



Генетика, селекція біотехнологія

УДК 633.31:631.52:631.5:636

© 2023

ФОРМУВАННЯ СТІЙКОСТІ РОСЛИН НАСІННЕВОЇ ЛЮЦЕРНИ В УМОВАХ РІЗНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО ГРАДІЄНТА

*Р.А. Возжєгова¹, А.В. Тищенко², О.Д. Тищенко³,
О.О. Пілярська⁴, К.С. Фундират⁵, В.М. Коновалова⁶*

¹доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН

²доктор сільськогосподарських наук

³⁻⁵кандидати сільськогосподарських наук

⁶PhD (доктор філософії)

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН

вул. Маяцька дорога, 24, смт Хлібодарське Біляївського р-ну Одеської обл., 67667, Україна

e-mail: ¹icsanaas@ukr.net, ²tischenko_andriy@ukr.net, ³elenat1946@ukr.net,

⁴izz.biblio@ukr.net, ⁵kfundirat@gmail.com, ⁶vera_konovalova_1990@ukr.net

ORCID: ¹0000-0002-3895-5633, ²0000-0003-1918-6223, ³0000-0002-8095-9195,

⁴0000-0001-8649-0618, ⁵0000-0001-8343-2535, ⁶0000-0002-0655-9214

Надійшла 30.01.2023

Мета. Вивчити адаптивні ознаки в селекційних популяціях люцерни за насінневого використання за 2 роки життя та виділити перспективний матеріал для подальшого використання в селекційному процесі. **Методи.** Польовий, математико-розрахунковий, статистичний та метод біплот-аналізу. **Об'єктом** вивчення були 24 популяції люцерни за насінневого використання. **Аналіз стійкості** генотипів люцерни до стресу проводили за допомогою різноманітних параметрів адаптивності. **Результати.** За вирощування люцерни на насіння за 2 роки життя найкращі умови для сівби склалися у 2019 р., де індекс умов середовища (Ij) становив +156,79, найгірші — 2017 р. з індексом умов середовища – 123,38. Найвищою насінневою продуктивністю за гірших умов характеризувалася популяція М.г./ЦП-11 — 472,1 кг/га, за кращих умов — популяція А.-Н. d. № 15 — 840,5 кг/га. Популяції Сін(с)./Приморка, А.-Н. d. № 15 та Добір за кореневою системою за параметрами адаптивності було виділено як популяції інтенсивного типу. Натомість популяція М.г./ЦП-11 за параметрами адаптивності виявилася найбільш стабільною. Проаналізовано кореляції між урожайністю насіння за різних умов вирощування та параметрами адаптивних ознак, виділено найбільш придатні ідентифікатори адаптивності. За результатами GGE біплот-аналізу виділено найбільш стабільну популяцію М.г./ЦП-11, популяції Сін(с)./Приморка та А.-Н. d. № 15 виділено як пластичні, а Добір

за к.с. можна вважати популяцією інтенсивного типу. Висновки. Відібрано найбільш придатні параметри адаптивності для відбору популяцій насінневої люцерни, виділено й розподілено за групами найперспективніші популяції.

Ключові слова: генотип, популяція, насіннева продуктивність, параметри адаптивних ознак, кореляція, біплот-аналіз.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303-08>

Вирощувана в усьому світі багаторічна кормова культура люцерна серед кормових бобових культур характеризується високою продуктивністю біомаси, поживною цінністю з високим умістом білка. Вона сприяє підвищенню родючості ґрунтів [1, 2], захищає їх від вітрової та водної ерозії [3, 4]. Крім того, фіксація атмосферного азоту робить її незамінним попередником для інших сільськогосподарських культур.

Згідно з численними прогнозами глобальна зміна клімату призведе до підвищення температури, зміни географічної структури опадів і в майбутньому — до збільшення частоти екстремальних кліматичних явищ [5]. Пагубні наслідки абіотичного стресу є значним обмеженням для вирощування цієї культури [6–8].

Аналіз останніх досліджень. Одним з основних завдань, що стоять перед селекціонерами люцерни, є створення оптимального генотипу, здатного стабільно реалізовувати свій потенціал і реагувати на зміну умов вирощування. У зв'язку з цим виникає потреба в різнобічній оцінці селекційного матеріалу за адаптивними ознаками і врожайністю в конкретних агроекологічних умовах [9–11].

За постійного впливу несприятливих чинників навколишнього середовища: зміни температур, посухи, надмірного зволоження, засолення ґрунту тощо кожний рослинний організм здатний адаптуватися до цих умов лише в межах, зумовлених нормою реакції його генотипу. Чим вища здатність виду змінювати метаболізм відповідно до діапазонів мінливих умов, тим ширша норма його реакції та вища еколого-адаптивна спроможність [12, 13]. Сьогодні потребує ведення безперервного селекційного процесу з постійним його вдосконаленням для забезпечення стабільності та зростання

кормової і насінневої продуктивності культури шляхом створення і впровадження нових сортів. Автор [14] вважає, що саме адаптивна селекція забезпечує пристосувальні можливості сортів із максимальною і стабільною продуктивністю, поєднання продуктивності та стійкості до абіотичних, біотичних стресів в одному сорті та контроль екологічної стабільності. Проте основним завданням сучасної селекції має бути створення сортів із підвищеною екологічною стійкістю, посиленням їхньої здатності забезпечувати високу та стабільну врожайність за різних умов вегетації [15, 16], тобто підтримувати високий рівень адаптації рослин до комплексу біотичних і абіотичних факторів навколишнього середовища [17].

