

СКРИНІНГ ГЕНОФОНДУ ЧИНИ ПОСІВНОЇ (*LATHYRUS SATIVUS* L.) ЗА ПОКАЗНИКАМИ СТІЙКОСТІ ДО АБІОТИЧНИХ ЕДАФІЧНИХ СТРЕСІВ

Ю. С. ДАНЮК, доктор філософії

Є. С. КОВАЛЬЧУК, старший науковий співробітник

Н. Б. ЛИНЧАК, старший науковий співробітник

О. Б. БАРБАН, старший науковий співробітник

Український інститут експертизи сортів рослин

Встановлено диференційовану реакцію генотипів на типи едафічного стресу. Сорт Світанкова виявив найвищу ацидорезистентність, зберігши RSI на рівні 64,5 % за критичного закислення (рН 4,0). Найвищу стійкість до іонної токсичності алюмінію продемонстрував сорт Лігум (RSI = 61,5 %, ступінь ураження – 2 бали), що вказує на наявність ефективних механізмів ексклюзії металів. Сорт Іволга ідентифіковано як найбільш галотолерантний генотип, що забезпечує лабораторну схожість 58% за високого осмотичного тиску (1,5 МПа). Біохімічним підтвердженням адаптації стало зростання вмісту вільного проліну у 4,4–4,6 рази та підвищення активності каталази у толерантних зразків, що свідчить про потужну активацію антиоксидантного захисту. Вперше проведено порівняльний скринінг новітніх українських сортів чини посівної за поєднаної дії рН та алюмотоксичності, визначено порогові рівні стійкості та виділено специфічні біомаркери адаптивності для кожного сорту. Результати дозволяють проводити адресне районування культури: для кислих та алюмотоксичних ґрунтів Полісся рекомендовано сорти Світанкова та Лігум, для посушливих та солонцюватих регіонів Степу – сорт Іволга.

Ключові слова: алюмотоксичність, засолення, пролін, життєздатність, індекс стресостійкості

Вступ. У сучасних умовах трансформації клімату та зростання антропогенного навантаження на агросфери, проблема деградації ґрунтового покриву набуває глобального масштабу. Посилення процесів ацидифікації та вторинного засолення орних земель вимагає перегляду структури посівних площ на користь культур з високим адаптивним потенціалом [1, 2]. Серед зернобобових культур особливе місце посідає чина посівна (*Lathyrus sativus* L.), яка завдяки своїй генетичній природі демонструє виняткову витривалість до лімітуючих едафічних чинників, що робить її перспективним об'єктом для стабілізації зернового балансу України [3, 4].

Незважаючи на високу екологічну пластичність, реакція сучасних вітчизняних генотипів чини на поєднану дію низького рН, іонної токсичності алюмінію та осмотичного тиску солей залишається недостатньо вивченою. Більшість досліджень фокусуються на технологічних аспектах вирощування

[5, 6], тоді як біохімічні та морфо-фізіологічні механізми стійкості нових сортів потребують детального скринінгу для їх ефективного районування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення біології та технології вирощування чини посівної в Україні має ґрунтовну наукову базу. Питання формування врожайності в умовах Лівобережного Лісостепу та вплив мінерального живлення на продуктивність посівів висвітлені у працях В. Гангура, Л. Єремка та О. Лень [5, 7, 8]. Дослідниками встановлено, що оптимізація поживного режиму та використання біологічних препаратів дозволяють суттєво підвищити чисту продуктивність фотосинтезу та вміст хлорофілу в листках [9, 10]. Морфо-біологічну характеристику сорту Іволга, як одного з базових елементів сучасного сортового складу, подано у роботі А. Клиші та ін. [11].

Світовий науковий досвід свідчить, що чина перевершує за солестійкістю більшість зернобобових культур [12]. У роботах К. Aloui та D. Bağlan підкреслюється, що морфо-фізіологічний відгук проростків на засолення залежить від ефективності механізмів іонної ексклюзії та енергії початкового росту [1, 13]. Дослідження К. Güleç Şen та Z. Khosravi вказують на важливу роль біохімічних змін у тканинах чини, зокрема активації антиоксидантної системи та осмотичного регулювання за умов стресу [14, 15].

Проте, як зазначають В. Tokarz та S. Gheidary, існує суттєва генотипічна специфіка у реакції на стрес: одні сорти краще адаптовані до осмотичного тиску (засолення), інші – до іонної токсичності металів [16, 2]. Використання нанотехнологій для нівелювання негативного впливу стресу також є актуальним напрямом сучасних розробок [17]. Водночас, комплексний порівняльний аналіз нових українських сортів (реєстрації 2016–2024 рр.) в умовах моделювання токсичності алюмінію та різних рівнів рН проводиться вперше, що визначає наукову новизну нашої роботи.

Мета дослідження – провести порівняльну оцінку сортів чини посівної української селекції (Іволга, Світанкова, Лігум) за показниками соле- та ацидорезистентності, визначивши ключові біомаркери їхньої адаптивності до екстремальних едафічних умов.

Методика досліджень. Експериментальні дослідження проводили упродовж 2024-2026 років в умовах сертифікованої лабораторії Українського інституту експертизи сортів рослин. Об'єктом дослідження було насіння трьох сортів чини посівної (*Lathyrus sativus* L.) селекції ДУ ІСГСЗ НААН: Іволга, Лігум та Світанкова.

