

## ПОСУХОСТІЙКІСТЬ ПОПУЛЯЦІЙ ЛЮЦЕРНИ ДРУГОГО РОКУ ЗА КОРМОВОГО ВИКОРИСТАННЯ

**ВОЖЕГОВА Р.А.** – доктор сільськогосподарських наук, професор,  
академік Національної академії аграрних наук України  
[orcid.org/0000-0002-3895-5633](https://orcid.org/0000-0002-3895-5633)

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства  
Національної академії аграрних наук України

**ТИЩЕНКО А.В.** – доктор сільськогосподарських наук  
[orcid.org/0000-0003-1918-6223](https://orcid.org/0000-0003-1918-6223)

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства  
Національної академії аграрних наук України

**ТИЩЕНКО О.Д.** – кандидат сільськогосподарських наук,  
старший науковий співробітник  
[orcid.org/0000-0002-8095-9195](https://orcid.org/0000-0002-8095-9195)

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства  
Національної академії аграрних наук України

**ПІЛЯРСЬКА О.О.** – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник  
[orcid.org/0000-0001-8649-0618](https://orcid.org/0000-0001-8649-0618)

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства  
Національної академії аграрних наук України

**ФУНДИРАТ К.С.** – кандидат сільськогосподарських наук  
[orcid.org/0000-0001-8343-2535](https://orcid.org/0000-0001-8343-2535)

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства  
Національної академії аграрних наук України

**КОНОВАЛОВА В.М.** – PhD (доктор філософії)  
[orcid.org/0000-0002-0655-9214](https://orcid.org/0000-0002-0655-9214)

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства  
Національної академії аграрних наук України

Люцерна – багаторічна кормова культура, що вирощується в усьому світі та характеризується високою продуктивністю біомаси, поживною цінністю, а також сприяє підвищенню родючості ґрунту [21; 28; 51], захищає ґрунти від вітрової та водної ерозії [1; 38; 46]. Крім того, фіксація атмосферного азоту робить її незамінним попередником для інших сільськогосподарських культур [32].

Люцерна зростає в широкому діапазоні кліматичних умов, від екватора і майже до арктичних полярних кіл [2; 41; 49]. 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 [15; 30; 37], що вже спостерігається в умовах Півдня України. Посуха – найбільш поширена екологічна проблема, оскільки обмежує можливості сільськогосподарських рослин, знижуючи їх продуктивність [16; 24]. Пагубні наслідки посухи є серйозним обмеженням для вирощування цієї культури [33; 40; 48]. Але вона за рахунок потужної і розгалуженої кореневої системи вважається культурою з високою посухостійкістю й широкою адаптивністю до посушливих умов [22; 39; 45]. Проте, як і будь-яка інша культура, вона негативно реагує на посуху і, щоб адаптуватися в стресових умовах, у неї виникають морфологічні, фізіологічні, біохімічні або молекулярні зміни, що необхідно враховувати при створенні посухостійких сортів з одночасним підвищенням врожайності та якості продукції.

За настання посушливого періоду рослини люцерни (*Medicago*), скорочують надземну вегетативну масу [3; 29], що обмежує індекс площі листя, і внаслідок чого зменшується продуктивність біомаси. Тому для стабілізації і підвищення продуктивності люцерни потрібно збільшити посухостійкість рослин люцерни, а дослідження цієї ознаки є важливим етапом у селекційних програмах [34].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Величина втрати вологи від евапотранспірації неухильно зростає, і ця тенденція в майбутньому буде тільки погіршуватися [30; 43], тому зниження врожайності, є головною проблемою і в той же час підставою для селекціонерів з посилення робіт з адаптації сільськогосподарських культур до зміни клімату і відповідно підвищення їх продуктивності в стресових умовах [9, 50]. Чутливість рослин до посухи визначається як функція зниження врожайності при водному стресі [7; 18], в порівнянні з потенційною врожайністю. Тому для диференціації генотипів з посухостійкості використовуються різні математичні індекси, які ґрунтуються на продуктивності рослин в оптимальних і стресових умовах [13; 23] для відбору посухостійких генотипів [8; 35].

