, K-219 та K-160, які характеризувалися найвищими значеннями Hom і Sc. Зразок K-219 (*A. hypochondriacus*) продемонстрував максимальну продуктивність волоті (14,5 г) та високі адаптивні параметри, а K-160 (*A. caudatus*) – максимальну довжину волоті (47,0 см) та стабільність прояву ознак. Кластерний аналіз підтвердив чітку диференціацію досліджуваних зразків за комплексом продуктивних і адаптивних показників, виявивши групи генотипів зі схожими показниками продуктивності. Виділені зразки (Bp 719, Bp 625, K-219, K-160) є особливо цінним вихідним матеріалом для майбутніх селекційних програм. Вони поєднують високий рівень продуктивності з відмінною стабільністю та екологічною пластичністю, що робить їх перспективними для створення високопродуктивних, стійких до стресових факторів сортів зернового амаранту, адаптованих до умов клімату Східного Лісостепу України.

**Ключові слова:** адаптивний потенціал, зерновий амарант, елементи продуктивності, стабільність, гомеостатичність, селекційна цінність, агрономічна стабільність, Східний Лісостеп України.

**Бібліографічний опис для цитування:** Гопцій Т. І., Антоненко В. В. Адаптивний потенціал зернового амаранту за елементами продуктивності в Східному Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 68–73.



## Вступ

Значну роль у підвищенні врожайності провідних сільськогосподарських культур світу відіграла «зелена революція», в той же час вона призвела до використання обмеженої кількості рослин, збідненню генетичної різноманітності та посиленню залежності глобальних продовольчих програм від невеликої кількості основних видів рослинного світу [1]. Проте прогнозоване збільшення чисельності населення разом із прогресуючою урбанізацією до 2050 року призведе до значного зростання попиту на продовольство на 35–62 % [2].

У сучасних умовах зміни клімату та зростання потреби в альтернативних джерелах рослинного білка підвищується інтерес у світі до нетрадиційних культур. Такою культурою є амарант (шириця) (*Amaranthus L.*), який належить до псевдозлаків і характеризується високим вмістом білка, збалансованим за амінокислотним складом. Включення амаранту до програм продовольчої безпеки деяких країн продемонструвало його позитивні властивості для покращення здоров'я дітей і людей похилого віку [3–5].

Амарант (*Amaranthus L.*) є перспективною культурою не тільки завдяки високій поживній цінності зерна та зеленої маси, але й завдяки його значній стійкості до стресових умов та широкому генетичному поліморфізму [5–7]. Більше того, його адаптивність до посушливих і бідних на поживні речовини ґрунтів робить амарант ідеальною рослиною для вирощування в регіонах з екологічними та ресурсними обмеженнями [8, 9].

Зернові види амаранту привертають особливу увагу селекціонерів як джерело білка в насінні з високим вмістом лізину, сквалену в олії та відсутністю глютену в сировині. На думку вчених, використання різних видів амаранту в селекції є ключовим чинником створення високопродуктивних і стійких сортів [10, 11].

Рід *Amaranthus* об'єднує до 70 видів, що створює широкі можливості для використання видового різноманіття в селекційній роботі [12].

До основних зернових видів амаранту належать *Amaranthus cruentus*, *A. hypochondriacus* та *A. caudatus* [13, 14]. Саме вони найчастіше використовуються як вихідний матеріал у селекційних програмах:

*A. cruentus* – характеризується високою врожайністю, гарною адаптацією до різних ґрунтово-кліматичних умов і стабільною якістю зерна [15]. *A. hypochondriacus* – відзначається крупним зерном, високим вмістом білка та незамінних амінокислот [16, 17]. *A. caudatus* – цінується за підвищену холодостійкість [18].

Напівкультурний вид *A. hybridus* використовують як джерело стійкості до посухи, хвороб і шкідників та гербіцидів [19, 20].

Колекції генетичних ресурсів світу охоплюють десятки видів та сотні–тисячі зразків, що створює основу для цілеспрямованого добору батьківських компонентів [21, 22]. За останні роки значна кількість зернового амаранту та його диких родичів генетично охарактеризовано на рівні цілого геному і виявлено

високе генетичне різноманіття всередині та між видами [23–25].