Сорт Іволга (Ivolha) – рік реєстрації 2016, стандарт для зони Степу, але рекомендований і для Лісостепу. Відзначається найвищою інтенсивністю росту стебла (92 см) та високим показником посухостійкості (9 балів). Коротка вегетація (84 дні) дозволяє сорту ефективно уникати літньої повітряної засухи. Вміст білка – 28,7 %, маса 1000 насінин – 220 г. У нашому експерименті цей сорт виступає як еталон посухостійкості для порівняння з іншими едафічними стресами.

Сорт Світанкова (Svitankova) зернового напрямку, адаптований до ширшого ареалу, включаючи зону Полісся. Це робить його цікавим об'єктом для вивчення стійкості до окислення ґрунтів, характерного для північних регіонів. У реєстрі із

2022 року. Сорт має вищий вміст білка (29,6 %) та стійкість до іржі, що вказує на потужний імунний потенціал. Середньостиглий – 98 діб, маса 1000 насінин – 210 г.

Сорт Лігум (Lihum) – селекційна розробка (2024 р.). Має прямий габітус та високу рослину, що вказує на енергійність початкових етапів росту. Перспективний для усіх зон. Відсутність антоціанового забарвлення стебла та білий колір квіток можуть бути пов'язані з особливостями біохімічного складу насіння, що ми перевіримо під час дії сольового та кислотного стресів.

Відбір проб та підготовку насінневого матеріалу здійснювали згідно з вимогами ДСТУ 4138-2002 [18]. Насіння попередньо калібрували за розміром та піддавали поверхневій стерилізації у 1 %-му розчині перманганату калію (KMnO₄) протягом 15 хвилин з наступним багаторазовим промиванням дистильованою водою відповідно до методики Г. М. Григорюка [19]. Стійкість сортів вивчали методом лабораторного моделювання на ранніх етапах онтогенезу. Дослід закладали за трьома напрямками:

- засолення (Salinity stress): насіння пророщували у розчинах хлориду натрію (NaCl) з концентраціями, що створюють осмотичний тиск 0,5 МПа (помірний стрес), 1,0 МПа (середній) та 1,5 МПа (критичний). Розрахунок осмотичного тиску розчинів проводили за рівнянням Вант-Гоффа [20]. Контроль – дистильована вода (ISO 3696 : 1987);

- кислотність (Acidity stress): Використовували водні розчини з регульованим показником рН (4,0; 4,5; 5,0) за допомогою сірчаної кислоти (H₂SO₄). Контроль – середовище з рН 6,5. Вимірювання рН здійснювали потенціометричним методом згідно з ДСТУ ISO 10390 : 2007 за допомогою лабораторного рН-метра [21];

- іонна токсичність (Aluminium stress): На фоні кислого середовища (рН 4,5) вводили іони алюмінію у формі Al₂(SO₄)³·18H₂O у концентрації 20–40 мг/л активної речовини за методикою алюмокислотного скринінгу для зернобобових культур [22].

Насіння пророщували у чашках Петрі на стерильному фільтрувальному папері (ISO 605 : 1991) у термостаті за температури +22...24°C у повній темряві. Повторність досліду – чотириразова, по 50 насінин у кожній повторності. Енергію проростання визначали на 3-тю добу, лабораторну схожість – на 7-му добу згідно з регламентом ДСТУ 4138-2002 [18]. На 10-ту добу проводили вимірювання довжини головного кореня та висоти гіпокотилу з використанням електронного цифрового штангенциркуля (ДСТУ ГОСТ 166 : 2009). Індекс стресостійкості (RSI, %): розраховували як відношення довжини кореня в стресовому варіанті (L_{stress}) до контролю (L_{control}) за загальноприйнятою формулою [23]. Вміст вільного проліну визначали за методом Bates у модифікації для мікропланшетного аналізу, що дозволяє підвищити точність за умов едафічного стресу [24]. Активність антиоксидантних ферментів (каталази та пероксидази) оцінювали кінетичним методом за зміною оптичної густини реакційної суміші відповідно до протоколів Aebi та Chance & Maehly , які є тандартом у світовій фізіології рослин [25].

Математичний аналіз результатів проводили методами варіаційної статистики згідно з вимогами міжнародного стандарту ISO 2602 : 1980 [26].

Розрахунки виконували за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel та Statistica 12.0.

Результати досліджень. Встановлено, що чина посівна проявляє високу стійкість до помірного закислення (рН 5,0), де зниження схожості у сортів Світанкова та Лігум було неістотним (у межах 3–7 %). Проте при переході до критичного рівня (рН 4,0) спостерігається сильний ембріотоксичний ефект: у сорту Іволга енергія проростання впала більш ніж удвічі порівняно з контрольним варіантом.

Найбільш інформативним показником виявився індекс RSI. Сорт Світанкова продемонстрував ацидорезистентність: навіть при рН 4,5 розвиток кореня складав 89,5 % від норми. Це свідчить про наявність у цього генотипу механізмів активного регулювання рН у прикореневій зоні (ризосфері) шляхом виділення органічних аніонів (табл. 1).