Roselle A.A. et al. [26] запропонували використовувати індекс толерантності (TOL), як різницю між врожайністю при зрошенні і врожайністю в умовах природного зволоження, а також середню врожайність (MP), як середнє арифметичне значення врожайності в стресових і оптимальних умовах. Blum A. [4; 5] визначив індекс

посухостійкості (DI), який був загальноприйнятим для визначення генотипів, що забезпечують високу врожайність, як в стресових, так і в кращих умовах. Fisher R. A. et al. [13] рекомендують застосовувати індекс сприйнятливості до стресу (SSI) для визначення стабільності продуктивності рослин, який фіксує значення врожайності в оптимальних і стресових умовах. Fernandez C. J. [12] та Saba J. et al. [27] радять вживати індекс толерантності до стресу (STI) та 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 Fernandez C. J. [12] та Kristin A.S. et al. [19] запропонували використовувати середньгеометричну продуктивність (GMP) сортів в обох середовищах. Крім того, Gavuzzi et al. [14], Bouslama M. et al. [6] та Choukan R. et al. [10] запропонували використовувати індекс врожайності (YI), індекс стабільності врожайності (YSI) і індекс зниження врожайності (YRI) відповідно.

З метою підвищення ефективності індексу STI Farshadfar E. et al. [11] запропонували модифіковані індекси стійкості до стресу ( $M_1STI$ ,  $M_2STI$ ), які коригують STI. Для скринінгу посухостійких генотипів в різних умовах середовища Moosavi S.S. et al. [25] представили процентний індекс схильності до стресу (SSPI).

Tyshchenko A.V. et al. [47] запропонували індекс стійкості до стресу ISR, який на їх думку характеризує генотипи за стійкістю до стресу не тільки за меншою різницею врожайності в оптимальних та лімітуючих умовах, але й враховує високу продуктивність при стресі [31; 36].

Виходячи з аналізу літературного матеріалу існує 16 індексів з визначення посухостійкості генотипів, які ми застосовували у своїх дослідженнях.

**Мета.** Провести оцінку реакції сортів популяцій люцерни другого року життя за кормового використання у різних середовищах та визначити кращі не тільки за посухостійкістю, а й за продуктивністю в умовах стресу з подальшим використанням їх в селекційному процесі.

**Матеріали і методи.** Дослідження проводили в Інституті зрошувального землеробства НААН (Україна, м. Херсон, сел. Наддніпрянське, 46°44'50.1"N 32°42'30.0"E), що розташоване на Інгулецькому зрошуваному масиві, протягом 2018–2020 рр. у польових умовах. Об'єктом вивчення були сорти та популяції люцерни при кормовому використанні за двох умов зволоження: **зрошення** (краплинне зрошення) та природного зволоження на травостої другого року використання. Продуктивність та посухостійкість визначали з використанням різних індексів розроблених різними авторами: індекс середньої врожайності MP, індекс толерантності до посухи TOL [26], індекс чутливості до посухи SSI, індекс відносної посухостійкості RDI [13], індекс стабільності врожаю YSI [6], індекс урожайності YI [14, 23], індекс толерантності до стресу STI [12], середня геометрична урожайність GMP [12; 19], індекс посухостійкості DI [4; 5; 20], індекс схильності до стресу SSPI [25], модифіковані індекси толерантності до стресу  $M_1STI$ ,  $M_2STI$ , MSTI [15], гармонійна продуктивність HMP [9; 17; 19] та індексом стійкості до стресу ISR [31; 42; 44].

Проведено кореляційний аналіз між індексами врожайності зеленої маси та посухостійкості для визначення найкращих посухостійких генотипів та індексів. Аналіз головних компонентів (PCA) проводили 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). Статистичну обробку експериментальних даних проводили AgroSTAT, Statistica (v. 13).

**Результати досліджень та їх обговорення.** За результатами наших досліджень на другому році життя травостою за урожайністю генотипи люцерни можна розділити на три групи: з високою – при зрошенні ( $Y_p \geq 13,00$  кг/м<sup>2</sup>) і в стресових умовах ( $Y_s \geq 7,00$  кг/м<sup>2</sup>), середньою –  $Y_p \geq 12,00$  кг/м<sup>2</sup> й  $Y_s \geq 6,00$  кг/м<sup>2</sup> та низькою  $Y_p < 12,00$  кг/м<sup>2</sup> й  $Y_s < 6,00$  кг/м<sup>2</sup>.

