



Генетика, селекція, біотехнологія

УДК 633.31:631.52:631.67

© 2023

ВИЗНАЧЕННЯ ПОСУХОСТІЙКОСТІ ПОПУЛЯЦІЙ ЛЮЦЕРНИ НАСІННЄВОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗА МАТЕМАТИЧНИМИ ІНДЕКСАМИ

*Р.А. Вожегова¹, 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*

email: 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 19.09.2022

Мета. Оцінити реакцію сортів і популяцій насіннєвої люцерни за різних середовищ та визначити кращі не лише за посухостійкістю, а й за продуктивністю в умовах стресу з подальшим використанням їх у селекційному процесі. **Методи.** Дослідження проводили в Інституті зрошуваного землеробства НААН (нині Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН) упродовж 2017 – 2020 рр. Об'єктом вивчення були 24 популяції люцерни насіннєвого використання. У досліджах використовували польовий, математико-розрахунковий та статистичний методи. Стійкість генотипів люцерни до стресу визначали за допомогою різних математичних індексів і біплот-аналізу. **Результати.** Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) у 2017, 2018 і 2020 рр. варіював у межах 0,51 – 0,55, що свідчить про дуже посушливі кліматичні умови, тоді як у 2019 р. він становив 0,88, що відповідає посушливим умовам. Високою врожайністю (>400 кг/га) у стресових умовах характеризувалися 11 популяцій. Кращими з цих популяцій, що сформували найбільшу насіннєву продуктивність у межах 445,5 – 472,1 кг/га, є А.-Н. d. № 15, Сін(с)./Приморка та М.г./ЦП-11. За найбільшою кількістю індексів (9) виділено популяції А.-Н. d. № 15 та Сін(с)./Приморка. Популяцію М.г./ЦП-11, яка мала найвищу врожайність при стресі, виділено за 4-ма індексами. Популяцію Т./Емерауде, що характеризувалася найменшою врожайністю і високою врожайністю за гірших умов, виділено

за 7-ма індексами. Проаналізовано кореляції між урожайністю насіння за різних умов вирощування та індексами посухостійкості. За результатами GGE біплот-аналізу виділено найбільш посухостійку популяцію M.g./ЦП-11, популяції Сін(с)/Приморка та А.-Н.д. № 15 формували високу врожайність насіння за обох умов, а популяція Добір за к.с. має низьку продуктивність за гірших умов, але при поліпшенні умов вирощування різко її підвищує. Висновки. Виділено й поділено за групами найбільш перспективні популяції люцерни за насіннєвою продуктивністю.

Ключові слова: сорт, популяція, насіннєва продуктивність, індекси посухостійкості, кореляція, біплот-аналіз.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202301-05>

Багаторічна кормова культура люцерна, яку вирощують у всьому світі, характеризується високою продуктивністю біомаси, поживною цінністю, сприяє підвищенню родючості ґрунту [1], захищає ґрунти від вітрової та водної ерозій [2, 3]. Завдяки фіксації атмосферного азоту вона є незамінним попередником для інших сільськогосподарських культур.

Люцерна росте в широкому діапазоні кліматичних умов — від екватора і майже до арктичних полярних кіл [4]. Проте 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, 6], що вже спостерігається в умовах Півдня України. Посуха — найпоширеніша екологічна проблема, оскільки обмежує можливість сільськогосподарських рослин, знижуючи їх продуктивність [7]. Згубні наслідки посухи є обмеженням і для вирощування люцерни [8]. Завдяки потужній і розгалуженій кореневій системі вона має високу посухостійкість і широку адаптивність до посушливих умов [9]. Проте, як і будь-яка інша культура, вона негативно реагує на посуху і, щоб адаптуватися в стресових умовах, у ній відбуваються морфологічні, фізіологічні, біохімічні або молекулярні зміни, що слід враховувати при створенні посухостійких сортів із підвищеними врожайністю та якістю продукції.

За настання посушливого періоду рослини люцерни (*Medicago*) скорочують надземну вегетативну масу [10], що обмежує індекс площі листя, внаслідок чого зменшується продуктивність біомаси. Тому для стабілізації і підвищення продуктивності люцерни

потрібно підвищити посухостійкість рослин люцерни. Дослідження цієї ознаки є важливим етапом у селекційних програмах [11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Величина втрати вологи від евапотранспірації неухильно зростає, і ця тенденція в майбутньому буде лише погіршуватися [12, 13], тому зниження врожайності є головною проблемою і водночас підставою для селекціонерів щодо посилення робіт з адаптації сільськогосподарських культур до зміни клімату і підвищення їх продуктивності в стресових умовах [14]. Чутливість рослин до посухи визначається як функція зниження врожайності при водному стресі [12] порівняно з потенційною врожайністю. Тому для диференціації генотипів із посухостійкості використовують різні математичні індекси, які ґрунтуються на продуктивності рослин в оптимальних і стресових умовах [15] для відбору посухостійких генотипів [16, 17].