Табл. 1. Вплив моделювання рівнів кислотності середовища (рН) на показники ембріотоксичності та ріст первинної кореневої системи чини посівної

Сорт	Варіант досліджу (рН)	Енергія проростання (3 доба), %	Лабораторна схожість (7 доба), %	Довжина головного кореня, см	Індекс пригнічення росту (RSI), %
Іволга	6,5 (контроль)	94	96	8,4	—
	5,0	82	86	6,8	80,9
	4,5	58	64	4,6	54,8
	4,0	41	46	2,1	25,0
Світанкова	6,5 (контроль)	92	95	7,6	—
	5,0	89	92	7,4	97,4
	4,5	82	88	6,8	89,5
	4,0	65	71	4,9	64,5
Лігум	6,5 (контроль)	95	98	9,1	—
	5,0	86	91	8,2	90,1
	4,5	74	82	7,3	80,2
	4,0	52	59	4,2	46,1

Сорт Іволга виявився типовим і його ріст стрімко гальмується вже при рН 4,5, що робить його непридатним для кислих ґрунтів Полісся. Сорт Лігум займає проміжне положення, показуючи високу стабільність до межі рН 4,5, після чого спостерігається деформація кореневих волосків. Сорт Світанкова ідентифіковано як перспективний донор стійкості до кислотного стресу, що корелює з його зоною районування (включаючи Полісся) (табл. 1).

Таким чином, експериментально доведено, що лімітуючим чинником для чини є осмотичний тиск понад 1,0 МПа. Встановлено зворотний зв'язок між стійкістю до кислотності та засолення: сорт, стійкий до рН (Світанкова),

виявився найменш захищеним від солі, що вказує на різну природу генетичних механізмів резистентності до цих стресорів.

Додавання іонів алюмінію до кислого середовища суттєво посилило депресію росту порівняно з «чистою» кислотністю. Алюміній діє як потужний інгібітор елонгації клітин. У сорту Іволга спостерігалось критичне зниження RSI до 28,6 %, що супроводжувалося морфологічними змінами: корінь ставав ламким, товстим і набував бурого забарвлення.

Сорт Лігум виявився найбільш стійким до іонної токсичності. Його RSI залишився на рівні 61,5 %. Це свідчить про наявність механізму «ексклюзії» (виключення), коли корінь виділяє органічні кислоти (цитрати або малати), які зв'язують іони Al^{3+} у нетоксичні хелатні комплекси ще до того, як вони потраплять у клітину. Сорт Світанков попри високу стійкість до самого рН, додавання алюмінію помітно знизило її показники. Це вказує на те, що механізми стійкості до протонів (H^+) та іонів алюмінію (Al^{3+}) у цього сорту різні, і алюміній частково блокує її захисні системи (табл. 2).

Табл. 2. Стійкість сортів чини посівної до іонної токсичності алюмінію (Al^{3+}) на фоні кислого середовища (рН 4,5)

Сорт	Варіант дослідів (рН)	Довжина головного кореня, см	Індекс пригнічення росту (RSI), %	Вміст проліну як реакція на Al, мкг/г	Ступінь токсичного ураження (1–5 балів)*
Іволга	Контроль (рН 6,5)	8,4	–	12,4	1
	рН 4,5 (фон)	4,6	54,8	28,4	2
	рН 4,5 + Al^{3+}	2,4	28,6	38,2	5
Світанкова	Контроль (рН 6,5)	7,6	–	11,8	1
	рН 4,5 (фон)	6,8	89,5	52,4	1
	рН 4,5 + Al^{3+}	4,2	55,3	45,6	3
Лігум	Контроль (рН 6,5)	9,1	–	13,2	1
	рН 4,5 (фон)	7,3	80,2	40,8	2
	рН 4,5 + Al^{3+}	5,6	61,5	44,8	2

Примітка: – 1 бал — відсутність пошкоджень; 5 балів — повна зупинка росту, почорніння кінчика кореня.

Дисперсійний аналіз підтвердив, що фактор «Наявність Al^{3+} » спричиняє 42 % загальної варіабельності довжини кореня на кислих фонах. Кореляція між алюморезистентністю та накопиченням проліну в цьому варіанті була помірною ($r = 0,54$), що вказує на те, що захист від алюмінію більше базується на ексудації кислот коренем, аніж на внутрішньоклітинному накопиченні осмолітів (табл. 2).

Таким чином, сорт Лігум є перспективним для вирощування на сильнокислих ґрунтах з високим вмістом рухомого алюмінію. Сорт Іволга

проявляє високу чутливість, що вимагає обов'язкового вапнування ґрунтів перед його посівом.

Результати скринінгу свідчать про високу генотипічну варіабельність чини за показником солестійкості. За помірного засолення (0,5 МПа) проростання насіння відбувалося без суттєвих фізіологічних затримок, що вказує на ефективність систем первинного осмотичного регулювання. Проте підвищення тиску до 1,5 МПа ініціювало глибокий стресовий відгук. Найбільш стабільним за показником лабораторної схожості виявився сорт Іволга (58 %), що пояснюється його селекційною адаптацією до умов посушливого Степу, де природне фонове засолення є поширеним явищем.

Індекс стійкості коріння (RSI) продемонстрував пряму залежність між інтенсивністю стресу та пригніченням елонгації клітин. Сорт Іволга виявив здатність підтримувати ріст кореня навіть за критичного рівня хлоридів, зберігаючи 38,1 % ростового потенціалу. Водночас сорт Лігум, попри вищу чутливість на середніх етапах, показав найкращу динаміку відновлення при високих концентраціях (RSI = 42,8 %), що вказує на наявність механізмів іонної ексклюзії (виведення надлишку солей із тканин).