Високою потенційною урожайністю характеризувалися три популяції люцерни: Елегія та М.г. / ЦП-11 з показником індексу MP 10,17 і Сін(с). / Приморка, у якої він дорівнював 10,13. Ці популяції мали високу урожайність при зрошенні, але популяції М.г. / ЦП-11 та Сін(с). / Приморка характеризувалися також високою урожайністю і в умовах природного зволоження на відміну від сорту Елегія, в якого вона була низькою і становила 5,98 кг/м<sup>2</sup>. Діапазон варіювання серед вивчених номерів становив 8,45–10,17 (табл. 1).

Індекс сприйнятливості до посухи (SSI) допомагає ідентифікувати генотипи, які мають менше зниження врожайності в стресових умовах, порівнюючи з умовами зрошення. Аналіз отриманих даних показав, що меншою реакцією на стрес характеризувалися шість популяцій: Зимостійка / М.К., Ram. d., М.г. / П.п., LR / Н., М.agr. / С. та М.г. / М.agr., тобто мали найнижчі показники індексу чутливості до посухи (SSI) 0,83; 0,87; 0,87; 0,89; і 0,90, відповідно. У інших генотипів він був вищим і коливався від 0,93 до 1,22. Крім того, популяції: Зимостійка / М.К. та М.г. / М.agr. можна віднести до більш посухостійких, так як вони мали низькі показники (4,79 і 4,85) індексу толерантності до посухи (TOL). Більше число TOL показує велику чутливість зразка до стресу, тому кращим є його менше значення. Серед генотипів відмічалась значна варіабельність цього показника: від 4,79 до 8,38.

Генотипи з високими значеннями YSI можна розглядати як стабільні генотипи в умовах стресу, тому інтерес представляють популяції, які відповідають цим вимогам.

Високими показниками індексу стабільності урожайності (YSI) та індексом урожайності (YI) характеризувалися селекційні зразки Зимостійка / М.К. – 0,60 і 112,99, Ram. d. – 0,58 і 112,99, М.г. / П.п. – 0,57 і 112,37, LR / Н – 0,57 і 112,99 і М.agr. / С. – 0,57 і 107,05. М.г. / М.agr мала високий (0,57) індекс стабільності урожайності, але середній індекс урожайності (99,86), а популяція Сін(с). / Приморка навпаки – високий індекс урожайності (111,12) і середній (0,54) індекс стабільності урожайності.

Індекс стресостійкості (STI) значно варіював (0,42–0,62), а генотипи з високими значеннями вказують на толерантність до посухи. Популяції: Сін(с). / Приморка, М.г. / ЦП-11, М.г. / П.п. та LR / Н характеризувалися високими показниками індексу толерантності до стресу з варіюванням від 0,60 до 0,62. Всі ці попу-

Таблиця 1

Урожайність зеленої маси люцерни другого року при зрошенні і в умовах природного зволоження та індекси посухостійкості (2018–2020 рр.)