Однак значна частина оціненого різноманіття в культивованому генетичному пулі та диких родичах амаранту залишається недооціненою в селекційних програмах. Існує лише обмежена кількість прикладів використання генетичних ресурсів у селекції амаранту. Робоча колекція амаранту Родейлського дослідницького центру (RRC) у Пенсильванії, США, стала важливим джерелом цінних господарських ознак, включаючи стійкість до вилягання, осипання, раннє досягання та високу врожайність зерна [26]. Різноманіття, збережене в доступних генетичних ресурсах, становить основу для покращення культури.

Крім високого генетичного різноманіття, амарант демонструє значну морфологічну та агрономічну варіабельність, ймовірно, через широке глобальне поширення. Фенотипічні оцінки в регіонах інтродукції підкреслюють адаптивність амаранту до різноманітних середовищ. Оцінка фенотипічних ознак з широкої глобальної колекції показала зв'язок ознак з локальними екологічними умовами, на основі чого відібрано генотипи-кандидати для локальних селекційних програм [23, 27, 28].

## Мета дослідження

Метою нашого дослідження була оцінка колекційних зразків зернових видів амаранту різного еколого-географічного походження за адаптивним потенціалом продуктивності з подальшим їх використанням в селекційних програмах.

## Матеріали і методи

Дослідження проводили в різні роки (2012–2014 та 2024–2025 роках) на дослідному полі Державного біотехнологічного університету (до 2021 року Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва), що знаходиться в Харківській області (східна частина Лівобережного Лісостепу України).

В дослідженні використані зразки чотирьох видів амаранту різного походження: *A. cruentus* 11 зразків (9 зразків походженням з Мексики; 1 – Перу; 1 – США); *A. hypochondriacus* 8 зразків (4 – США, 4 – Мексика); *A. caudatus* 1 зразок (Великобританія); *A. hybridus* 3 зразки (2 – США, 1 – Мексика).

Вивчення проводили в колекційному розсаднику. Площа ділянки 2,25 м<sup>2</sup>, повторність трикратна. Догляд за посівами, фенологічні спостереження та обліки проводили за Методикою державного сорто випробування [29]. Для аналізу адаптивного потенціалу зразків амаранту використовували показники: стабільність (S.F.), гомеостатичність (Ном), селекційна цінність (Sc), агрономічна стабільність (As) [30]. Статистичну обробку даних проводили за програмою «Microsoft Excel 2010» на персональному комп'ютері. Для характеристики досліджуваних зразків було використано метод кластерного аналізу з евклідовими відстанями та нормалізованими значеннями у програмному забезпеченні Past 5.3 [31].

Погодні умови протягом років досліджень були різноманітними, що дозволило оцінити реакцію амаранту на їх зміни. В цілому вегетаційний період 2012 року характеризувався посушливими умовами та підвищеним температурним режимом. В 2013 та 2014 роках погодні умови, в тому числі й кількість опадів, були наближені до оптимальних багаторічних даних. У 2024 році умови були складними для всіх сільськогосподарських культур, включаючи амарант. Протягом вегетаційного періоду фіксувалися високі температури, що значно перевищували середньо-багаторічні значення. Оподи розподілялися нерівномірно або взагалі були відсутні. Зокрема, у травні випало лише 17,3 мм, а в червні – 49,3 мм опадів, що стало визначальним чинником для розвитку рослин

амаранту. Попри несприятливі умови, ця культура продемонструвала високу посухостійкість: рослини нормально розвивалися та формували повноцінні волоті, підтверджуючи свою адаптивність до посушливого клімату. У 2025 році погодні умови характеризувалися нестабільністю, проте загалом були сприятливими для амаранту.

### Результати та їх обговорення

Аналіз колекційних зразків за характером варіювання ознак продуктивності свідчить про середній рівень варіювання довжини волоті – 12,7 % і маси 1000 насінин – 11,6 % і значне варіювання продуктивності волоті – 24,2 % між видами (*табл. 1*).

**Таблиця 1**

Характеристика зразків амаранту за адаптивним потенціалом за елементами продуктивності (2012–2014 та 2024–2025 рр.)