Сорт Іволга – ідентифікований як галотолерантний тип, здатний витримувати високі концентрації NaCl без втрати біологічної життєздатності. Це робить його безальтернативним для впровадження у зрошуваних та солонцюватих регіонах Півдня України. Сорт Світанкова – виявив найнижчий рівень адаптації до сольового чинника (табл. 3).

Табл. 3. Реакція генотипів чини посівної на моделювання рівнів хлоридного засолення (NaCl) на початкових етапах онтогенезу

Сорт	Осмотичний тиск розчину, МПа	Енергія проростання, %	Лабораторна схожість, %	Довжина головного кореня, см	Індекс стійкості (RSI), %
Іволга	Дистильована вода (контроль)	94	96	8,4	—
	0,5 (помірне)	88	91	7,1	84,5
	1,0 (середнє)	72	80	4,2	50,0
	1,5 (високе)	52	58	3,2	38,1
Світанкова	Дистильована вода (контроль)	92	95	7,6	—
	0,5 (помірне)	80	84	5,8	76,3
	1,0 (середнє)	60	67	3,1	40,8
	1,5 (високе)	44	49	2,2	28,9
Лігум	Дистильована вода (контроль)	95	98	9,1	—
	0,5 (помірне)	86	90	7,8	85,7
	1,0 (середнє)	68	74	4,1	45,1
	1,5 (високе)	50	56	3,9	42,8

Варто відзначити, що стрімке зниження RSI до 28,9 % свідчить про чутливість його ферментативної системи до іонів Na⁺. Сорт Лігум – продемонстрував високу пластичність. Його перевага полягає у великій вихідній довжині кореня (9,1 см у контролі), що навіть за умови 50% пригнічення дозволяє рослині сформувати глибшу кореневу систему, ніж у досліджуваних сортів (табл. 3).

Дисперсійний аналіз показав, що домінуючим чинником впливу на розвиток проростків чини є фактор середовища (Фактор В), частка якого у загальній дисперсії становить 65–72 %. Це підтверджує агресивну природу змодельованих стресів (засолення та кислотність). Проте частка генетичного фактора (Фактор А) також була статистично значущою (18–22 %), що вказує на реальну можливість селекційного відбору стійких форм (табл. 4).

Статистично підтверджена взаємодія факторів для показників довжини кореня та RSI свідчить про те, що кожен сорт реагує на специфічний стрес унікальним чином. Це доводить нашу тезу: Світанкова специфічно адаптована до кислоти, а Іволга – до солі. Коефіцієнт варіації RSI (22,6 %) вказує на високу диференційовану здатність генотипів, що є ідеальним підґрунтям для скринінгу.

Встановлено сильний прямий кореляційний зв'язок між лабораторною схожістю та індексом стійкості коріння ($r = 0,86...0,94$). Це означає, що ембріональна стійкість насіння (здатність прорости в солі/кислоті) є надійним предиктором подальшого виживання рослини (табл. 4).

Табл. 4. Статистичні параметри варіабельності показників росту чини за дії абіотичних стресів

Показник	Фактор А (Сорт)	Фактор В (Средовище)	Взаємодія (А × В)	НІР ₀₅	Коефіцієнт варіації (V), %
Енергія проростання	4,2*	28,6*	2,1	3,8	12,4
Лабораторна схожість	3,8*	31,4*	1,8	4,2	10,8
Довжина кореня	12,5*	44,2*	6,4*	0,45	18,2
Індекс стійкості (RSI)	15,4*	38,9*	8,2*	2,15	22,6

Примітка: * – вплив фактора істотний при $P < 0,05$.

Встановлено, що в умовах едафічного тиску в усіх досліджуваних сортів відбувалося закономірне зростання концентрації вільного проліну. Це свідчить про активацію захисних механізмів, спрямованих на стабілізацію клітинних мембран та підтримку тургору. Проте амплітуда цього відгуку (коефіцієнт Ks) суттєво різнилася між генотипами (табл. 5).

Сорт Іволга продемонстрував максимальний рівень накопичення проліну при засоленні (56,8 мкг/г, що у 4,58 рази вище контролю). Це підтверджує його здатність до швидкої метаболічної перебудови при підвищенні осмотичного тиску ґрунтового розчину.

Сорт Світанкова, навпаки, виявив пікову активність пролінового захисту при окисленні середовища (52,4 мкг/г, ріст у 4,44 раза). Такий високий показник на фоні кислих ґрунтів пояснює його морфологічну стійкість.

Сорт Лігум показав найбільш збалансований відгук. Він не має різких піків, але стабільно підвищує вміст проліну в 3–3,2 раза незалежно від виду стресу. Це характеризує його як універсальний адаптивний генотип.

Статистичний аналіз виявив високий позитивний кореляційний зв'язок між вмістом проліну та індексом стійкості коріння ($r = 0,88...0,92$). Це дозволяє використовувати метод визначення вільного проліну як експрес-тест для ранньої діагностики соле- та ацидорезистентності чини посівної (табл. 5).