Назва	Скорочення	Yp	Ys	MP	SSI	TOL	YSI	YI	STI	GMP	RDI	DI	SSPI	M <sub>1</sub> STI	M <sub>2</sub> STI	MSTI	ATI	HMP	ISR
Унітро, стандарт	G1	12,19	5,91	9,05	1,07	6,28	0,48	92,36	0,48	8,49	0,93	0,45	25,51	0,47	0,41	0,19	27,71	7,96	22,27
Елегія	G2	14,36	5,98	10,17	1,22	8,38	0,42	93,46	0,57	9,27	0,80	0,39	34,04	0,77	0,49	0,38	40,37	8,44	17,56
Приморка	G3	12,00	5,52	8,76	1,12	6,48	0,46	86,27	0,44	8,14	0,88	0,40	26,32	0,42	0,33	0,14	27,41	7,56	18,93
М.г. / П.п.	G4	12,58	7,19	9,89	0,89	5,39	0,57	112,37	0,60	9,51	1,10	0,64	21,89	0,62	0,75	0,47	26,65	9,15	39,17
Сін(с) / Приморка	G5	13,15	7,11	10,13	0,96	6,04	0,54	111,12	0,62	9,67	1,04	0,60	24,53	0,70	0,76	0,54	30,36	9,23	33,70
LR/Н	G6	12,67	7,23	9,95	0,89	5,44	0,57	112,99	0,60	9,57	1,10	0,64	22,10	0,64	0,77	0,49	27,07	9,21	39,22
Приморка / Сін(с).	G7	12,04	6,60	9,32	0,94	5,44	0,55	103,15	0,52	8,91	1,05	0,57	22,10	0,50	0,56	0,28	25,21	8,53	32,33
А.-Н. д. № 114	G8	12,59	5,89	9,24	1,11	6,70	0,47	92,05	0,49	8,61	0,90	0,43	27,21	0,51	0,41	0,21	29,99	8,03	20,80
А.-Н.д. № 15	G9	12,87	6,50	9,69	1,03	6,37	0,51	101,58	0,55	9,15	0,97	0,51	25,87	0,60	0,57	0,34	30,29	8,64	26,53
А.-Н. д. № 38	G10	12,76	6,45	9,61	1,03	6,31	0,51	100,80	0,54	9,07	0,97	0,51	25,63	0,58	0,55	0,32	29,76	8,57	26,38
Добір за к.с.	G11	11,59	6,44	9,02	0,93	5,15	0,56	100,64	0,49	8,64	1,07	0,56	20,92	0,44	0,50	0,22	23,13	8,28	32,62
Ram. d.	G12	12,42	7,23	9,83	0,87	5,19	0,58	112,99	0,59	9,48	1,12	0,66	21,08	0,60	0,76	0,46	25,57	9,14	41,40
(Емерауде / Т. Ү	G13	12,18	6,33	9,26	1,00	5,85	0,52	98,93	0,51	8,78	1,00	0,51	23,76	0,50	0,50	0,25	26,70	8,33	27,44
Т. / Емерауде	G14	12,24	6,69	9,47	0,94	5,55	0,55	104,55	0,54	9,05	1,05	0,57	22,54	0,53	0,59	0,32	26,11	8,65	32,54
М.г. / ЦП-11	G15	13,23	7,10	10,17	0,96	6,13	0,54	110,96	0,62	9,69	1,03	0,60	24,90	0,72	0,76	0,55	30,88	9,24	33,07
Зимостійка / М.К.	G16	12,02	7,23	9,63	0,83	4,79	0,60	112,99	0,57	9,32	1,16	0,68	19,46	0,55	0,73	0,40	23,21	9,03	45,53
М.agr. / С.	G17	11,97	6,85	9,41	0,89	5,12	0,57	107,05	0,54	9,06	1,10	0,61	20,80	0,51	0,62	0,32	24,10	8,71	37,44
А.г. д.	G18	11,36	5,54	8,45	1,07	5,82	0,49	86,58	0,42	7,93	0,94	0,42	23,64	0,35	0,31	0,11	24,00	7,45	21,11
М.г. / М.agr.	G19	11,24	6,39	8,82	0,90	4,85	0,57	99,86	0,47	8,47	1,09	0,57	19,70	0,40	0,47	0,19	21,37	8,15	34,32
М.г. д.	G20	11,30	6,19	8,75	0,94	5,11	0,55	96,74	0,46	8,36	1,05	0,53	20,76	0,39	0,43	0,17	22,22	8,00	30,27
ФХНВ <sup>2</sup>	G21	11,79	5,77	8,78	1,06	6,02	0,49	90,17	0,45	8,25	0,94	0,44	24,45	0,41	0,37	0,15	25,81	7,75	22,13
В.11 / П. д.	G22	12,63	5,86	9,25	1,12	6,77	0,46	91,58	0,49	8,60	0,89	0,42	27,50	0,51	0,41	0,21	30,28	8,01	20,40
Ж. / ЦП-11	G23	12,38	5,52	8,95	1,15	6,86	0,45	86,27	0,45	8,27	0,86	0,38	27,86	0,46	0,34	0,15	29,48	7,64	17,98
Сибір. 8. д.	G24	11,87	6,05	8,96	1,02	5,82	0,51	94,55	0,47	8,47	0,98	0,48	23,64	0,44	0,42	0,19	25,64	8,01	25,17
<b>Середньопопуляційна</b>		<b>12,31</b>	<b>6,40</b>	<b>9,35</b>	<b>1,00</b>	<b>5,91</b>	<b>0,52</b>	<b>100,00</b>	<b>0,52</b>	<b>8,87</b>	<b>1,00</b>	<b>0,52</b>	<b>24,01</b>	<b>0,53</b>	<b>0,53</b>	<b>0,29</b>	<b>27,22</b>	<b>8,40</b>	<b>29,10</b>
<b>Медіана</b>		<b>12,22</b>	<b>6,42</b>	<b>9,29</b>	<b>0,98</b>	<b>5,84</b>	<b>0,53</b>	<b>100,25</b>	<b>0,52</b>	<b>8,85</b>	<b>1,02</b>	<b>0,52</b>	<b>23,7</b>	<b>0,51</b>	<b>0,50</b>	<b>0,27</b>	<b>26,68</b>	<b>8,39</b>	<b>28,86</b>
V, %		5,65	9,13	5,36	10,20	13,61	9,23	9,13	11,62	5,87	9,40	17,62	13,60	20,91	28,74	45,69	14,53	6,71	27,67
Sx <sub>абс.</sub>		0,14	0,12	0,10	0,02	0,16	0,01	1,86	0,01	0,11	0,02	0,02	0,67	0,02	0,03	0,03	0,81	0,12	1,64
Sx <sub>віднос.</sub>		1,15	1,86	1,09	2,08	2,78	1,88	1,86	2,37	1,20	1,92	3,60	2,78	4,27	5,87	9,33	2,97	1,37	5,65
HIP <sub>01</sub>		0,45	0,38	0,32	0,07	0,52	0,03	5,91	0,04	0,34	0,06	0,06	2,11	0,07	0,10	0,09	2,56	0,36	5,21
HIP <sub>05</sub>		0,33	0,27	0,23	0,05	0,38	0,02	4,27	0,03	0,24	0,04	0,04	1,53	0,05	0,07	0,06	1,85	0,26	3,76