№ з/п	Назва зразка	Довжина волоті, см					Продуктивність волоті, г					Маса 1000 насінин, мг				
		$\bar{X}$	S.F.	Hom	Sc	As	$\bar{X}$	S.F.	Hom	Sc	As	$\bar{X}$	S.F.	Hom	Sc	As
1.	Вр 721	32,0	1.31	323.8	25.1	90	4.6	2.39	14.8	2.4	68	510	1.06	23743.7	468.6	98
2.	Вр 719	39,2	1.64	243.7	30.7	83	10.8	2.06	38.2	5.7	72	701	1.03	74081.5	644.1	99
3.	Вр 663	39,8	1.41	349.4	31.2	89	5.4	1.76	21.4	2.9	75	484	1.13	10043.6	444.7	95
4.	К-254	29,6	2.24	123.1	23.2	76	13.1	2.82	44.6	6.9	71	559	1.46	3090.4	513.6	80
5.	К-248	39,0	1.20	512.7	30.6	92	9.2	1.86	39.0	4.8	76	501	1.13	11912.0	460.4	95
6.	К-253	29,0	1.95	121.4	22.7	76	10.8	2.64	29.1	5.7	63	538	1.21	7585.5	494.4	92
7.	К-256	30,8	1.50	209.2	24.1	85	10.6	2.60	37.4	5.6	72	543	1.07	23606.8	498.9	97
8.	К-251	29,6	1.70	158.3	23.2	81	10.7	2.74	27.1	5.6	60	479	1.08	17916.3	440.1	97
9.	К-252	30,6	1.95	149.1	24.0	79	6.9	2.42	17.7	3.6	61	483	1.41	3737.5	443.8	85
10.	К-250	36,4	1.80	205.8	28.5	82	8.8	3.14	21.5	4.6	59	563	1.63	3056.3	517.3	81
11.	К-232	35,4	1.55	220.7	27.7	84	10.5	3.12	23.6	5.5	56	534	1.12	14551.8	490.7	96
12.	Вр 778	37,6	1.47	252.1	29.5	85	8.2	4.52	17.7	4.3	54	624	1.10	18909.8	573.4	96
13.	Вр 625	37,8	1.76	213.1	29.6	82	11.2	2.03	38.4	5.9	71	611	1.07	27521.6	561.4	98
14.	Вр 779	36,2	1.38	330.1	28.4	89	11.1	1.68	61.6	5.8	82	659	1.25	8445.8	605.5	90
15.	Вр 650	41,4	2.15	169.2	32.4	76	6.9	2.22	25.6	3.6	73	535	1.16	9995.4	491.6	94
16.	Вр 781	38,4	1.88	198.8	30.1	81	9.0	3.18	19.8	4.7	55	569	1.20	8764.0	524.7	93
17.	К-264	33,4	1.50	240.9	26.2	86	9.2	1.70	42.8	4.9	78	680	1.14	14338.4	624.8	95
18.	Вр 644	40,8	1.44	353.6	32.0	88	7.4	2.04	25.9	3.9	71	596	1.13	14220.0	547.6	96
19.	Вр 649	37,6	1.39	317.4	29.4	88	8.9	2.29	34.0	4.7	74	506	1.08	18875.2	464.9	97
20.	Вр 645	38,4	1.61	200.2	30.1	81	9.4	3.38	18.8	5.0	50	494	1.29	5652.4	453.9	91
21.	К-219	40,0	1.19	552.1	31.3	93	14.5	1.63	97.0	7.6	85	633	1.11	15411.1	581.6	96
22.	К-218	41,2	1.31	451.1	32.3	91	11.3	2.13	40.7	6.0	72	580	1.15	12202.5	532.9	95
23.	К-160	47,0	1.28	509.5	36.8	91	9.6	3.04	23.9	2.4	60	620	1.03	42977.2	569.7	99
	V%	12,7					24,2					11,6				

Довжина волоті в середньому коливалася від 29,0 см у зразка К-253 (*A. cruentus*) К-251 (*A. cruentus*) до 47,0 см у зразка К-160 (*A. caudatus*), що свідчить про певну, але відносно помірну мінливість цієї ознаки. Продуктивність волоті змінювалася від 4,6 г Вр 721 (*A. cruentus*) до 14,5 г К-219 (*A. hypochondriacus*), що узгоджується з значним коефіцієнтом варіації (24,2 %) і вказує на різницю за продуктивністю волоті між зразками. Маса 1000 насінин варіювала орієнтовно від 479 мг К-251 (*A. cruentus*) до 701 мг Вр 719 (*A. cruentus*), при цьому варіація була середньою ( $V = 11,6 \%$ ), що свідчить про вищу однорідність зразків за цією ознакою.