Адаптивна селекція передбачає пластичність, здатність генотипів зводити до мінімуму негативні наслідки впливу навколишнього середовища [18]. На думку автора [17], терміни стабільність, пластичність і гомеостатичність трактуються по-різному: іноді вони протиставляються один одному, або вважаються однозначними, а інколи доповнюють один одного. Пластичність і стабільність — головні адаптивні властивості рослин, що відображають модифікаційну мінливість під впливом факторів довкілля. Пластичність ознак — це здатність генотипу змінюватися під дією факторів середовища в межах, контрольованих самим генотипом [19–21]. Стабільність — це показник стійкості сорту в реалізації певного фенотипу в різних умовах середовища [22, 23]. Це 2 протилежні боки модифікаційної мінливості генотипу, тобто генотип не може бути одночасно стабільним і пластичним за досліджуваною ознакою [24]. Пластичність, стабільність і гомеостатичність характеризують потенціал модифікаційної та генотипової мінливості окремих сортових ознак, головною з яких

є врожайність, а ступінь реакції генотипів на зміну умов середовища характеризує сорт за пластичністю, стабільністю і гомеостатичністю. Гомеостатичність — показник, який об'єднує середню врожайність та адаптаційну норму реакції генотипів на лімітувальні фактори довкілля [25, 26]. Із пластичністю тісно пов'язане поняття «екологічна стабільність», яка відображає здатність рослинних популяцій протистояти стресовим чинникам [27, 28]. На думку авторів [8], терміни «адаптивність», «екологічна пластичність», «екологічна стійкість» можуть замінюватися, а частіше — доповнювати один одного. Оцінка генотипів за цими показниками дає змогу виділити екологічно стійкі форми, які забезпечують стабільні врожаї в різних місцях вирощування. Тому одним із головних завдань селекції є підвищення адаптивного потенціалу сортів, тобто не лише підвищення продуктивності рослин, а й поєднання її зі стійкістю до абіотичних і біотичних стресів, що є критерієм адаптивної здатності рослин [29, 30].

Мета досліджень — вивчити адаптивні ознаки в селекційних популяцій люцерни за насіннєвого використання за 2 роки життя та виділити перспективний матеріал для подальшого використання в селекційному процесі.

Матеріали і методи досліджень. Реакцію селекційних зразків люцерни на різні умови вирощування вивчали в Інституті зрошуваного землеробства НААН (нині Інститут кліматично орієнтованого сільськогосподарства НААН) м. Херсон, Україна (46°44'33"N; 32°42'28"E; 50 м над рівнем моря) упродовж 2017–2020 рр. Досліджували 24 зразки люцерни різного еколого-географічного походження, протестовані на ділянках площею 25 м² у 3-х повтореннях методом рендомізованих повторень (блоків), норма висіву була скоригована до 2,5 млн життєздатного насіння на 1 га.

Аналіз стійкості генотипів люцерни до стресу проводили за допомогою індексу умов середовища (I_i), коефіцієнта регресії (b_i), прогнозованої екологічної стабільності, пластичності сорту за різного екоградієнта (S_{di}^2), що визначали за методикою [31], показників стресостійкості (Y_{min} — Y_{max})

і генетичної гнучкості (Gf) — за рівняннями [32], параметрів гомеостатичності (Hom) та селекційної цінності (Sc) — за методикою [33], коефіцієнта адаптивності (KA) — за методом [34], загальної адаптивної здатності ($3A3i$), варіанси специфічної адаптивної здатності (σ_{CA3i}^2), відносної стабільності генотипу (s_{gi}), селекційної цінності генотипу (СЦГі), коефіцієнтів нелінійності (I_{gi}) і компенсації–дестабілізації (K_{gi}), що визначали за методом [35].

Проведено кореляційний аналіз між урожайністю насіння та параметрами адаптивності для визначення екстенсивних, інтенсивних і пластичних генотипів. Аналіз головних компонентів (PCA) здійснено на основі спостережень. Як кореляцію, так і PCA проводили за допомогою Microsoft® Excel 2013/XLSTAT®-Pro (версія 2015.6.01.23953, 2015, Addinsoft, Inc., Бруклін, Нью-Йорк, США).

Результати досліджень. Аналіз отриманих даних за цикл досліджень (сума першого і другого років) показав, що за період їх проведення найкращі умови для росту і розвитку рослин були за сівби 2019 р. (перший рік життя травостою — 2019, другий — 2020 р.), де індекс умов середовища (I_i) становив +156,79. Для сівби люцерни в 2017 та 2018 рр. умови були гіршими, індекс умов середовища становив –123,38 і –33,41 відповідно.

Найвищою насіннєвою продуктивністю за гірших умов характеризувалися популяції Сін(с)/Приморка — 456,7 кг/га, А.-Н. д. № 15 — 445,5 та М.г./ЦП-11 — 472,1 кг/га, найнижчою — 298,0 кг/га вона була в генотипу ФХНВ². За найсприятливіших умов (сівба 2019 р.) найбільшу врожайність насіння мали популяції Сін(с)/Приморка — 828,6 кг/га і А.-Н. д. № 15 — 840,5, найменшу продуктивність сформував генотип А.г. д. — 495,2 кг/га (табл. 1).

За рівнем стійкості селекційних номерів люцерни (Y_{min} – Y_{max}) було виділено 2 популяції: Т./Емерауде — –177,7 та А.г. д. — –149,6, але жодна з них істотно не перевищувала стандарт за середньою врожайністю (Y_{mean}).