Таблиця 2

Матриця кореляційних зв'язків між урожайністю зеленої маси люцерни першого року життя при зрошенні і в умовах природного зволоження та індексами посухостійкості (2017–2019 рр.)

	Y <sub>p</sub>	Y <sub>s</sub>	Y <sub>s</sub>	MP	SSI	TOL	YSI	YI	STI	GMP	RDI	DI	SSPI	M <sub>1</sub> STI	M <sub>2</sub> STI	MSTI	ATI	HMP	ISR
Y <sub>p</sub>	1,000	0,219	0,821	0,356	0,705	0,659	0,659	0,219	0,659	0,643	-0,351	-0,066	0,705	0,909	0,386	0,627	0,931	0,467	-0,139
Y <sub>s</sub>	0,219	1,000	0,737	-0,832	-0,537	0,832	0,876	1,000	0,876	0,888	0,834	0,957	-0,537	0,598	0,979	0,877	-0,150	0,965	0,922
MP	0,821	0,737	1,000	-0,240	0,175	0,243	0,969	0,737	0,969	0,965	0,245	0,515	0,175	0,980	0,840	0,947	0,557	0,888	0,443
SSI	0,356	-0,832	-0,240	1,000	0,912	-0,998	-0,462	-0,832	-0,462	-0,484	-0,999	-0,955	0,912	-0,059	-0,714	-0,479	0,669	-0,657	-0,965
TOL	0,705	-0,537	0,175	0,912	1,000	-0,908	-0,067	-0,537	-0,067	-0,089	-0,909	-0,752	1,000	0,351	-0,378	-0,095	0,914	-0,297	-0,789
YSI	-0,352	0,832	0,243	-0,998	-0,908	1,000	0,463	0,831	0,463	0,486	0,998	0,953	-0,908	0,064	0,712	0,479	-0,663	0,658	0,962
YI	0,219	1,000	0,737	0,831	-0,537	0,831	0,876	1,000	0,876	0,888	0,834	0,957	-0,537	0,598	0,979	0,877	-0,150	0,965	0,922
STI	0,659	0,876	0,969	0,463	-0,067	0,463	1,000	0,876	1,000	0,998	0,467	0,702	-0,067	0,907	0,946	0,990	0,341	0,971	0,636
GMP	0,643	0,888	0,965	0,486	-0,089	0,486	0,488	0,888	0,467	1,000	0,488	0,719	-0,089	0,897	0,950	0,984	0,321	0,977	0,655
RDI	-0,351	0,834	0,245	-0,999	-0,909	0,998	1,000	0,834	0,956	0,488	1,000	0,956	-0,909	0,064	0,717	0,482	-0,664	0,660	0,968
DI	-0,066	0,957	0,515	-0,955	-0,752	0,953	0,702	0,957	1,000	0,956	1,000	1,000	-0,752	0,349	0,888	0,713	-0,423	0,848	0,989
SSPI	0,705	-0,537	0,175	0,912	1,000	-0,908	-0,067	-0,537	-0,067	-0,089	-0,909	-0,752	1,000	0,351	-0,378	-0,095	0,914	-0,297	-0,789
M <sub>1</sub> STI	0,909	0,598	0,980	-0,059	0,351	0,064	0,907	0,598	0,907	0,897	0,064	0,349	0,351	1,000	0,728	0,889	0,699	0,785	0,273
M <sub>2</sub> STI	0,386	0,979	0,840	-0,714	-0,378	0,712	0,946	0,979	0,946	0,950	0,717	0,888	-0,378	0,728	1,000	0,952	0,024	0,991	0,842
MSTI	0,627	0,877	0,947	-0,479	-0,095	0,479	0,990	0,877	0,990	0,984	0,482	0,713	-0,095	0,889	0,952	1,000	0,308	0,963	0,647
ATI	0,931	-0,150	0,557	0,669	0,914	-0,663	0,341	-0,150	0,341	0,321	-0,664	-0,423	0,914	0,699	0,024	0,308	1,000	0,114	-0,485
HMP	0,467	0,965	0,888	-0,657	-0,297	0,658	0,971	0,965	0,971	0,977	0,660	0,848	-0,297	0,785	0,991	0,963	0,114	1,000	0,793
ISR	-0,139	0,922	0,443	-0,965	-0,789	0,962	0,636	0,922	0,636	0,655	0,968	0,989	-0,789	0,273	0,842	0,647	-0,485	0,793	1,000