Автори [18] запропонували використовувати індекс толерантності (TOL) як різницю між урожайністю при зрошенні і врожайністю в умовах природного зволоження та середню врожайність (MP) як середнє арифметичне значення врожайності в стресових і оптимальних умовах. Автор [19] визначив індекс посухостійкості (DI), який був загальноприйнятим для генотипів, що забезпечують високу врожайність у стресових і оптимальних умовах. Дослідники [15] рекомендують застосовувати індекс сприйнятливості до стресу (SSI) для визначення стабільності продуктивності рослин, який фіксує значення врожайності в оптимальних і стресових умовах. Автори [20, 21] радять вживати індекс толерантності до стресу

(STI) і рекомендують використовувати його в селекційних програмах для скринінгу високоврожайних генотипів в умовах стресу і його відсутності. Для визначення сприйнятливості сортів до стресу через різну інтенсивність посухи в різні роки автори [20, 22] запропонували використовувати середньгеометричну продуктивність (GMP) сортів в обох середовищах, автори [23–25] рекомендують використовувати індекси врожайності (YI), стабільності врожайності (YSI) та зниження врожайності (YRI).

З метою підвищення ефективності індексу STI дослідники [26] запропонували модифіковані індекси стійкості до стресу (M_1STI , M_2STI), які коригують STI. Для скринінгу посухостійких генотипів у різних умовах середовища автори [27] представили відсотковий індекс схильності до стресу (SSPI).

Автори [28, 29] запропонували індекс стійкості до стресу ISR, який, на їх думку, характеризує генотипи за стійкістю до стресу не лише за меншою різницею врожайності в оптимальних і лімітувальних умовах, а й враховує високу продуктивність при стресі [30].

На підставі аналізу літературного матеріалу відзначено 16 індексів щодо визначення посухостійкості генотипів, які нами застосовано в дослідженнях.

Мета досліджень — оцінити реакції сортів і популяцій насінневої люцерни за різних середовищ і визначити кращі не лише за посухостійкістю, а й за продуктивністю в умовах стресу з подальшим використанням їх у селекційному процесі.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили в Інституті зрошувального землеробства НААН (м. Херсон, сел. Наддніпрянське, 46°44'50.1"N 32°42'30.0"E), розташованому на Інгулецькому зрошуваному масиві, в 2017–2020 рр. у польових умовах. Об'єктом вивчення були сорти та популяції люцерни насінневого використання. Продуктивність і посухостійкість визначали із застосуванням різних індексів, розроблених різними авторами: індекс середньої врожайності MP, індекс толерантності до посухи TOL [18], індекс чутливості до посухи SSI, індекс відносної посухостійкості RDI [15], індекс стабільності врожаю YSI [24], індекс урожайності YI [23], індекс толерантності до стресу STI [20], середня

геометрична врожайність GMP [20, 22], індекс посухостійкості DI [19, 31], індекс схильності до стресу SSPI [27], модифіковані індекси толерантності до стресу M_1STI , M_2STI , MSTI [26], гармонійна продуктивність HMP [32] та індекс стійкості до стресу ISR [26, 28, 29].

Проведено кореляційний аналіз між індексами врожайності насіння і посухостійкості для визначення найкращих посухостійких генотипів та індексів. Аналіз головних компонентів (PCA) здійснювали на основі спостережень. Кореляцію і PCA проводили за допомогою Microsoft® Excel 2013/XLSTAT® -Pro (версія 2015.6.01.23953, 2015, Addinsoft, Inc., Бруклін, Нью-Йорк, США). Статистичну обробку експериментальних даних виконували AgroSTAT, Statistica (v. 13).

Результати досліджень. Погодні умови за роки досліджень різнилися за температурним режимом і кількістю та характером опадів, що дало можливість проаналізувати сорти і популяції люцерни на стійкість до стресових (посушливих) умов. Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) у 2017, 2018 і 2020 рр. варіював у межах 0,51–0,55, що свідчить про дуже посушливі кліматичні умови, тоді як у 2019 р. він становив 0,88, що відповідає посушливим умовам. Найвищий урожай насіння за 2 роки було отримано на травостойі за сівби 2019 р., найнижчий — за сівби 2017 р.