Високі значення селекційної цінності (Sc) мали популяції Т./Емерауде — 342,5, М.г./ЦП-11 — 383,9 та В.11/П. д. — 340,2,

проте лише популяція Т./Емерауде вирізнялася стійкістю до стресу з показником ($Y_{\min} - Y_{\max}$) = -177,7, в інших він дорівнював -261,2 і -259,1 відповідно. Із цих селекційних номерів тільки популяція М.г./ЦП-11 істотно перевищувала стандартний сорт за врожайністю, яка становила 596,3 кг/га.

За показником генетичної гнучкості (G_f), що відображає середню врожайність сортів у контрастних умовах, вирізнялися популяції Сін(с)/Приморка та А.-Н. d. № 15

з показниками 643 і 643 відповідно, що сформували високий середній урожай насіння на відміну від інших генотипів. Ці популяції характеризувалися найвищими значеннями коефіцієнта адаптивності (КА) — 121,2 у Сін(с)/Приморка та 122,8 — А.-Н. d. № 15.

Популяції М.г./П.п., Сін(с)/Приморка, А.-Н. d. № 15 та Добір за кореневою системою вирізнялися високою пластичністю з коефіцієнтом регресії b_1 = 1,32; 1,30; 1,36 і 1,34 відповідно. За нашими дослідженнями, найбільш адаптованими до стресових

1. Гомеостатичність і адаптивність популяцій люцерни 1- та 2-го років життя за ознакою «врожайність насіння» (2017 – 2020 рр.)

Сорт, популяція	Позначення	Урожайність насіння, кг/га		Параметри адаптивності						
		$Y_{\min} - Y_{\max}$	Y_{mean}	$Y_{\min} - Y_{\max}$, кг/м ²	S_c	G_f	b_1	$S_{\text{д}}^2$	КА	Ном
Унітро, стандарт	G1	358,7–602,3	467,1	-243,6	278,2	481	0,87	7,7	89,8	162,6
Елегія	G2	428,6–740,5	576,2	-311,9	333,5	585	1,09	604,4	110,8	193,2
Приморка	G3	419,0–692,9	549,2	-273,9	332,1	556	0,95	528,4	105,6	199,9
М.г./П.п.	G4	430,9–799,8	592,8	-368,9	319,4	615	1,32	2,0	113,9	172,9
Сін(с)/Приморка	G5	456,7–828,6	630,7	-371,9	347,6	643	1,30	597,8	121,2	194,1
LR/Н	G6	419,6–717,2	553,5	-297,6	323,9	568	1,06	47,7	106,4	186,9
Приморка/Сін(с).	G7	383,9–736,2	532,9	-352,3	277,9	560	1,27	219,5	102,4	146,3
А. – Н. d. № 114	G8	418,2–768,1	562,9	-349,9	306,5	593	1,27	510,6	108,2	164,3
А.-Н.d. № 15	G9	445,5–840,5	639,0	-395,0	338,7	643	1,36	2200,1	122,8	187,6
А. – Н. d. № 38	G10	387,5–720,0	543,8	-332,5	292,7	554	1,16	557,6	104,5	161,4
Добір за к.с.	G11	372,0–762,9	564,8	-390,9	275,4	567	1,34	2456,0	108,6	148,1
Ram. d.	G12	347,0–630,9	472,9	-283,9	260,1	489	1,01	4,8	90,9	143,0
(Емерауде/Т.) ²	G13	395,8–614,3	487,5	-218,5	314,1	505	0,79	117,6	93,7	197,4
Т./Емерауде	G14	417,5–595,2	488,3	-177,7	342,5	506	0,65	316,9	93,9	243,6
М.г./ЦП-11	G15	472,1–733,3	596,3	-261,2	383,9	603	0,91	480,9	114,6	247,0
Зимостійка/М.К.	G16	392,9–666,6	511,9	-273,7	301,7	530	0,98	13,5	98,4	173,8
М.agr./С.	G17	403,6–590,5	464,4	-186,9	317,4	497	0,72	2669,6	89,3	209,4
А.r. d.	G18	345,6–495,2	396,8	-149,6	276,9	420	0,57	1245,7	76,3	191,0
М.г./М.agr.	G19	345,6–678,5	489,0	-332,9	249,1	512	1,20	60,1	94,0	130,3
М.г. d.	G20	392,9–583,3	457,0	-190,4	307,8	488	0,73	2251,4	87,8	199,0
ФХНВ ²	G21	298,0–583,3	417,6	-285,3	213,3	441	1,03	212,1	80,3	110,9
В.11/П. d.	G22	431,3–690,4	544,5	-259,1	340,2	561	0,93	4,3	104,7	207,7
Ж./ЦП-11	G23	391,4–619,0	494,9	-227,6	312,9	505	0,80	60,3	95,1	195,3
Сибір. 8, d.	G24	370,6–559,5	452,2	-188,9	299,6	465	0,68	13,9	86,9	196,5
V, %			12,3	-25,8	12,0	11,2	24,15	136,1	12,3	17,8
$S\bar{x}_{\text{abc}}$			13,0	14,8	7,5	12,3	0,05	175,7	2,5	6,6
$S\bar{x}_{\text{віднос}}$			2,5	-5,3	2,5	2,3	4,93	27,8	2,5	3,6
$НIP_{01}$			41,4	46,8	23,8	38,9	0,16	556,9	8,0	20,9
$НIP_{05}$			29,9	33,8	17,2	28,1	0,11	402,3	5,7	15,1

умов (b_1 прагне до нуля) виявилися генотипи Т./Емерауде — 0,65 та А.г. d. — 0,57. Серед 24 досліджуваних генотипів у жодного з них коефіцієнт регресії не дорівнював 1, але близькими значеннями до 1 характеризувалися Ram. d. — 1,01, Зимостійка/М.К. — 0,98 та ФХНВ² — 1,03. Їх можна характеризувати як популяції, добре адаптовані до різноманітних умов середовища.