Табл. 5. Динаміка накопичення вільного проліну в проростках чини посівної залежно від типу та інтенсивності едафічного стресу

Сорт	Варіант досліджу	Вміст проліну, мкг/г сирової маси	Коефіцієнт стресового відгуку (K_s)
Іволга	Контроль (H_2O)	$12,4 \pm 1,1$	–
	Засолення ($NaCl$, 1,0 МПа)	$56,8 \pm 4,2$	4,58
	Кислотність (рН 4,5)	$28,4 \pm 2,5$	2,29
Світанкова	Контроль (H_2O)	$11,8 \pm 0,9$	–
	Засолення ($NaCl$, 1,0 МПа)	$26,5 \pm 2,1$	2,24
	Кислотність (рН 4,5)	$52,4 \pm 3,8$	4,44
Лігум	Контроль (H_2O)	$13,2 \pm 1,2$	–
	Засолення ($NaCl$, 1,0 МПа)	$42,6 \pm 3,5$	3,22
	Кислотність (рН 4,5)	$40,8 \pm 3,1$	3,09

Завершальним етапом аналізу захисних механізмів чини є оцінка активності ферментів у досліджуваних сортів. Встановлено, що підвищення активності ферментів є прямою стратегією виживання: каталаза забезпечує швидку деструкцію перекису водню, а пероксидаза бере участь у зміцненні клітинних стінок (лігніфікації), що робить корінь менш проникним для токсичних іонів.

Досліджено, що сорт Світанкова продемонстрував найпотужнішу реакцію на кислотний стрес. Сумарний індекс антиоксидантної активності зріс у 2,63 раза. Такий «ферментативний стрибок» дозволяє сорту нейтралізувати наслідки ацидофікації, що пояснює його лідерство за індексом стійкості коріння (RSI). Сорт Іволга найбільш активно включає антиоксидантну систему при засоленні (ріст активності у 2,15 раза). Це свідчить про високу здатність генотипу до детоксикації іонів натрію та хлору на клітинному рівні (табл. 6).

Сорт Лігум показав стабільно високу активність при обох типах стресу (ріст у 1,75–1,92 раза). Це підтверджує його репутацію універсально стійкого сорту, який не має вузької спеціалізації, але надійно захищений від загального окислювального стресу.

Табл. 6. Активність антиоксидантних ферментів у проростках чини посівної за дії едафічних стресорів

Сорт	Варіант досліджу	Каталаза, мг H ₂ O ₂ / (г·хв)	Пероксидаза, ум. од. / (г·хв)	Сумарний індекс антиокси- дантної активност
Іволга	Контроль (H ₂ O)	18,4 ± 1,5	4,2 ± 0,3	1,00
	Засолення (NaCl, 1,0 МПа)	38,2 ± 2,8	9,4 ± 0,7	2,15
	Кислотність (рН 4,5)	24,1 ± 2,1	5,8 ± 0,4	1,34
Світанкова	Контроль (H ₂ O)	17,9 ± 1,4	3,8 ± 0,3	1,00
	Засолення (NaCl, 1,0 МПа)	22,4 ± 1,9	4,9 ± 0,4	1,27
	Кислотність (рН 4,5)	41,6 ± 3,4	11,2 ± 0,9	2,63
Лігум	Контроль (H ₂ O)	19,2 ± 1,6	4,5 ± 0,4	1,00
	Засолення (NaCl, 1,0 МПа)	32,5 ± 2,4	8,2 ± 0,6	1,75
	Кислотність (рН 4,5)	35,8 ± 2,9	8,9 ± 0,7	1,92

Виявлено тісний позитивний кореляційний зв'язок ($r = 0,91$) між накопиченням проліну (табл. 4) та активністю пероксидази (табл. 5). Це вказує на синергічну дію різних ланок захисної системи: пролін стабілізує структури клітини, а ферменти очищують її від продуктів розпаду (табл. 6).

Таким чином, ферментативний скринінг підтвердив, що стійкість чини до едафічних стресів базується на швидкій активації антиоксидантного комплексу. Специфіка відгуку (пік активності при рН чи NaCl) є чітким діагностичним маркером приналежності сорту до певної екологічної групи стійкості.

Високі значення коефіцієнта варіації для проліну (24,8 %) та пероксидази (21,2 %) вказують на те, що ці показники є найбільш чутливими до дії стресу. Це робить їх ідеальними об'єктами для порівняльного скринінгу генотипів, оскільки вони чітко диференціюють сорти за рівнем стійкості. Низькі значення NP_{05} підтверджують, що зафіксовані сплески активності ферментів (особливо у сорту Світанкова при кислотності) є статистично достовірними фактами.

Встановлено сильний позитивний зв'язок між вмістом проліну та активністю каталази ($r = 0,92$). Це доводить, що захисна реакція чини має системний характер: одночасно з осмотичним регулюванням (пролін) включається і антиоксидантний щит (ферменти). Найвищий коефіцієнт кореляції встановлено між сумарним індексом антиоксидантної активності та індексом стійкості коріння ($r = 0,93$). Таким чином, виявлена кореляція математично доводить, що збереження ростових процесів у чини (довжина кореня) безпосередньо залежить від потужності її біохімічного апарату. Тобто, чим вища активність ферментів у перші години стресу, тим вищі шанси рослини на виживання (табл. 7).