ляції мали високу урожайність (7,10–7,23 кг/м<sup>2</sup>) в стресових умовах, але при зрошенні M.g. / П.п. та LR / Н – середню (12,58 й 12,67 кг/м<sup>2</sup>, відповідно), а Сін(с). / Приморка і M.g. / ЦП-11 високу (13,15 й 13,23 кг/м<sup>2</sup>, відповідно) урожайність зеленої маси. За ними за значенням STI йшли генотипи: Ram. d. (0,59), Зимостійка / М.К. (0,57) та Елегія (0,57). Перші два відрізнялися високими врожайностями (7,23 кг/м<sup>2</sup>) в умовах стресу, але низькими в умовах зрошення (12,02–12,40 кг/м<sup>2</sup>). Сорт Елегія навпаки демонструє різке зниження урожайності в умовах стресу (5,98 кг/м<sup>2</sup>) і сприятливий вплив в умовах зрошення (14,36 кг/м<sup>2</sup>).

Високі показники середньої геометричної урожайності (GMP) та гармонійної продуктивності (HMP) було виявлено у п'яти популяцій: M.g. / П.п. (9,51 і 9,15), Сін(с). / Приморка (9,67 і 9,23), LR / Н (9,57 і 9,21), M.g. / ЦП-11 (9,69 і 9,24) та Ram. d. (9,48 і 9,14). Звертає увагу на себе той факт, що чотири з них мали високі показники STI та GMP, як правило, це допомагає в ідентифікації генотипів, що добре підходять для вирощування як в стресових, так і в нестресових умовах.

Індекси відносної посухостійкості (RDI) та посухостійкості (DI) дозволяють визначити генотипи, що формують високу урожайність як в стресових, так і в нормальних умовах. Аналіз отриманих даних показав, що діапазон варіювання індексів знаходиться в межах для RDI – 0,80–1,16 і DI – 0,38–0,68. Високі значення цих індексів відзначені у чотирьох популяцій: M.g. / П.п. (1,10 і 0,64), LR / Н (1,10 і 0,64), Ram. d. (1,12 і 0,66) й Зимостійка / М.К. (1,16 і 0,68). Популяції M.agr. / С. та M.g. / M.agr. мали високі (1,10 і 1,09) значення індексу відносної посухостійкості, але нижчі (0,61 і 0,57) – індексу посухостійкості, ніж у вищенаведених популяцій. Генотипи Ж. / ЦП-11 і Елегія з низькими значеннями RDI (0,80–0,86) та DI (0,38–0,39) слід вважати сприйнятливими до посухи.