При аналізі селекційних зразків за коефіцієнтом стабільності S_{di}^2 було виділено найбільш стабільні популяції: М.г./П.п. — 2,0,

В.11/П. d. — 4,3 та Ram. d. — 4,8.

Серед генотипів спостерігалися відмінності за гомеостатичністю, зміна цього показника була в межах 110,9–243,6. Високими значеннями гомеостатичності, тобто стійкими до дії несприятливих чинників середовища за вирощування популяцій люцерни на насіння, відзначалися популяції М.г./ЦП-11 та Т./Емерауде зі значеннями $Hom = 247,0$ і $243,6$ відповідно.

Параметри адаптивної здатності популяцій за насінневою продуктивністю також

2. Параметри адаптивних властивостей зразків люцерни першого та другого років життя за ознакою «врожайність насіння» (2017 – 2020 рр.)

Сорт, популяція	Позначення	Урожайність насіння, кг/га		Параметри адаптивності						
		Ymin – Ymax	Ymean	ЗАЗі	$\sigma^2_{(G \cdot E)_{ij}}$	$\sigma^2_{САЗі}$	s_{ij}	СЦГі	K_{ij}	I_{ij}
Унітро, стандарт	G1	358,7 – 602,3	467,1	-53,1	210	15206	26,4	242,5	0,75	0,014
Елегія	G2	428,6 – 740,5	576,2	56,0	303	24365	27,1	291,8	1,20	0,012
Приморка	G3	419,0 – 692,9	549,2	29,0	149	18727	24,9	299,9	0,92	0,008
М.г./П.п.	G4	430,9 – 799,8	592,8	72,5	1914	35387	31,7	250,0	1,74	0,054
Сін(с)/Приморка	G5	456,7 – 828,6	630,7	110,4	2012	34843	29,6	290,6	1,72	0,058
LR/Н	G6	419,6 – 717,2	553,5	33,3	22	22639	27,2	279,4	1,12	0,003
Приморка/Сін(с).	G7	383,9 – 736,2	532,9	12,6	1472	33081	34,1	201,5	1,63	0,045
А.-Н. d. № 114	G8	418,2 – 768,1	562,9	42,6	1610	33194	32,4	230,9	1,64	0,049
А.-Н. d. № 15	G9	445,5 – 840,5	639,0	118,8	3623	38889	30,9	279,7	1,92	0,093
А.-Н. d. № 38	G10	387,5 – 720,0	543,8	23,5	662	27773	30,7	240,1	1,37	0,024
Добір за к.с.	G11	372,0 – 762,9	564,8	44,6	3500	38057	34,5	209,4	1,88	0,092
Ram. d.	G12	347,0 – 630,9	472,9	-47,3	73	20754	30,5	210,4	1,02	0,007
(Емерауде/Т.) ²	G13	395,8 – 614,3	487,5	-32,8	795	12695	23,1	282,2	0,63	0,063
Т./Емерауде	G14	417,5 – 595,2	488,3	-31,9	2472	8703	19,1	318,4	0,43	0,284
М.г./ЦП-11	G15	472,1 – 733,3	596,3	76,0	248	17015	21,9	358,6	0,84	0,015
Зимостійка/М.К.	G16	392,9 – 666,6	511,9	-8,4	64	19519	27,3	257,3	0,96	0,007
М.agr./С.	G17	403,6 – 590,5	464,4	-55,9	2782	11772	23,4	266,7	0,58	0,236
А.г. d.	G18	345,6 – 495,2	396,8	-123,5	4248	7106	21,3	243,2	0,35	0,598
М.г./М.agr.	G19	345,6 – 678,5	489,0	-31,3	659	29139	34,9	177,9	1,44	0,023
М.г. d.	G20	392,9 – 583,3	457,0	-63,3	2481	11806	23,8	259,0	0,58	0,210
ФХНВ ²	G21	298,0 – 583,3	417,6	-102,7	3	21782	35,3	148,7	1,07	0,001
В.11/П. d.	G22	431,3 – 690,4	544,5	24,3	7	17417	24,2	304,1	0,86	0,003
Ж./ЦП-11	G23	391,4 – 619,0	494,9	-25,4	655	13106	23,1	286,3	0,65	0,050
Сибір. 8. d.	G24	370,6 – 559,5	452,2	-68,0	1970	9249	21,3	277,0	0,46	0,213
V, %			12,3	-	102,5	45,7	17,9	18,1	45,7	155,49
Sx_{abc}			13,0	13,0	272,9	2028,0	1,0	9,6	0,1	0,03
$Sx_{віднос}$			2,5	-	20,9	9,3	3,7	3,7	9,3	31,74
НІР ₀₁			41,4	41,4	865,1	6428,6	3,2	30,3	0,3	0,09
НІР ₀₅			29,9	29,9	625,0	4644,0	2,3	21,9	0,2	0,06

визначали за 2 роки. Найбільшими ефектами загальної адаптивної здатності (ЗАЗі) відзначалися популяції: Сін(с)/Приморка з показником 110,4 та А.-Н.д. № 15 — 118,8, найменший показник мала популяція А.г. д. (–123,5) (табл. 2).

Стабільність реакції генотипу за продуктивністю визначається величиною параметра варіанси специфічної адаптивної здатності (σ^2_{CA3i}), і чим вона менша, тим популяція стабільніша. Установлено найбільш стабільні генотипи: Т./Емерауде (σ^2_{CA3i} — 8703), Сибір. 8, д. (σ^2_{CA3i} — 9249) та А.г. д. (σ^2_{CA3i} — 7106), проте в усіх цих популяцій ефект загальної адаптивної здатності (ЗАЗі) є негативним, у популяції А.г. д. він був найнижчим. Популяції А.-Н.д. № 15 (σ^2_{CA3i} — 38889) та Добір за к.с. (σ^2_{CA3i} — 38057) характеризувалися за показником варіанси специфічної адаптивної здатності як нестабільні.