Аналізуючи популяції люцерни за врожайністю насіння за 2 роки, для зручності вони були поділені на 3 групи. За кращих умов (Y_p), популяції з урожайністю понад 700 кг/га належали до групи з високою врожайністю, 600–700 — середньою, нижче 600 кг/га — з низькою врожайністю; у стресових умовах (Y_s) з урожайністю понад 400 кг/га — до групи з високою, 300–400 — середньою, нижче 300 кг/га — належали до групи з низькою врожайністю (табл. 1).

За отриманими експериментальними даними, до першої групи (>400 кг/га) за врожайністю в стресових умовах належать 11 популяцій. Кращими з них, що сформували насінневу продуктивність у межах 445,5–472,1 кг/га, є: А.-Н. d. № 15, Сін(с)./Приморка та М.г./ЦП-11. За значенням індексу середньої врожайності (MP) можна говорити про високу потенційну врожайність

1. Урожайність насіння популяцій люцерни першого і другого років в умовах природного зволоження та показники індексів посухостійкості (2017–2020 рр.)

Назва	Позначення	Yp	Ys	MP	SSI	TOL	YSI	YI	STI	GMP	RDI	DI	SSPI	M ₁ STI	M ₂ STI	MSTI	ATI	HMP	ISR
Унітро, стандарт	G1	602,3	358,7	480,5	0,98	243,6	0,60	90,4	0,47	465	1,02	0,54	18,0	0,37	0,39	0,14	66372	450	2193
Елея	G2	740,5	428,6	584,6	1,02	311,9	0,58	108,0	0,69	563	0,99	0,63	23,0	0,83	0,81	0,67	103000	543	2416
Приморка	G3	692,9	419,0	556,0	0,96	273,9	0,60	105,6	0,63	539	1,03	0,64	20,2	0,66	0,71	0,47	86510	522	2681
M.g. / П.п.	G4	799,8	430,9	615,4	1,11	368,9	0,54	108,6	0,75	587	0,92	0,58	27,2	1,05	0,89	0,93	126947	560	2025
Сін(с). / Приморка	G5	828,6	456,7	642,7	1,08	371,9	0,55	115,1	0,83	615	0,94	0,63	27,5	1,24	1,09	1,35	134106	589	2267
LR / H	G6	717,2	419,6	568,4	1,00	297,6	0,59	105,7	0,66	549	1,00	0,62	22,0	0,74	0,73	0,54	95698	529	2437
Приморка / Сін(с).	G7	736,2	383,9	560,1	1,16	352,3	0,52	96,7	0,62	532	0,89	0,50	26,0	0,73	0,58	0,42	109788	505	1676
A.-H. d. № 114	G8	768,1	418,2	593,2	1,10	349,9	0,54	105,4	0,70	567	0,93	0,57	25,8	0,90	0,78	0,70	116246	542	2015
A.-H. d. № 15	G9	840,5	445,5	643,0	1,14	395,0	0,53	112,3	0,82	612	0,90	0,59	29,2	1,26	1,03	1,30	141685	582	2017
A.-H. d. № 38	G10	720,0	387,5	553,8	1,12	332,5	0,54	97,6	0,61	528	0,92	0,53	24,6	0,69	0,58	0,40	102950	504	1817
Добір за к.с.	G11	762,9	372,0	567,5	1,24	390,9	0,49	93,7	0,62	533	0,83	0,46	28,9	0,79	0,54	0,43	122069	500	1417