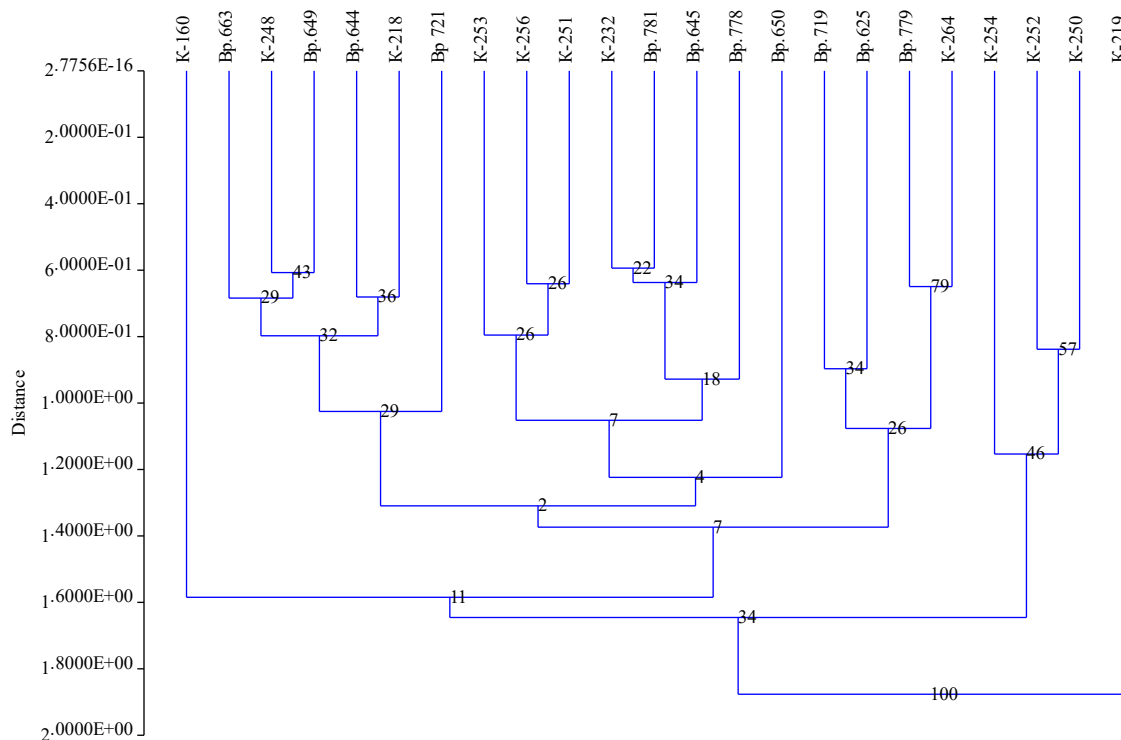
При визначенні селекційної цінності колекційних зразків та їх адаптивного потенціалу за елементами продуктивності використано комплекс показників: стабільність, гомеостатичність, селекційна цінність і агрономічна стабільність. Показник стабільності відображає рівень фенотипової стійкості генотипу; його значення, що наближається до одиниці, свідчить про мінімальну залежність прояву ознаки

від умов навколишнього середовища. Гомеостатичність характеризує здатність генотипу зберігати відносну сталість прояву ознаки за змін екологічних чинників. Параметр селекційної цінності ґрунтується на співвідношенні рівня прояву ознаки в лімітуючих та оптимальних умовах вирощування з урахуванням середнього багаторічного показника. Агрономічна стабільність визначається як коефіцієнт, що відображає здатність зразку забезпечувати високий рівень прояву господарсько цінної ознаки в різних, зокрема стресових, умовах середовища.

Для всіх трьох ознак у більшості зразків значення As (агрономічної стабільності) перевищують 70 %, а в багатьох випадках сягають 90–99 %, що вказує на високу стабільність прояву ознак у мінливих умовах середовища. Високі значення Hom та Sc у ряду зразків (наприклад, за масою 1000 насінин у Вр 719 (*A. cruentus*), Вр 625 (*A. hypochondriacus*), К-219 (*A. hypochondriacus*), К-160 (*A. caudatus*)) свідчать про поєднання високого рівня ознаки з

високою гомеостатичністю й селекційною цінністю, що робить ці зразки перспективними для подальшого використання в селекції.

За результатами комплексної оцінки із застосуванням кластерного аналізу зразки було згруповано за ступенем подібності у відповідні кластери (рис. 1).