Відносна стабільність генотипу (s_{gi}) характеризує стабільність популяцій, і чим нижчий цей показник, тим стабільнішою є популяція. Найменше значення мала популяція Т./Емерауде — 19,1. Найбільш нестабільними, тобто з високими значеннями відносної стабільності, були популяції Приморка/Сін(с). — 34,1, Добір за к.с. — 34,5, М.г./М.агр. — 34,9 і ФХНВ² — 35,3.

Високою селекційною цінністю вирізнявся генотип М.г./ЦП-11 — 358,6, а популяції М.г./М.агр. — 177,9 і ФХНВ² — 148,7 мали найнижчі значення цього показника.

Також було проаналізовано кореляційні залежності між урожайністю насіння за різних умов вирощування та параметрами адаптивних ознак для виділення найбільш придатних ідентифікаторів адаптивності, що дають змогу виокремлювати цінні селекційні зразки.

Кореляційна залежність між урожайністю насіння за кращих і гірших умов становила 0,631. Насіннєва продуктивність популяцій люцерни за обох умов вирощування мала високу кореляцію ($r = 0,804-0,966$) із показником генетичної гнучкості, коефіцієнтом адаптивності та загальною адаптивною здатністю. За гірших умов урожайність насіння мала високу позитивну залежність із селекційною цінністю ($r = 0,954$), геоостатичністю ($r = 0,710$) та селекційною

цінністю генотипу ($r = 0,809$), тоді як за кращих умов зв'язки були слабшими і становили 0,392; –0,072 і 0,120 відповідно (табл. 3).

Коефіцієнт регресії, варіанса специфічної адаптивної здатності та коефіцієнт компенсації–дестабілізації характеризувалися високою кореляцією з урожайністю насіння за кращих умов $r = 0,884-0,889$, тоді як за гірших умов зв'язки були слабшими і становили $r = 0,213-0,219$. Показник відносної стабільності генотипу (s_{gi}) мав середню залежність ($r = 0,542$) з урожайністю за кращих умов, за гірших умов — низьку від'ємну залежність ($r = -0,285$). Більшими значеннями цих показників відзначаються популяції з високою врожайністю насіння за кращих умов вирощування, тобто популяції інтенсивного типу, меншими значеннями — стабільні популяції, найбільш адаптовані до стресових умов.

Популяції Сін(с)/Приморка, А.-Н. д. № 15 та Добір за к.с. характеризувалися найбільшим підвищенням врожайності за поліпшених умов вирощування, високими показниками генетичної гнучкості, коефіцієнтами адаптивності та загальною адаптивною здатністю. Проте ці показники з огляду на їхні високі кореляційні зв'язки з урожайністю за гірших і кращих умов вирощування не можуть повною мірою характеризувати тип популяції. Однак ці популяції мали найбільші значення коефіцієнта регресії ($b_1 = 1,30-1,36$), варіанси специфічної адаптивної здатності, відносної стабільності генотипу, а також дестабілізувальний ефект, що властиво популяціям інтенсивного типу.

За показниками селекційної цінності, геоостатичності та селекційною цінністю генотипу найстабільнішою виявилася популяція М.г./ЦП-11. Ці показники з урахуванням їхніх високих кореляційних зв'язків з урожайністю за гірших і низьких — за кращих умов вирощування можуть свідчити про стабільність популяції. Ця популяція також характеризувалася найвищою врожайністю насіння за гірших умов, значенням коефіцієнта регресії менше 1 ($b_1 = 0,91$), низьким значенням відносної стабільності генотипу та мала стабілізувальний ефект. Тобто її можна охарактеризувати як стабільну.

3. Матриця кореляційних зв'язків між максимальною і мінімальною врожайністю популяцій люцерни за 2 роки та гомеостатичністю, екологічною пластичністю і параметрами адаптивності (2017 – 2020 рр.)