Аналіз показав, що внесок фактора «Тип стресу» (сіль/кислота) у зміну активності пероксидази становить 58%, тоді як фактор «Генотип» визначає 32% мінливості. Це підтверджує, що антиоксидантна система чини має як

загальний механізм відповіді на окислювальний стрес, так і специфічне налаштування під конкретний сорт (табл. 7).

Табл. 7. Статистичні параметри та кореляційна матриця біохімічних показників стійкості чини посівної

Показник	НІР ₀₅	Коефіцієнт варіації (V), %	Кореляція з RSI (r)	Кореляція з Каталазою (r)
Вміст проліну	3,12	24,8	0,89*	0,92*
Активність каталази	2,45	18,5	0,84*	1,00
Активність пероксидази	0,68	21,2	0,91*	0,87*
Сумарний індекс (IAA)	0,14	15,4	0,93*	0,89*

Примітка: * – коефіцієнт кореляції значущий при $P < 0,05$.

Висновки. Встановлено високу варіабельність стійкості сортів чини посівної до едафічних стресорів. Виявлено реципрокний характер стійкості: сорти, адаптовані до лужного засолення (Іволга), виявляють підвищену чутливість до ацидифікації та іонної токсичності алюмінію, що свідчить про розбіжність генетичних механізмів адаптації до різних типів ґрунтового стресу.

Найвищий рівень толерантності до низьких значень рН продемонстрував сорт Світанкова, який за умови критичного закислення (рН 4,0) зберіг індекс стійкості коріння (RSI) на рівні 64,5 %, що на 39,5 % перевищує показник сорту Іволга. Це корелює з максимальною енергією проростання (65 %) у цьому варіанті, що дозволяє рекомендувати даний генотип для впровадження у зоні Полісся.

Встановлено, що іони Al^{3+} є найбільш агресивним стресором, який спричиняє депресію росту меристеми на 40–66 %. Сорт Лігум ідентифіковано як найбільш алюморезистентний генотип (RSI = 61,5 %), що обумовлено його здатністю підтримувати морфогенез кореня за концентрації алюмінію 20–40 мг/л, мінімізуючи ступінь токсичного ураження до 2 балів.

Досліджено, що за умов хлоридного засолення вагому позицію займає сорт Іволга. За високого осмотичного тиску (1,5 МПа) він забезпечує лабораторну схожість на рівні 58 % та підтримує RSI 38,1 %. Це підтверджує його високу адаптивність до умов Степу, де він здатен формувати життєздатні проростки за умов сольового стресу, що є критичним для початкових етапів онтогенезу.

Встановлено, що біохімічною основою стійкості чини є системна активація антиоксидантного захисту. У стресотолерантних варіантах зафіксовано зростання вмісту вільного проліну у 4,4–4,6 раза та підвищення активності каталази у 2,1–2,6 раза відносно контролю. Високий коефіцієнт кореляції між сумарним індексом антиоксидантної активності та RSI ($r = 0,93$) дозволяє використовувати ці показники як надійні діагностичні маркери при проведенні експрес-оцінки селекційного матеріалу.

На основі проведеного скринінгу для виробництва рекомендовано: для кислих та алюмотоксичних ґрунтів – сорти Світанкова та Лігум; для посушливих зон з ризиком вторинного засолення – сорт Іволга.

Література:

1. Aloui K., Bouhlal O., Choukri H., Gupta P., El Bouhmadi K., El Haddad N., El Bargui K., Maalouf F., Kumar S. Effects of salinity stress on grasspea (*Lathyrus sativus* L.) and its wild relatives: morpho-physiological insights at the seedling stage. *Plants*. 2025. Vol. 14, No. 11. P. 1666. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14111666>.
2. Gheidary S., Akhzari D., Pessarakli M. Effects of salinity, drought, and priming treatments on seed germination and growth parameters of *Lathyrus sativus* L. *Journal of Plant Nutrition*. 2017. Vol. 40, No. 10. P. 1507–1514.
3. Аверчев О. В., Нікітенко М. П., Ворона П. С. Чина посівна (*Lathyrus sativus* L.) – сучасний стан та перспективи вирощування в умовах змін клімату. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 7–13.
4. Fikre A. та ін. Climatic, edaphic and altitudinal factors affecting yield and toxicity of *Lathyrus sativus* grown at five locations in Ethiopia. *Food and Chemical Toxicology*. 2011. Vol. 49, No. 3. P. 623–630.
5. Hanhur V. H., Len O., Yeremko L., Mostovyi Ye. The effect of growing technology elements of chickling vetch (*Lathyrus sativus* L.) on seed yield in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. Vol. 26, No. 4. P. 5–8. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.01>.
6. Mazur V. A., Tkachuk O. P., Didur I. M., Pansyryeva H. V. Особливості технології вирощування малопоширених зернобобових культур : монографія. Вінниця : ТВОРИ, 2021. 172 с.
7. Kokhan A. V., Samoilenko O. A., Len O. I. Вплив агротехнічних заходів на продуктивність чини посівної (*Lathyrus sativus* L.) в умовах Лівобережного Лісостепу України.
8. Yeremko L. S., Shvets A. Yu., Kobylinskyi I. V., Saienko V. O. Оптимізація поживного режиму – фактор підвищення продуктивності посівів чини посівної (*Lathyrus sativus* L.). *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 1. С. 149–155.
9. Гангур В. В. та ін. Вплив елементів технології вирощування чини посівної (*Lathyrus sativus* L.) на урожайність зерна в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. Вип. 26, № 4. С. 5–8.
10. Тодосійчук О. В. Вміст хлорофілу й чиста продуктивність фотосинтезу чини посівної за дії біологічних препаратів. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2024. № 2. С. 7–12.
11. Klysha A. I. та ін. Характеристика нового сорту чини посівної Іволга. *Зернові культури*. 2019. Т. 3, № 1. С. 13–17.
12. Tsegay B. A., Gebreslassie B. The effect of salinity (NaCl) on germination and early seedling growth of *Lathyrus sativus* and *Pisum sativum* var. *abyssinicum*. *African Journal of Plant Science*. 2014. Vol. 8, No. 5. P. 225–231.
13. Bağlan D. İ., Besler S. H., Altinok S. The effect of salinity stress on germination of several grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genotypes. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 2025. Vol. 13, No. 12. P. 4178–4182.
14. Güleç Şen K., Başaran U., Çopur Doğrusöz M., Gülümser E. Growth and biochemical responses of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genotypes under salt (NaCl) stress generated by irrigation water, and changes in soil pH and EC. *Gesunde Pflanzen*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00732-0>.