Ram. d.	G12	630,9	347,0	489,0	1,09	283,9	0,55	87,4	0,48	468	0,94	0,48	21,0	0,41	0,37	0,15	77865	448	1714
(Емерауде / Т.) ²	G13	614,3	395,8	505,1	0,86	218,5	0,64	99,7	0,53	493	1,10	0,64	16,1	0,44	0,53	0,23	63156	481	3128
Т. / Емерауде	G14	595,2	417,5	506,4	0,72	177,7	0,70	105,2	0,54	498	1,20	0,74	13,1	0,42	0,60	0,25	51926	491	4684
M.g. / ЦП-11	G15	733,3	472,1	602,7	0,86	261,2	0,64	119,0	0,76	588	1,10	0,77	19,3	0,89	1,07	0,95	90088	574	3721
Зимостійка / М.К.	G16	666,6	392,9	529,8	0,99	273,7	0,59	99,0	0,57	512	1,01	0,58	20,2	0,55	0,56	0,31	82107	494	2331
M.agr. / С.	G17	590,5	403,6	497,1	0,76	186,9	0,68	101,7	0,52	488	1,17	0,70	13,8	0,40	0,54	0,21	53485	479	4029
A.r. d.	G18	495,2	345,6	420,4	0,73	149,6	0,70	87,1	0,37	414	1,19	0,61	11,1	0,20	0,28	0,06	36278	407	3787
M.g. / M.agr.	G19	678,5	345,6	512,1	1,19	332,9	0,51	87,1	0,51	484	0,87	0,44	24,6	0,51	0,39	0,20	94495	458	1436
M.g. d.	G20	583,3	392,9	488,1	0,79	190,4	0,67	99,0	0,50	479	1,15	0,67	14,1	0,37	0,49	0,18	53430	470	3688
ФХНВ ²	G21	583,3	298,0	440,7	1,18	285,3	0,51	75,1	0,38	417	0,87	0,38	21,1	0,28	0,21	0,06	69725	394	1246
B.11 / П. d.	G22	690,4	431,3	560,9	0,91	259,1	0,62	108,7	0,65	546	1,07	0,68	19,1	0,68	0,77	0,52	82878	531	3062
Ж. / ЦП-11	G23	619,0	391,4	505,2	0,89	227,6	0,63	98,6	0,53	492	1,08	0,62	16,8	0,44	0,51	0,23	65669	480	2895
Сибір. 8. d.	G24	559,5	370,6	465,1	0,82	188,9	0,66	93,4	0,45	455	1,13	0,62	14,0	0,31	0,39	0,12	50422	446	3251
Середньо-популяційна		677,0	396,9	537,0	0,99	280,2	0,59	100,0	0,59	518	1,01	0,59	20,7	0,63	0,62	0,45	86537	499	2581
Медіана		684,5	394,4	541,8	1,00	278,9	0,59	99,4	0,59	520	1,01	0,62	20,6	0,61	0,57	0,36	84694	497	2373
V, %		13,4	10,2	11,2	15,88	25,8	10,78	10,2	21,38	10,7	11,00	15,86	25,8	46,26	38,90	81,30	28982,3	10,4	35,7
S _{X²} _{вс}		18,5	8,2	12,3	0,03	14,8	0,01	2,1	0,03	11,3	0,02	0,02	1,1	0,06	0,05	0,07	5916,0	10,6	187,9
S _{X²} _{віднос}		2,7	2,1	2,3	3,24	5,3	2,20	2,1	4,36	2,2	2,25	3,24	5,3	9,44	7,94	16,59	6,8	2,1	7,3
HIP ₀₁		58,6	26,1	38,9	0,10	46,8	0,04	6,6	0,08	35,9	0,07	0,06	3,5	0,19	0,16	0,24	18753,7	33,5	595,8
HIP ₀₅		42,4	18,9	28,1	0,07	33,8	0,03	4,8	0,06	25,9	0,05	0,04	2,5	0,14	0,11	0,17	13545,6	24,2	430,4