	Y _{min}	Y _{max}	Y _{mean}	Y _{min} — Y _{max}	Sc	Gf	b _i	S _d ²	KA	Hom	3A3i	σ ² _{(G·E)ij}	σ ² _{CA3i}	s _{ij}	СЦП	K _{ij}	I _{ij}
Y _{min}	1,000	0,631	0,804	-0,232	0,954	0,811	0,213	0,099	0,804	0,710	0,804	0,046	0,218	-0,285	0,809	0,219	-0,179
Y _{max}	0,631	1,000	0,959	-0,901	0,392	0,966	0,889	0,052	0,959	-0,072	0,959	-0,020	0,884	0,542	0,120	0,884	-0,554
Y _{mean}	0,804	0,959	1,000	-0,753	0,624	0,992	0,727	0,060	1,000	0,197	1,000	-0,020	0,723	0,287	0,394	0,723	-0,492
Y _{min} — Y _{max}	-0,232	-0,901	-0,753	1,000	0,042	-0,757	-0,996	-0,010	-0,753	0,487	-0,753	0,051	-0,986	-0,838	0,302	-0,986	0,595
Sc	0,954	0,392	0,624	0,042	1,000	0,616	-0,071	0,088	0,625	0,880	0,625	0,050	-0,063	-0,549	0,945	-0,062	-0,027
Gf	0,811	0,966	0,992	-0,757	0,616	1,000	0,742	0,071	0,992	0,184	0,992	-0,002	0,739	0,313	0,362	0,739	-0,480
b _i	0,213	0,889	0,727	-0,996	-0,071	0,742	1,000	0,013	0,727	-0,514	0,727	-0,042	0,991	0,862	-0,343	0,990	-0,582
S _d ²	0,099	0,052	0,060	-0,010	0,088	0,071	0,013	1,000	0,060	0,134	0,060	0,724	0,112	-0,003	-0,002	0,113	0,415
KA	0,804	0,959	1,000	-0,753	0,625	0,992	0,727	0,060	1,000	0,197	1,000	-0,020	0,722	0,287	0,394	0,723	-0,492
Hom	0,710	-0,072	0,197	0,487	0,880	0,184	-0,514	0,134	0,197	1,000	0,197	0,165	-0,489	-0,856	0,949	-0,487	0,320
3A3i	0,804	0,959	1,000	-0,753	0,625	0,992	0,727	0,060	1,000	0,197	1,000	-0,020	0,722	0,287	0,394	0,723	-0,492
σ ² _{(G·E)ij}	0,046	-0,020	-0,020	0,051	0,050	-0,002	-0,042	0,724	-0,020	0,165	-0,020	1,000	0,095	-0,087	-0,019	0,096	0,761
σ ² _{CA3i}	0,218	0,884	0,723	-0,986	-0,063	0,739	0,991	0,112	0,722	-0,489	0,722	0,095	1,000	0,847	-0,343	1,000	-0,477
s _{ij}	-0,285	0,542	0,287	-0,838	-0,549	0,313	0,862	-0,003	0,287	-0,856	0,287	-0,087	0,847	1,000	-0,761	0,846	-0,493
СЦП	0,809	0,120	0,394	0,302	0,945	0,362	-0,343	-0,002	0,394	0,949	0,394	-0,019	-0,343	-0,761	1,000	-0,342	0,075
K _{ij}	0,219	0,884	0,723	-0,986	-0,062	0,739	0,990	0,113	0,723	-0,487	0,723	0,096	1,000	0,846	-0,342	1,000	-0,476
I _{ij}	-0,179	-0,554	-0,492	0,595	-0,027	-0,480	-0,582	0,415	-0,492	0,320	-0,492	0,761	-0,477	-0,493	0,075	-0,476	1,000

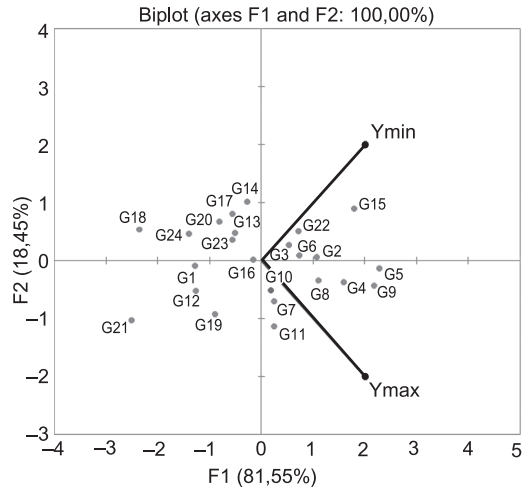
Примітка: Confidence interval (%): 95.

Популяція А.г. d. мала найменше зниження врожайності (-149,6), коефіцієнт регресії (0,57), варіансу специфічної адаптивної здатності (7106), відносну стабільність генотипу (21,3) та коефіцієнт компенсації–дестабілізації (0,35). Цю популяцію також можна вважати стабільною, проте за рівнем урожайності вона поступалася компенсації — стандартному сорту.

За результатами GGE біплот-аналізу відзначено найбільш стабільну (слабкіше за інші реагує на посуху) популяцію G15 — М.г./ЦП-11, розміщену в одній чверті з вектором урожайності за гірших умов (Ymin) і максимально наближену до його вершини. Популяція G18 — А.г. d., розміщена в IV чверті й найвіддаленіша від центру, характеризувалася найменшим зниженням урожайності насіння, проте мала і найнижчу насіннєву продуктивність (рисунок).

Генотипи G5 — Сін(с)/Приморка та G9 — А.-Н.д. № 15, розташовані між векторами з кращими та гіршими умовами, добре реагували на поліпшення умов зволоження, але водночас мали високу врожайність насіння за гірших умов, тобто їх можна вважати пластичними.

Популяція G11 — Добір за к.с., що перебуває в одній чверті з вектором урожайності за кращих умов і наближена до його вершини,



Генотип-середовищна взаємодія сортів люцерни і середовищ (метод біплот-аналізу): лініями показано власні вектори провідних факторних навантажень для середовищ: ● — тах і тін урожайність; • — генотип

добре реагувала на достатнє зволоження, проте різко знижувала врожайність за посухи. Популяція G21 — ФХНВ², розміщена в III чверті й найбільше віддалена від центру, характеризувалася найменшою врожайністю насіння за гірших умов, добре реагувала на поліпшення умов вирощування, проте мала невисоку насіннєву продуктивність за кращих умов.

Висновки

Для виділення стабільних популяцій слід відбирати їх за найвищими показниками гомеостатичності (Нот), селекційної цінності (Sc), селекційної цінності генотипу (СЦГі) і найнижчими показниками коефіцієнта регресії (b), варіанси специфічної адаптивної здатності (σ^2_{CA3}), відносної стабільності генотипу (s_{gr}), компенсації–дестабілізації (K_{gr}) у поєднанні з біплот-аналізом.