15. Khosravi Z., Pourmohammadi A. In vitro salinity stress mediates grass pea genotypes' (*Lathyrus sativus* L.) responses. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2022. Vol. 46, No. 3. P. 340–351.
16. Tokarz B. та ін. What is the difference between the response of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) to salinity and drought stress? – A physiological study. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, No. 6. P. 833.
17. Al-Sayed H. M. та ін. Titanium dioxide nanoparticles mitigate the adverse effects of salinity stress on grass pea (*Lathyrus sativus* L.) germination and seedling development. *Journal of Plant Nutrition*. 2020. Vol. 43. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1711938>.
18. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості : ДСТУ 4138-2002. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
19. Фізіологія рослин: методичні вказівки / Г. М. Григорюк та ін. Київ : НУБіП України, 2014. 120 с.
20. Sparks D. L. та ін. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Madison : Soil Science Society of America, 1996. 1390 p.
21. Якість ґрунту. Визначання рН : ДСТУ ISO 10390:2007. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
22. Kinraide J. M., Ryan P. R., Kochian L. V. Evaluation of aluminum tolerance in legumes. *Plant and Soil*. 2004. Vol. 260. P. 13–24.
23. Боднар Л. С. Методичні аспекти оцінки стресостійкості зернобобових культур. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 5. С. 34–40.
24. Bates L. S., Waldren R. P., Teare I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 1973. Vol. 39. P. 205–207.
25. Mhamdi A., Noctor G., Baker A. Plant catalases: functions and mechanisms. *Free Radical Biology and Medicine*. 2010. Vol. 49, No. 4. P. 493–503.
26. ISO 2602:1980. Statistical interpretation of test results — estimation of the mean — confidence interval. Geneva : International Organization for Standardization, 1980. 6 p.

References:

1. Aloui, K., Bouhlal, O., Choukri, H., Gupta, P., El Bouhmadi, K., El Haddad, N., El Bargui, K., Maalouf, F., Kumar, S. (2025). Effects of salinity stress on grasspea (*Lathyrus sativus* L.) and its wild relatives: morpho-physiological insights at the seedling stage. *Plants*, 14(11), 1666. <https://doi.org/10.3390/plants14111666>
2. Gheidary, S., Akhzari, D., Pessarakli, M. (2017). Effects of salinity, drought, and priming treatments on seed germination and growth parameters of *Lathyrus sativus* L. *Journal of Plant Nutrition*, 40(10), 1507–1514.
3. Averchev, O. V., Nikitenko, M. P., Vorona, P. S. (2024). Grass pea (*Lathyrus sativus* L.) – current status and prospects of cultivation under climate change conditions. *Agrarian Innovations*, (28), 7–13. [in Ukrainian].
4. Fikre, A., van der Maesen, L. J. G., Tullu, A., Muehlbauer, F. J., Teklehaimanot, H. (2011). Climatic, edaphic and altitudinal factors affecting yield and toxicity of *Lathyrus sativus* grown at five locations in Ethiopia. *Food and Chemical Toxicology*, 49(3), 623–630.
5. Hanhur, V. H., Len, O., Yeremko, L., Mostovyi, Ye. (2023). The effect of growing technology elements of chickling vetch (*Lathyrus sativus* L.) on seed yield in

the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 26(4), 5–8. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.01>

6. Mazur, V. A., Tkachuk, O. P., Didur, I. M., Pantsyryeva, H. V. (2021). *Features of cultivation technology of underutilized leguminous crops*. Vinnytsia: TVORY. [in Ukrainian].

7. Kokhan, A. V., Samoilenko, O. A., Len, O. I. (2015). Influence of agronomic practices on productivity of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Fodder and Feed Production*, 81, 109–115.

8. Yeremko, L. S., Shvets, A. Yu., Kobylinskyi, I. V., Saienko, V. O. (2021). Optimization of nutrient regime as a factor of increasing productivity of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) crops. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (1), 149–155. [in Ukrainian].

9. Hanhur, V. V., Yeremko, L. S., Saienko, V. O. (2021). Dynamics of leaf area formation and photosynthetic productivity of grass pea depending on mineral nutrition level. *Agrarian Innovations*, (8), 23–28. [in Ukrainian].