Найменшими значеннями індексу схильності до стресу (SSPI) 19,46 і 19,70 характеризувалася популяція Зимостійка / М.К та M.g. / M.agr.

За першим модифікованим індексом толерантності до стресу (M<sub>1</sub>STI) були виділені селекційні зразки Елегія (0,77), Сін(с). / Приморка (0,70) і M.g. / ЦП-11 (0,72), всі вони мали високу урожайність при зрошенні. Шість популяцій (M.g. / П.п., Сін(с). / Приморка, LR / Н, Ram. d., M.g. / ЦП-11 та Зимостійка / М.К) характеризувалися високими значеннями M<sub>2</sub>STI і також мали високу урожайність зеленої маси в стресових умовах. За загальним індексом MSTI було виділено дві популяції люцерни Сін(с). / Приморка і M.g. / ЦП-11, у яких він дорівнював 0,54 й 0,55, відповідно.

За індексом абіотичної толерантності (ATI) виділився сорт Елегія зі значенням 40,37, але він характеризувався високою (14,36 кг/м<sup>2</sup>) урожайністю при зрошенні та низькою (5,98 кг/м<sup>2</sup>) в умовах природного зволоження.

Популяції Ram. d. і Зимостійка / М.К характеризувалися найвищим (41,40 і 45,53, відповідно) значенням індексу стійкості до стресу (ISR) та мали високу урожайність (7,23 кг/м<sup>2</sup>) при стресі і середню (12,42 і 12,02 кг/м<sup>2</sup>) при зрошенні.

За більшою кількістю індексів (11), як найбільш посухостійкі були виділені популяції M.g. / П.п., LR / Н, Ram. d. Популяція Зимостійка / М.К була виділена за дев'ятьма індексами, а Сін(с). / Приморка та M.g. / ЦП-11 виділилися за сімома індексами.

На другому році життя між врожайністю за різних умов зволоження (зрошення і природне зволоження) має місце низька позитивна кореляційна залежність  $r = 0,219$ . Урожайність популяцій люцерни при стресі (Ys) має найвищий позитивний кореляційний зв'язок ( $r = 0,922-1,000$ ) з індексами YI, DI, M<sub>2</sub>STI, HMP та ISR, проте урожайність при зрошенні (Yp) мала низьку залежність ( $r = -0,139-0,219$ ) з індексами YI, DI, ISR та середню  $r = 0,386-0,467$  з індексами M<sub>2</sub>STI і HMP. Також високу, але дещо нижчу залежність ( $r = 0,737-0,888$ ) Ys з індексами YSI, STI, GMP, RDI та MSTI, тоді як врожайність за оптимальних умов (Yp) мала від'ємну середню кореляцію ( $r = -0,351-0,352$ ) з індексами YSI і RDI та середню  $-0,627-0,659$  з індексами STI, GMP та MSTI. Індекс MP характеризувався високою залежністю як з врожайністю при стресі (Ys) 0,737, так і з врожайністю при зрошенні (Yp) 0,821. Індеси YI, YSI, DI, RDI, M<sub>2</sub>STI, HMP та ISR необхідно використовувати як основні для відбору популяцій на посухостійкість, натомість індекси MP, STI, GMP та MSTI можна використовувати як допоміжні. Середній зв'язок ( $r = 0,598$ ) урожайності при стресових умовах і високий ( $r = 0,909$ ) при зрошенні з модифікованим індексом толерантності до стресу M<sub>2</sub>STI обумовлений спрямованістю цього показника до відбору популяцій, вирощених за кращих умов, як і індекс абіотичної толерантності (ATI), що характеризується низькою від'ємною кореляцією ( $r = -0,150$ ) з врожайністю при стресі та високою ( $r = 0,931$ ) при зрошенні. Високу від'ємну кореляційну залежність ( $r = -0,832$ ) урожайності за посушливих умов має з індексом чутливості до посухи (SSI) та середню від'ємну ( $r = -0,537$ ) з індексами TOL та SSP1, тоді як з врожайністю при зрошенні 0,356; 0,705 і 0,705, відповідно. Ці три показника можна використовувати для відбору посухостійких популяцій, якщо їх значення прагнуть до нуля та популяцій, що добре відгукуються на покращення умов зволоження, якщо ці показники прагнуть до максимуму (табл. 2).