Для виокремлення інтенсивних популяцій потрібно здійснювати їх відбір за найвищими показниками коефіцієнта регресії (b), варіанси специфічної адаптивної здатності (σ^2_{CA3}), відносної стабільності

генотипу (s_{gr}), компенсації–дестабілізації (K_{gr}), та високими значеннями генетичної гнучкості й загальної адаптивної здатності в поєднанні з біплот-аналізом.

За підсумками аналізу можна виділити найперспективніші популяції та розподілити їх за групами: популяції Сін(с)/Приморка та А.-Н.д. № 15 є пластичними, що формують високу врожайність насіння за обох умов; популяція М.г./ЦП-11 — стабільна, що відзначається найбільшою насіннєвою продуктивністю за гірших умов; популяцію Добір за к.с. можна вважати інтенсивною, що добре реагує на поліпшення умов вирощування.

Vozhegova R.¹, Tyshchenko A.², Tyshchenko O.³,
Piliarska O.⁴, Fundirat K.⁵, Konovalova V.⁶

Institute of Climate-Oriented Agriculture of NAAS, 24 Mayatska doroha Str., vil. Khlibodarske, Biliayiv district, Odesa oblast, 67667, Ukraine, Askaniyska State Agricultural Research Station of the Institute of Climate-Oriented Agriculture of NAAS, vil. Tavrychanka, Kakhovskiy district, Kherson oblast, 74862, Ukraine, e-mail: ¹icsanaas@ukr.net, ²tischenko_andriy@ukr.net, ³elenat1946@ukr.net, ⁴izz.biblio@ukr.net, ⁵kfundirat@gmail.com, ⁶vera_konovalova_1990@ukr.net; ORCID: ¹0000-0002-3895-5633, ²0000-0003-1918-6223, ³0000-0002-8095-9195, ⁴0000-0001-8649-0618, ⁵0000-0001-8343-2535, ⁶0000-0002-0655-9214

Formation of resistance of seed alfalfa plants in conditions of different environmental gradients

Goal. To study adaptive traits in the selection of populations of alfalfa for seed use in 2 years of life and to select promising material for further use in the selection process. **Methods.** Field, mathematical calculation, statistical and biplot-analysis methods. The objects of study were 24 alfalfa populations for seed use. Analysis of resistance of alfalfa genotypes to stress was carried out using various adaptability parameters. **Results.** For the cultivation of alfalfa for seeds in 2 years of

life, the best conditions for sowing were in 2019, where the index of environmental conditions (Ij) was +156.79, and the worst — was in 2017 with the index of environmental conditions — 123.38. The population M.g./CP11 was characterized by the highest seed productivity under the worst conditions — 472.1 kg/ha, and under the best conditions — the population A.N. d. No. 15 — 840.5 kg/ha. Populations Sin(s)/Primorka, A.N. d.No. 15 and Dobir by root system according to adaptability parameters were selected as intensive type populations. Instead, the M.g./CP11 population turned out to be the most stable in terms of adaptability. Correlations between seed yield under different growing conditions and parameters of adaptive traits were analyzed, and the most suitable identifiers of adaptability were selected. According to the results of GGE biplot-analysis, the most stable population M.g./CP11, Sin(s)/Primorka, and A.N.d. No. 15 were selected as plastic, and Dobir according to k.s. could be considered as an intensive type population. **Conclusions.** The most suitable adaptability parameters for the selection of seed alfalfa populations were selected, and the most promising populations were selected and divided into groups.

Key words: genotype, population, seed productivity, parameters of adaptive traits, correlation, biplot-analysis.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303-08>

Бібліографія

1. Latrach L., Farissi M., Mouradi M. et al. Growth and nodulation of alfalfa-rhizobia symbiosis under salinity: electrolyte leakage, stomata conductance, and chlorophyll fluorescence. *Turkish J. of Agriculture and Forestry*. 2014. V. 38. P. 320–326. doi: 10.3906/tar-1305-52

2. Тищенко А.В. Сорти люцерни — насіннєва продуктивність та способи її підвищення. *Насінництво*. 2015. № 2. С. 7–9.

3. Abdelguerfi A., Abdelguerfi-Laouar M. Forage and pasture species: The uses in Maghreb (Algeria, Morocco, and Tunisia). FAO, Rome, Italy. 2002.

4. Tyshchenko O., Tyshchenko A., Piliarska O. et al. Seed productivity of alfalfa varieties depending on the conditions of humidification and growth regulators in the Southern Steppe of Ukraine. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2020. V. 20. Iss. 4. P. 551–562.

5. Harrison M.T., Tardieu F., Dong Z. et al. Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. *Glob. Change Biol*. 2014. V. 20. Iss. 3. P. 867–878. doi:10.1111/gcb.12381

6. Vasconcelos E. S., Barioni W.J., Cruz C.D. et al. Alfalfa genotype selection for adaptability and

stability of dry matter production. *Acta Sci. Agron*. 2008. V. 30. P. 339–343. doi: 10.4025/actasciagron.v30i3.3511

7. Wang Z., Ke Q., Kim M.D. et al. Transgenic Alfalfa Plants Expressing the Sweetpotato Orange Gene Exhibit Enhanced Abiotic Stress Tolerance. *PLoS ONE*. 2015. V. 10. Iss. 5. e0126050. doi: 10.1371/journal.pone.0126050

8. Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Люта Ю.О., Пілярська О.О. Адаптивна здатність — важлива ознака в селекції рослин. *Зрошуване землеробство*. 2021. № 75. С. 101–109. doi: 10.32848/0135-2369.2021.75.19

9. Tyshchenko O., Tyshchenko A., Piliarska O. et al. Evaluation of drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa*) genotypes in the conditions of osmotic stress. *AgroLife Scientific J*. 2020. V. 9, № 2. P. 353–358.