2. Матриця кореляційних зв'язків між урожайністю насіння люцерни першого й другого років за кращих і гірших умов та індексами посухостійкості (2017 – 2020 рр.)

	Y_p	Y_s	MP	SSI	TOL	YSI	YI	STI	GMP	RDI	DI	SSPI	M_1STI	M_2STI	MSTI	ATI	HMP	ISR
Y_p	1,000	0,631	0,965	0,658	0,901	-0,658	0,631	0,930	0,929	-0,658	-0,056	0,901	0,970	0,816	0,880	0,977	0,875	-0,493
Y_s	0,631	1,000	0,811	-0,161	0,232	0,161	1,000	0,868	0,873	0,161	0,738	0,232	0,738	0,943	0,799	0,461	0,927	0,332
MP	0,965	0,811	1,000	0,442	0,757	-0,442	0,811	0,992	0,993	-0,442	0,206	0,757	0,979	0,932	0,931	0,891	0,971	-0,260
SSI	0,658	-0,161	0,442	1,000	0,915	-1,000	-0,161	0,341	0,337	-1,000	-0,782	0,915	0,505	0,129	0,333	0,784	0,218	-0,962
TOL	0,901	0,232	0,757	0,915	1,000	-0,915	0,232	0,680	0,676	-0,915	-0,482	1,000	0,803	0,497	0,656	0,967	0,579	-0,804
YSI	-0,658	0,161	-0,442	-1,000	-0,915	1,000	0,161	-0,341	-0,337	1,000	0,782	-0,915	-0,505	-0,129	-0,333	-0,784	-0,218	0,962
YI	0,631	1,000	0,811	-0,161	0,232	0,161	1,000	0,868	0,873	0,161	0,738	0,232	0,738	0,943	0,799	0,461	0,927	0,332
STI	0,930	0,868	0,992	0,341	0,680	-0,341	0,868	1,000	0,998	-0,341	0,310	0,680	0,971	0,969	0,953	0,838	0,989	-0,158
GMP	0,929	0,873	0,993	0,337	0,676	-0,337	0,873	0,998	1,000	-0,337	0,317	0,676	0,961	0,962	0,933	0,833	0,992	-0,154
RDI	-0,658	0,161	-0,442	-1,000	-0,915	1,000	0,161	-0,341	-0,337	1,000	0,782	-0,915	-0,505	-0,129	-0,333	-0,784	-0,218	0,962
DI	-0,056	0,738	0,206	-0,782	-0,482	0,782	0,738	0,310	0,317	0,782	1,000	-0,482	0,110	0,503	0,266	-0,253	0,432	0,869
SSPI	0,901	0,232	0,757	0,915	1,000	-0,915	0,232	0,680	0,676	-0,915	-0,482	1,000	0,803	0,497	0,656	0,967	0,579	-0,804
M_1STI	0,970	0,738	0,979	0,505	0,803	-0,505	0,738	0,971	0,961	-0,505	0,110	0,803	1,000	0,905	0,966	0,927	0,927	-0,331
M_2STI	0,816	0,943	0,932	0,129	0,497	-0,129	0,943	0,969	0,962	-0,129	0,503	0,497	0,905	1,000	0,947	0,692	0,981	0,054
MSTI	0,880	0,799	0,931	0,333	0,656	-0,333	0,799	0,953	0,933	-0,333	0,266	0,656	0,966	0,947	1,000	0,816	0,921	-0,161
ATI	0,977	0,461	0,891	0,784	0,967	-0,784	0,461	0,838	0,833	-0,784	-0,253	0,967	0,927	0,692	0,816	1,000	0,758	-0,641
HMP	0,875	0,927	0,971	0,218	0,579	-0,218	0,927	0,989	0,992	-0,218	0,432	0,579	0,927	0,981	0,921	0,758	1,000	-0,037
ISR	-0,493	0,332	-0,260	-0,962	-0,804	0,962	0,332	-0,158	-0,154	0,962	0,869	-0,804	-0,331	0,054	-0,161	-0,641	-0,037	1,000

цих популяцій незалежно від умов вирощування. Так, популяції Сін(с). / Приморка та А.-Н. d. №15 сформували врожайність насіння 445,5–456,7 кг/га у стресових умовах і мали високий індекс середньої врожайності ($MP = 642,7 - 643,0$) та найвищу врожайність (828,6–840,5 кг/га) за кращих умов. Генотип M.g./ЦП-11 характеризувався дещо нижчим індексом MP (602,7) і високою врожайністю насіння (733,3 кг/га) за кращих умов, але мав найвищу врожайність (472,1 кг/га) за гірших умов зволоження.

Популяції Т./Емературе, M.agr./С. та А.r.d. характеризувалися низькими показниками індексу чутливості до посухи (SSI) (0,72; 0,76 і 0,73 відповідно) і толерантності до посухи (TOL) (177,7; 186,9 і 149,6 відповідно), що свідчить про підвищену стійкість до посухи, тобто незначне зниження врожайності насіння порівняно з кращими умовами зволоження. Також ці селекційні зразки мали найбільші показники індексу стабільності врожаю (YSI) (0,70; 0,68 і 0,70 відповідно) та відносної посухостійкості (RDI) (1,20; 1,17 і 1,19 відповідно).

За індексом урожайності (YI) зі значеннями 115,1 і 112,3, толерантності до стресу (STI) — 0,83 й 0,82, середньої геометричної врожайності (GMP) — 615 і 612 та модифікованими індексами толерантності до стресу: M_1STI — 1,24 і 1,26, M_2STI — 1,09 і 1,03, MSTI — 1,35 і 1,30 було виділено популяції Сін(с)./Приморка і А.-Н. d. №15.