**Рис. 1.** Дендрограма кластерного аналізу зразків амаранту за сукупністю показників адаптивного потенціалу елементів продуктивності

Кластерний аналіз колекції зразків амаранту, проведений за сукупністю показників адаптивного потенціалу елементів продуктивності (довжина волоті, продуктивність волоті, маса 1000 насінин та їх параметри стабільності), дозволив встановити рівень генетичної та фенотипічної подібності між досліджуваними генотипами. Дендрограма демонструє чітку стратифікацію вибірки на декілька ієрархічних груп, що формуються залежно від комплексної реалізації продуктивного та адаптивного потенціалу.

На найменших евклідових відстанях об'єднуються генотипи зі схожими морфометричними параметрами та близькими значеннями показників гомеостатичності й селекційної цінності. Зокрема, тісні кластери формують пари Bp 663 (*A. cruentus*), K-248 (*A. cruentus*), Bp 649 (*A. hybridus*), Bp 644 (*A. hybridus*) та K-218 (*A. hypochondriacus*), а також наприклад K-253 (*A. cruentus*), K-256 (*A. cruentus*) і K-251 (*A. cruentus*), що свідчить про їхню подібність за елементами продуктивності та характером адаптивної реакції на умови вирощування. Подібність цих зразків підтверджується близькими значеннями довжини волоті та маси 1000 насінин.

Окрему групу утворюють зразки з підвищеними показниками продуктивності волоті та високою селекційною цінністю – K-219 (*A. hypochondriacus*), K-250 (*A. cruentus*), K-252 (*A. cruentus*) та K-254 (*A. cruentus*). Їх об'єднання на відносно невеликій

кластерній відстані свідчить про спільний напрям реалізації продуктивного потенціалу. Особливої уваги заслуговує K-219 (*A. hypochondriacus*), який поєднує високу довжину волоті, максимальну продуктивність та високі адаптивні параметри, що зумовлює його відносну відокремленість у межах цього кластера.

Найбільш віддалене положення на дендрограмі займає зразок K-160 (*A. caudatus*), який відокремлюється від основної сукупності на значній кластерній відстані. Це свідчить про його специфічний комплекс ознак, зокрема максимальну довжину волоті та високі показники маси 1000 насінин і адаптивності. Така відокремленість може вказувати на значний генетичний поліморфізм порівняно з іншими зразками колекції.

## Висновки

Загалом, результати кластерного аналізу узгоджуються з даними кількісної оцінки елементів продуктивності та підтверджують наявність диференціації досліджуваних генотипів за напрямками реалізації продуктивного потенціалу.

Серед досліджених видів найвищу адаптивність за елементами продуктивності виявив зразок K-219 (*A. hypochondriacus*), який мав максимальну продуктивність волоті (14,5 г), високі показники гомеостатичності та селекційної цінності та зразок

K-160, який представляє вид *A. caudatus*, характеризувався максимальною довжиною волоті (47,0 см), високими показниками маси 1000 насінин і адаптивності. Зразки поєднують високий рівень продуктивності з підвищеними показниками гомеостатичності та селекційної цінності, що визначає їх як найбільш перспективний вихідний матеріал для селекції на продуктивність.

*A. cruentus* характеризувався високою екологічною пластичністю та стабільністю прояву ознак. Найбільш адаптивним зразком виду визначено Вр 719, у якого маса 1000 насінин 701 мг та високі значення Ном і Sc за масою 1000 насінин

У межах виду *A. hypochondriacus* виділено зразок Вр 625 та K-219. За елементами продуктивності Вр 625 належить до групи генотипів з підвищеною масою 1000 насінин у поєднанні з високими значеннями гомеостатичності (Ном) і селекційної цінності (Sc). Це означає, що зразок не лише формує вищий рівень цієї ознаки порівняно із середнім по колекції, а й зберігає її відносну сталість за різних, у тому числі стресових, умов вирощування як найбільш адаптивний за показниками стабільності та селекційної цінності елементів продуктивності.

Що стосується *A. hybridus*, то у структурі колекції він виконує скоріше функцію джерела адаптивності (стресостійкості), ніж екстремально високої продуктивності, але його зразки інтегруються в кластери з продуктивними генотипами, що робить їх придатними як компоненти для комбінаційної селекції.

## ДЕКЛАРАЦІЇ

### Етична заява

Не застосовується.

### Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

### Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

### Подяки

Немає.

### Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ


Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

## References

- Joshi, D. C., Sood, S., Hosahatti, R., Kant, L., Pattanayak, A., Kumar, A., Yadav, D., & Stetter, M. G. (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/s00122-018-3138-y>
- Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2 (7), 494–501. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
- Tibagonzeka, J., Wambete, J., Muyinda, A., Nakimbugwe, D., & Muyonga, J. (2014). Acceptability and nutritional contribution of grain amaranth recipes in Uganda. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 14 (63), 8979–8997. <https://doi.org/10.18697/ajfand.63.13015>
- Macharia-Mutie, C. W., Omusundi, A. M., Mwai, J. M., Mwangi, A. M., & Brouwer, I. D. (2012). Simulation of the effect of maize porridge fortified with grain amaranth or micronutrient powder containing NaFeEDTA on iron intake and status in Kenyan children. *Public Health Nutrition*, 16 (9), 1605–1613. <https://doi.org/10.1017/s1368980012005174>
- Yadav, A., & Yadav, K. (2024). From humble beginnings to nutritional powerhouse: the rise of amaranth as a climate-resilient superfood. *Tropical Plants*, 3 (1), e037. <https://doi.org/10.48130/tp-0024-0037>
- Barba de la Rosa, A. P., Fomsgaard, I. S., Laurson, B., Mortensen, A. G., Olvera-Martínez, L., Silva-Sánchez, C., Mendoza-Herrera, A., González-Castañeda, J., & De León-Rodríguez, A. (2009). Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) as an alternative crop for sustainable food production: Phenolic acids and flavonoids with potential impact on its nutraceutical quality. *Journal of Cereal Science*, 49 (1), 117–121. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.012>
- 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*, 102 (12), 5022–5033. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11088>
- Macías-Naranjo, S. M., Arjona, J. M., Huebra-Montero, L., Rubio-Heras, J., Sánchez-Vicente, I., García-Molina, C. G., Aparicio, N., & Albertos, P. (2026). Amaranth, the ancient pseudocereal: a promising crop for climate-resilient agriculture and healthy diets. *Frontiers in Plant Science*, 17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1716624>
- Hoptsi, T. I., Voronkov, M. F., Bobro, M. A., Miroshnychenko, L. O., Lymanska, S. V., Hudym, O. V., Hudkovska, N. B., & Duda, Yu. V. (2018). *Amarant: selektsiia, henetyka ta perspektyvy vyroshchuvannia: monohrafiia* [Amaranth: breeding, genetics and prospects of cultivation: monograph]. Kharkiv National Agrarian University [in Ukrainian]
- Hoptsi, T. I. (1999). *Amarant: biolohiia, vyroshchuvannia, perspektyvy vykorystannia, selektsiia: monohrafiia* [Amaranth: biology, cultivation, prospects of use, breeding: monograph]. Kharkiv National Agrarian University [in Ukrainian]
- Yadav, R., Rana, J. C., & Ranjan, J. K. (2014). Analysis of variability parameters for morphological and agronomic traits in grain amaranth (*Amaranthus* sp.) genotypes. *The Bioscan*, 9 (4), 1661–1665.
- Stetter, M. G., & Schmid, K. J. (2017). Analysis of phylogenetic relationships and genome size evolution of the *Amaranthus* genus using GBS indicates the ancestors of an ancient crop. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 109, 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.12.029>
- Waselkov, K. E., Boleda, A. S., & Olsen, K. M. (2018). A phylogeny of the genus *Amaranthus* (Amaranthaceae) based on several low-copy nuclear loci and chloroplast regions. *Systematic Botany*, 43 (2), 439–458. <https://doi.org/10.1600/036364418x697193>
- Peter, K., & Gandhi, P. (2017). Rediscovering the therapeutic potential of *Amaranthus* species: A review. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(3), 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2017.05.001>
- Wu, H., Sun, M., Yue, S., Sun, H., Cai, Y., Huang, R., Brenner, D., & Corke, H. (2000). Field evaluation of an *Amaranthus* genetic resource collection in China. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 47 (1), 43–53. <https://doi.org/10.1023/a:1008771103826>
- Stetter, M. G., Vidal-Villarejo, M., & Schmid, K. J. (2019). Parallel seed color adaptation during multiple domestication attempts of an ancient new world grain. *Molecular Biology and Evolution*, 37 (5), 1407–1419. <https://doi.org/10.1093/molbev/msz304>
- Oteri, M., Gresta, F., Costale, A., Lo Presti, V., Meineri, G., & Chiofalo, B. (2021). *Amaranthus hypochondriacus* L. as a sustainable source of nutrients and bioactive compounds for animal feeding. *Antioxidants*, 10 (6), 876. <https://doi.org/10.3390/antiox10060876>
- Kanbar, A., Beisel, J., Gutierrez, M. T., Graeff-Hönninger, S., & Nick, P. (2023). Peruvian *Amaranth* (kiwicha) accumulates higher levels of the unsaturated linoleic acid. *International Journal of Molecular Sciences*, 24 (7), 6215. <https://doi.org/10.3390/ijms24076215>