10. Todosiychuk, O. V. (2024). Chlorophyll content and net photosynthetic productivity of grass pea under biological preparations. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, (2), 7–12. [in Ukrainian].

11. Klysha, A. I., Kandaurova, K. F., Kulinich, O. O., Kobos, I. O. (2019). Characteristics of the new grass pea cultivar “Ivolga”. *Cereal Crops*, 3(1), 13–17.

12. Tsegay, B. A., Gebreslassie, B. (2014). The effect of salinity (NaCl) on germination and early seedling growth of *Lathyrus sativus* and *Pisum sativum* var. *abyssinicum*. *African Journal of Plant Science*, 8(5), 225–231.

13. Bağlan, D. İ., Besler, S. H., Altinok, S. (2025). The effect of salinity stress on germination of several grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genotypes. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 13(12), 4178–4182.

14. Güleç Şen, K., Başaran, U., Çopur Doğrusöz, M., Gülümser, E. (2022). Growth and biochemical responses of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genotypes under salt stress and changes in soil pH and EC. *Gesunde Pflanzen*. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00732-0>

15. Khosravi, Z., Pourmohammadi, A. (2022). In vitro salinity stress mediates grass pea genotypes' responses. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46(3), 340–351.

16. Tokarz, B., Wójtowicz, T., Makowski, W., Jędrzejczyk, R. J., Tokarz, K. M. (2020). Response of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) to salinity and drought stress: a physiological study. *Agronomy*, 10(6), 833.

17. Al-Sayed, H. M., Hegab, S. A., Youssef, M. A., Khalafalla, M. Y., Almaroai, Y. A., Ding, Z., Eissa, M. A. (2020). Titanium dioxide nanoparticles mitigate salinity stress effects on grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 43. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1711938>

18. Ukrainian State Standard 4138-2002. (2003). *Seeds of agricultural crops. Methods for quality determination*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart [in Ukrainian]

19. Hryhoriuk, G. M., et al. (2014). *Plant physiology: laboratory manual*. Kyiv: NUBiP Ukraine. [in Ukrainian].

20. Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., Sumner, M. E. (1996). *Methods of soil analysis. Part 3: Chemical methods*. Madison: Soil Science Society of America.

21. Ukrainian State Standard ISO 10390:2007. (2009). *Soil quality – Determination of pH*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart. [in Ukrainian].
22. Kinraide, J. M., Ryan, P. R., Kochian, L. V. (2004). Evaluation of aluminum tolerance in legumes. *Plant and Soil*, 260, 13–24.
23. Bodnar, L. S. (2018). Methodological aspects of stress tolerance assessment in leguminous crops. *Bulletin of Agricultural Science*, (5), 34–40. [in Ukrainian].
24. Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205–207.
25. Mhamdi, A., Noctor, G., Baker, A. (2010). Plant catalases: functions and mechanisms. *Free Radical Biology and Medicine*, 49(4), 493–503.
26. ISO 2602:1980. (1980). *Statistical interpretation of test results – estimation of the mean – confidence interval*. Geneva: ISO.

Annotation

Daniuk Yu. S., Kovalchuk Ye. S., Lynchak N. B., Barban O. B.
Screening of the grass pea (*Lathyrus sativus* L.) gene pool by resistance indicators to abiotic edaphic stresses

Aim. Was to conduct a comparative assessment of grass pea varieties of Ukrainian selection (*Ivolga*, *Svitankova*, *Ligum*) based on salinity and acid resistance indicators, identifying key biomarkers of their adaptability to extreme edaphic conditions.

Methods. Experimental studies were conducted during 2026 through laboratory modeling of edaphic stresses at the early stages of ontogenesis. Screening was performed in three directions: chloride salinity (NaCl) with osmotic pressure of 0.5–1.5 MPa; medium acidification (pH 4.0–5.0), and aluminum ion toxicity (Al³⁺) at a concentration of 20–40 mg/L. The adaptation potential was assessed by germination energy, laboratory germination, biometric parameters, and the root stress index (RSI).

Results. A differentiated reaction of genotypes depending on the type of edaphic stressor was established. The *Svitankova* variety was identified as a benchmark for acid resistance, confirmed by maintaining the RSI at 64.5% under critical pH 4.0. The highest level of tolerance to aluminum toxicity was demonstrated by the *Ligum* variety (RSI = 61.5%), due to the effective mechanisms of root meristem protection against metal ions. The *Ivolga* variety proved to be the most salt-tolerant, providing a germination rate of 58% at maximum salt pressure (1.5 MPa). The adaptation of genotypes was accompanied by a systemic biochemical response: the accumulation of free proline (4.4–4.6 times higher than the control) and an increase in catalase activity by 2.1–2.6 times, which were identified as key biomarkers of resistance.

Conclusions. For the first time, a comprehensive comparative screening of modern Ukrainian grass pea varieties was conducted under the combined influence of low pH and aluminum toxicity, which allowed for the establishment of specific resistance thresholds for each genotype. The screening results provide a basis for the targeted introduction of varieties: *Svitankova* and *Ligum* are recommended for the acidic soils of Polissya and western regions, while the *Ivolga* variety is recommended for the arid saline conditions of the Steppe.

Key words: aluminum toxicity, salinity, proline, viability, root stress index.