Найменшим значенням індексу схильності до стресу

(SSPI) 11,1 характеризувалася популяція А.г. d. Її низька врожайність (495,2 кг/га) за оптимальних умов і середня (345,6 кг/га) при стресі дають найнижчу різницю врожайності за різних умов. Проте в умовах посухи вона мала нижчу продуктивність, ніж популяції Сін(с)./Приморка, А.-Н. d. № 15 та ін. з вищим індексом SSPI, які за його показником не належали до посухостійких, проте формували високу врожайність за стресу.

За індексом посухостійкості (DI) виділили 2 популяції: Т./Емерауде і М. г./ЦП-11 зі значеннями 0,74 і 0,77 відповідно.

За індексом абіотичної толерантності (АТІ) виділили популяцію А.-Н. d. № 15 зі значенням 141685, але цей показник характеризує популяції за загальною продуктивністю за кращих умов, тому він непридатний для характеристики стійкості популяцій люцерни до стресу.

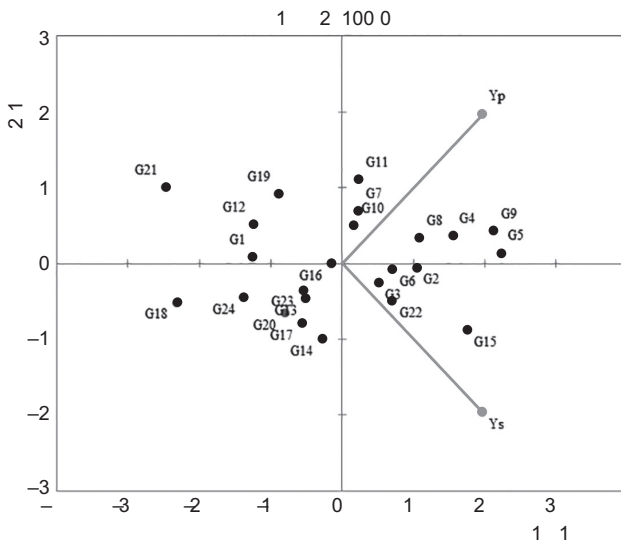
Індекс гармонійної продуктивності (НМР) показує врожайність конкретного генотипу за стресових умов відносно середньої врожайності досліджуваних генотипів у цих умовах і є менш чутливим до великих відмінностей між значеннями потенційної врожайності і врожайності в стресових умовах. За цим показником було виділено 3 популяції: Сін(с)./Приморка, А.-Н. d. № 15 та М.г./ЦП-11 зі значеннями 589, 582 і 574 відповідно.

За індексом стійкості до стресу (ISR) було виділено 2 популяції: Т./Емерауде та М. agr./С зі значеннями 4684 і 4029 відповідно.

Урожайність популяцій люцерни за гірших умов зволоження (Y_s) має високу позитивну кореляційну залежність ($r=0,738-1,000$) з індексами MP, YI, STI, GMP, DI, M_1STI , M_2STI , MSTI та HMP. З індексами АТІ та ISR — середню кореляційну залежність ($r=0,461$ й $r=0,332$ відповідно), з індексами TOL, YSI, RDI, SSPI — низький зв'язок ($r=0,232$, $r=0,161$, $r=0,161$ і $r=0,232$ відповідно), з індексом SSI — низьку від'ємну залежність ($r=-0,161$). Слід зазначити, що індекси MP, STI, GMP, M_1STI , M_2STI , MSTI та HMP мали також високу позитивну кореляційну залежність ($r=0,816-0,977$) з урожайністю насіння люцерни за поліпшених умов зволоження (табл. 2).

За результатами GGE біплот-аналізу за 2 роки життя було виділено популяцію G15 — М.г./ЦП-11 з найвищою насіннєвою продуктивністю за гірших умов зволоження, що перебуває в одній чверті з вектором урожайності в стресових умовах (Y_s) і максимально наближена до його вершини (рисунок).

Генотип G11 — Добір за к.с., що перебуває в одній чверті з вектором урожайності



Генотип-середовищна взаємодія популяцій люцерни і середовищ (метод біплот-аналізу): лініями показано власні вектори провідних факторних навантажень для середовищ: ● — умови зволоження; ● — генотипи

за кращих умов, найкраще реагує на поліпшення умов зволоження, але різко знижує врожайність в умовах стресу. Популяції G5 — Сін(с)./Приморка та G9 — А.-Н. d. № 15, що також перебувають в одній чверті з вектором урожайності за поліпшених умов зволоження, також формують високу

врожайність за кращих умов і високу за стресових.