19. Hoptsi, T. I., Voronkov, M. F., & Zhuravel, D. V. (2012). Seleksiina tsinnist zrazkiv amarantu hibrydnoho (*Amaranthus hybridus* L.) [Breeding value of hybrid amaranth (*Amaranthus hybridus* L.) samples]. *Henetychni Resursy Roslyn*, 10, 201–206. [in Ukrainian]
20. Trucco, F., Hager, A. G., & Tranel, P. J. (2006). Acetolactate synthase mutation conferring imidazolinone-specific herbicide resistance in *Amaranthus hybridus*. *Journal of Plant Physiology*, 163 (4), 475–479. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.06.015>
21. Anuradha, Kumari, M., Zinta, G., Chauhan, R., Kumar, A., Singh, S., & Singh, S. (2023). Genetic resources and breeding approaches for improvement of amaranth (*Amaranthus* spp.) and quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Frontiers in Nutrition*, 10, 1129723. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1129723>
22. Stetter, M. G., Joshi, D. C., & Singh, A. (2025). Assessing and mining grain amaranth diversity for sustainable cropping systems. *Theoretical and Applied Genetics*, 138 (7), 171. <https://doi.org/10.1007/s00122-025-04940-w>
23. Thapa, R., Edwards, M., & Blair, M. W. (2021). Relationship of cultivated grain *Amaranth* species and wild relative accessions. *Genes*, 12 (12), 1849. <https://doi.org/10.3390/genes12121849>
24. Hoshikawa, K., Lin, Y.-P., Schafleitner, R., Shirasawa, K., Isobe, S., Nguyen, D. C., Ohsawa, R., & Yoshioka, Y. (2023). Genetic diversity analysis and core collection construction for *Amaranthus tricolor* germplasm based on genome-wide single-nucleotide polymorphisms. *Scientia Horticulturae*, 307, 111428. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111428>
25. Kreiner, J. M., Caballero, A., Wright, S. I., & Stinchcombe, J. R. (2021). Selective ancestral sorting and de novo evolution in the agricultural invasion of *Amaranthus tuberculatus*. *Evolution*, 76 (1), 70–85. <https://doi.org/10.1111/evo.14404>
26. Trucco, F., & Tranel, P. J. (2011). Amaranthus. *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*, 11–21. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20450-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20450-0_2)
27. Boro, J., Kumar, U., & Yadav, H. K. (2024). Phenotypic characterization of core accessions of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71 (8), 4793–4806. <https://doi.org/10.1007/s10722-024-01938-z>
28. Baturaygil, A., & Schmid, K. (2022). Characterization of flowering time in genebank accessions of grain amaranths and their wild relatives reveals signatures of domestication and local adaptation. *Agronomy*, 12 (2), 505. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020505>
29. Volkodav, V. V. (Ed.). (2000). *Metodyka derzhavnoho sortovyprovuvannia silskohospodarskykh kultur. Vyp. 1. Zahalna chastyna* [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part]. Derzhavna komisiia Ukrainy po vyprovuvaniu ta okhoroni sortiv roslyn [in Ukrainian]
30. Nascimento, M., Teodoro, P. E., Sant'Anna, I. D. C., Barroso, L. M. A., Nascimento, A. C. C., Azevedo, C. F., Teodoro, L. P. R., Farias, F. J. C., Almeida, H. C., & de Carvalho, L. P. (2021). Influential points in adaptability and stability methods based on regression models in cotton genotypes. *Agronomy*, 11 (11), 2179. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112179>
31. Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1), 4. [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/past.pdf](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf)

#### ORCID

- T. Hoptsi  <https://orcid.org/0000-0003-0288-7592>
- V. Antonenko  <https://orcid.org/0009-0009-8421-683X>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.