10. Vozhegova R., Tyshchenko A., Tyshchenko O. et al. Evaluation of breeding indices for drought tolerance in alfalfa (*Medicago*) genotypes. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2021. V. LXIV, № 2. P. 435–444.

11. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д. та ін. Особливості прояву адаптивних ознак у селекційних популяції люцерни при вирощуванні

на насіння. *Вісник СумНАУ*. 2021. Вип. 2 (44). С. 3–11. doi: 10.32845/agrobio.2021.2.1

12. *Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д.* та ін. Оцінювання посухостійкості селекційного матеріалу люцерни за показниками водного режиму в умовах Півдня України. *Plant Varieties Studying and protection*. 2021. V. 17, № 1. С. 21–29. doi: 10.21498/2518-1017.17.1.2021.228204

13. *Зайцева І.О.* Аналіз феноритмики та адаптивних властивостей кленів в умовах інтродукції у Степовому Придніпров'ї. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2015. № 2. С. 6–12.

14. *Жученко А.А.* Адаптивний потенціал культурних рослин. Кишинев: Штиинца, 1988. 767 с.

15. *Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д.* та ін. Особливості прояву адаптивних ознак у популяції люцерни за кормового використання. *Аграрні інновації*. 2022. № 14. С. 135–144. doi: 10.32848/agrar.innov.2022.14.20

16. *Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д.* та ін. Визначення посухостійкості популяції люцерни насіннєвого використання за математичними індексами. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 1 (838). С. 40–48. doi: 10.31073/agroviznyk202301-05

17. *Базалій В.В.* Принципи адаптивної селекції озимої пшениці в зоні Південного Степу. Херсон: Айлант, 2004. 243 с.

18. *Lavrynenko Yu.O.* Breeding heritage and its role in stabilizing production of corn grain in Ukraine. *Natural sciences and modern technological solutions: knowledge integration in the XXI century: collective monograph*. Lviv-Torun: Liha-Pres, 2019. P. 103–119. doi: 10.36059/978-966-397-154-4/103-119

19. *Popov S.I., Leonov O.Yu., Popova K.M., Avramenko S.V.* Ecological plasticity of winter wheat varieties depending on root nitrogen nutrition in the eastern Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. № 15(3). P. 296–302. doi: 10.21498/2518-1017.15.3.2019.181087

20. *Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д.* та ін. Оцінка посухостійкості популяції люцерни кормового використання в рік сівби за математичними індексами. *Аграрні інновації*. 2022. № 13. С. 190–198. doi: 10.32848/agrar.innov.2022.13.28

21. *Орлюк А.П., Гончарова К.В.* Адаптивний і продуктивний потенціали пшениці. Херсон: Айлант, 2002. 275 с.

22. *Литун П.П.* Взаимодействие генотип-среда в генетических исследованиях и способы его изучения. Проблемы отбора и оценки селекционного материала. Киев: Наукова думка, 1980. С. 63–93.

23. *Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д.* та ін. Оцінка посухостійкості популяції люцерни за насіннєвого використання в рік сівби. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 89–96. doi: 10.32848/

agrar.innov.2022.15.14

24. *Giancarla V., Madosa E., Ciulca S. et al.* Assessment of drought tolerance in some barley genotypes cultivated in West part of Romania. *J. Hort. For. Biotechnol.* 2010. V. 14. Iss. 3. P. 114–118.

25. *Ashraf M.* Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotech. Adv.* 2010. V. 28. P. 169–183.

26. *Демидов О.А., Хоменко С.О., Чугунок Т.В., Федоренко І.В.* Урожайність та гомеостатичність колекційних зразків пшениці ярої. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 9. С. 47–51. doi: 20.31073/agroviznyk201909-07

27. *Кордюм Е.Л., Дубина Д.В.* Пластичність онтогенезу судинних рослин: молекулярні, клітинні, популяційні та ценотичні аспекти. *Вісник НАН України*. Київ. 2015. № 7. С. 32–36. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2015_7_7

28. *Vozhehova R., Tyshchenko A., Tyshchenko O. et al.* Economic feasibility of application of bacterial and fungal drugs on seed-used alfalfa. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2022. V. 22. Iss. 4. P. 827–834.

29. *Ayalneh T., Letta T., Abinasa M.* Assessment of stability, adaptability and yield performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in South Eastern Ethiopia. *J. Agric. & Environ. Sci.* 2013. V. 13. Iss. 7. P. 885–890. doi: 10.5829/idosi.aejae.2013.13.07.1950

30. *Мельник А.В., Романько Ю.О., Романько А.Ю.* Адаптивний потенціал і стресостійкість сучасних сортів сої. *Таверійський науковий вісник*. 2020. Т. 113. С. 85–91. doi: 10.32851/2226-0099.2020.113.12

31. *Eberhart S.A., Russell W.A.* Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sc.* 1966. V. 6, № 1. P. 36–40.

32. *Roselle A.A., Hamblin J.* Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 1981. V. 21. № 6. P. 943–946. doi: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x

33. *Хангильдин В. В., Литвиненко Н.А.* Гомеостатичність і адаптивність сортів озимої пшениці. *Науч.-техн. бюл. ВСГИ*. 1981. № 1/39. С. 8–14.

34. *Животков Л.А., Морозова З.А., Секатыева Л.И.* Методика выявления потенциальной продуктивности, адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность». *Селекция и семеноводство*. 1994. № 2. С. 3–32.

35. *Кильчевский А.В., Хотылева Л.В.* Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. *Сообщ. I. Обоснование метода. Генетика*. 1985. Т. XXI, № 9. С. 1481–1489.