Популяції G14 — Т./Емерауде, G17 — М.agr./С. і G18 — А.r. d. розташовані в III чверті, утворюючи тупий кут, мають найменші зниження продуктивності й можуть вважатися найбільш стабільними популяціями.

Висновки

За індексами посухостійкості та біоплот-аналізом можна зазначити, що популяції Сін(с)./Приморка та А.-Н. d. № 15 формують високі врожаї за кращих і гірших умов зволоження; популяції М.г./ЦП-11 та Т./Емерауде найменше реагують

на погіршення умов зволоження та формують стабільно високу врожайність насіння за гірших умов вирощування; популяція Добір за кореневою системою вибаглива до умов зволоження, тому найвищу врожайність формує за кращих умов.

Vozhegova R.¹, Tyshchenko A.², Tyshchenko O.³, Piliarska O.⁴, Fundirat K.⁵, Konovalova V.⁶
Institute of climate smart agriculture of the NAAS, 24 Mayatska doroga sett, Str., Khlybodarske, Bilyaivsky district, Odesa region, Ukraine, 67667; 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

Determination of drought resistance of alfalfa populations for seed use by mathematical indices

The purpose of research. To evaluate the response of varieties and populations of seed alfalfa under different environments and to determine the best not only in terms of drought resistance, but also in terms of productivity under stress conditions with their further use in the breeding process. **Methods.** Research was conducted at the Institute of Irrigated Agriculture of the NAAS (now the Institute of climate smart agriculture of the NAAS) during 2017–2020. The object of study was 24 alfalfa populations for seed use. Resistance of alfalfa genotypes to stress was carried out using various mathematical indices and biplot analysis. **Results.** The hydrothermal coefficient (HTC) in 2017, 2018 and 2020 varied between 0.51 and 0.55, indicating very dry climatic

conditions, while in 2019 it was 0.88, corresponding to dry conditions. 11 populations were characterized by high yield (>400 kg/ha) under stressful conditions. However, the best of these populations, which formed the highest seed productivity in the range of 445.5–472.1 kg/ha, A.–N. d. No. 15, Sin(c). / Prymorka and M.g. / CPU–11. According to the largest number of indices (9), the populations of A.–N. d. No. 15 and Sin(s). / Prymorka. Populations of M.g. / CP–11, which was characterized by the highest yield under stress, stood out according to four indices. The population T. / Emeraude population, which was characterized by one of the smallest reductions in yield and high yield under worse conditions, was distinguished by seven indices. Correlations between seed yield under different growing conditions and drought resistance indices were also analyzed. According to the results of GGE biplot analysis, the most drought-resistant population of M.g. / CP–11, Sin(s) population. / Prymorka and A.–N.d. No. 15 form a high yield of seeds under both conditions, and the selection according to k.s. has low productivity under worse conditions, but dramatically improves it when growing conditions are improved. **Conclusions.** The most promising alfalfa populations are identified and divided into groups by seed productivity.

Key words: variety, population, seed productivity, drought resistance indices, correlation, biplot analysis.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202212-05>

Бібліографія

1. Latrach L., Farissi M., Mouradi M. et al. Growth and nodulation of alfalfa-rhizobia symbiosis under salinity: electrolyte leakage, stomatal conductance,

and chlorophyll fluorescence. *Turkish J. of Agriculture and Forestry*. 2014. № 38. P. 320–326. doi:10.3906/tar-1305-52

2. Annicchiarico P., Pecetti L., Abdelguerfi A. et al. Adaptation of landrace and variety germplasm and selection strategies for lucerne in the Mediterranean basin. *Field Crops Research*. 2011. V. 120. Is. 2. 31 January. P. 283–291. doi:10.1016/j.fcr.2010.11.003
3. 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.
4. Muthukumar Bagavathiannan, Rene C Van Acker. The Biology and Ecology of Feral Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and Its Implications for Novel Trait Confinement in North America. *March 2009, Critical Reviews in Plant Sciences*. 2009. V. 28. Is. 1–2. P. 69–87. doi: 10.1080/07352680902753613
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. Is. 3. P. 867–878. doi:10.1111/gcb.12381
6. Вожегова П.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д. та ін. Оцінка посухостійкості популяцій люцерни кормового використання в рік сівби за математичними індексами. *Аграрні інновації*. 2022. № 13. С. 190–198. doi: 10.32848/agrar.innov.2022.13.28
7. Hussain S.S., Raza H., Afzal I., Kayani M.A. Transgenic plants for abiotic stress tolerance: Current status. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2012. V. 58. Is. 7. P. 693–721. doi: 10.1080/03650340.2010.540010
8. Wang Z., Ke Q., Kim M.D. et al. Transgenic alfalfa plants expressing the sweet potato orange gene exhibit enhanced abiotic stress tolerance. *PLoS ONE*. 2015. № 10. doi: 10.1371/journal.pone.0126050
9. Shuo Li, Liqiang Wan, Zhongnan Nie & Xianglin Li. Fractal and Topological Analyses and Antioxidant Defense Systems of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Root System under Drought and Rehydration Regimes. *Agronomy*. 2020. V. 10. Is. 6. P. 1–21. doi: 10.3390/agronomy10060805
10. Djamal B., Mahfoud M.-B., Aïssa A. Measuring the performance of perennial alfalfa with drought tolerance indices. *Chilean journal of agricultural*. 2016. № 76 (3). P. 273–284. doi:10.4067/S0718-58392016000300003
11. Yu L.-X. Identification of Single–Nucleotide Polymorphic Loci Associated with Biomass Yield under Water Deficit in Alfalfa (*Medicago sativa* L.). Using Genome-Wide Sequencing and Association Mapping. *Front. Plant Sci*. 2017. V. 8. P. 1152. doi: 10.3389/fpls.2017.01152
12. Koleva M., Dimitrova V. Evaluation of drought Tolerance in new cotton cultivars using stress tolerance indices. *Agrofor International J*. 2018. V. 3. Is. 1. P. 11–17. doi:10.7251/AGRENG1801011K
13. Вожегова П.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д. та ін. Особливості прояву адаптивних ознак у селекційних популяціях люцерни при вирощуванні на насіння. *Вісник СумНАУ*. 2021. Вип. 2 (44). С. 3–11. doi: 10.32845/agrobio.2021.2.1
14. Cattivelli L., Rizza F., Badeck F.W. et al. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*. 2008. № 105. P. 1–14. doi:10.1016/j.fcr.2007.07.004
15. Fisher R.A., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses. *Australian J. of Agricultural Research*. 1978. V. 29, № 5. P. 897–912. doi: 10.1071/AR9780897
16. Boussem H., BenSalem M., Slama A. et al. Evaluation of drought tolerance indices in durum wheat recombinant inbred lines Options Meditteraneennes. 2010. № 95. P. 79–83.
17. Вожегова П.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
18. Rosielle 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
19. Blum A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential — are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian J. of Agricultural Research*. 2005. V. 56, № 11. P. 1159–1168. doi: 10.1071/AR05069
20. Fernandez C.J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Aug. 13–16. Shanhuia, Taiwan, 1992. P. 257–270.
21. Saba J., Moghaddam M., Ghassemi K., Nishabouri M.R. Genetic properties of drought resistance indices. *J. Agric. Sci. Technol*. 2001. № 3. P. 43–49.
22. Kristin A.S., Serna R.R., Perez F.I. et al. Improving common bean performance under drought stress. *Crop. Sci*. 1997. № 37. P. 43–50.
23. Gavuzzi P., Rizza F., Palumbo M. et al. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian J. of Plant Science*. 1997. V. 77, № 4. P. 523–531.
24. Bouslama M., Schapaugh W.T. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop. Sci*. 1984. V. 24, № 5. P. 933–937. doi: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x
25. Choukan R., Taherkhani T., Ghannadha M.R., Khodarahmi M. Evaluation of drought tolerance

in grain maize in bred lines using drought tolerance indices. *Iran. J. Agric. Sci.* 2006. V. 8. Is. 1. P. 79–89.

26. Farshadfar E., Sutka J. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Res Commun.* 2002. № 31. P. 33–40.

27. Moosavi S.S., Yazdi-Samadi B., Naghavi M.R. et al. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. 2008. № 12. P. 165–178.

28. Vozhehova 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.

29. Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Люта Ю.О. Оцінка генотипів люцери за насіннєвою про-

дуктивністю на посухостійкість. *Таврійський науковий вісник.* Херсон: ВД «Гельветика», 2021. № 120. С. 155–168. doi: 10.32851/2226-0099.2021.120.21

30. 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.

31. Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica.* 1998. V. 7. P. 85–87.

32. Jafari A., Paknejad F., Jami Al-Ahmadi M. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Inter J. Plant Prod.* 2009. № 3. Is. 4. P. 33–38.