За результатами GGE біплот-аналізу на травстої другого року життя були виділені більш стійкі до посухи популяції: G4 – M.g. / П.п., G6 – LR / Н, G12 – Ram. d. та G16 – Зимостійка / М.К., що знаходяться в одній чверті з вектором урожайності в умовах природного зволоження (Ys) та максимально наближені до його вершини (рис. 1).

Сорт G2 – Елегія, що знаходиться в одній чверті з вектором урожайності при зрошенні та навіть переважає його, найкраще відкликається на поліпшення умов зволоження, але показує різке зниження урожайності за умов природного зволоження.

Селекційні зразки G5 – Сін(с). / Приморката G15 – M.g. / ЦП-11 знаходяться на осі між векторами урожайності при зрошенні та в умовах природного зволоження, що може вказувати на пластичність цих популяцій.

Кластерний аналіз дозволяє ідентифікувати популяції люцерни за генетично зумовленою посухостійкістю. Перевага методу кластерного аналізу полягає в тому, що його математичний апарат дозволяє знайти і виділити реально існуюче в ознаковому просторі нагромадження об'єктів (точок) на підставі одночасного групування за великою кількістю ознак. Побудова та аналіз дендрограм деталізує інформацію про характер зв'язків між лініями на рівні кластерів і конкретизує зв'язки між популяціями у їхніх межах. На дендрограмі вказуються номери об'єктів, що об'єднуються і відстань, при якій відбулося об'єднання (рис. 2).

Найбільш близькими за індексами посухостійкості виявилися популяції, що утворили чотири підкластера: G8 – А.-Н. d. № 114 і G22 – В.11 / П. d. в подальшому згруповані у 1 кластер, G5 – Сін(с). / Приморка і G15 – M.g. / ЦП-11 та G4 – M.g. / П.п. і G6 – LR / Н згрупувалися у 2 кластер, G9 – А.-Н.d. № 15 і G10 – А.-Н. d. № 38 – у 3 кластер. Генетичну дивергенцію щодо посухостійкості показав сорт G2 – Елегія. Взагалі було сформовано три кластери: в перший кластер об'єдналися на відстані 175 дев'ять найбільш не стійких до посухи популяцій, в другий кластер об'єдналися на відстані 123 шість найбільш посухостійкі та в третій кластер об'єдналися

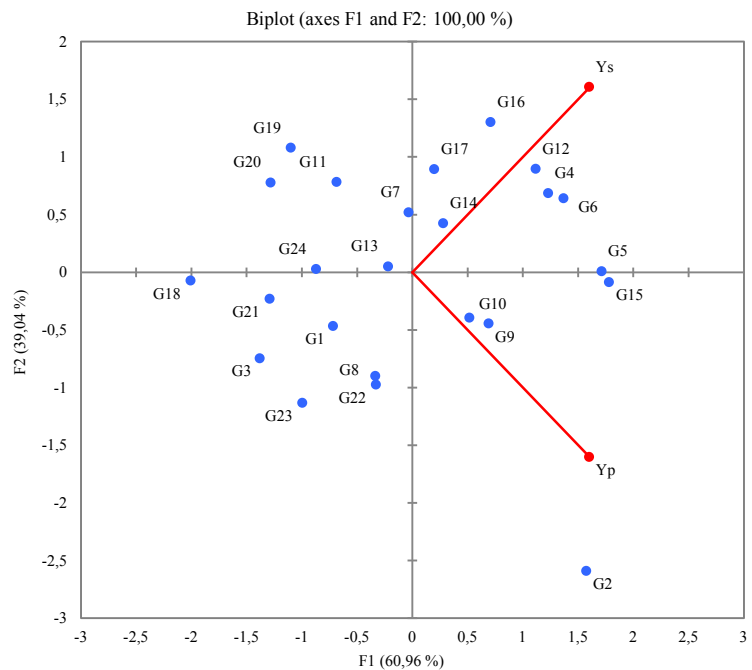


Рис. 1. Генотип-середовищна взаємодія популяцій люцерни і середовищ (метод біплот-аналіз). Лініями показані власні вектори провідних факторних навантажень для середовищ: ■ – умови зволоження; ■ – генотипи

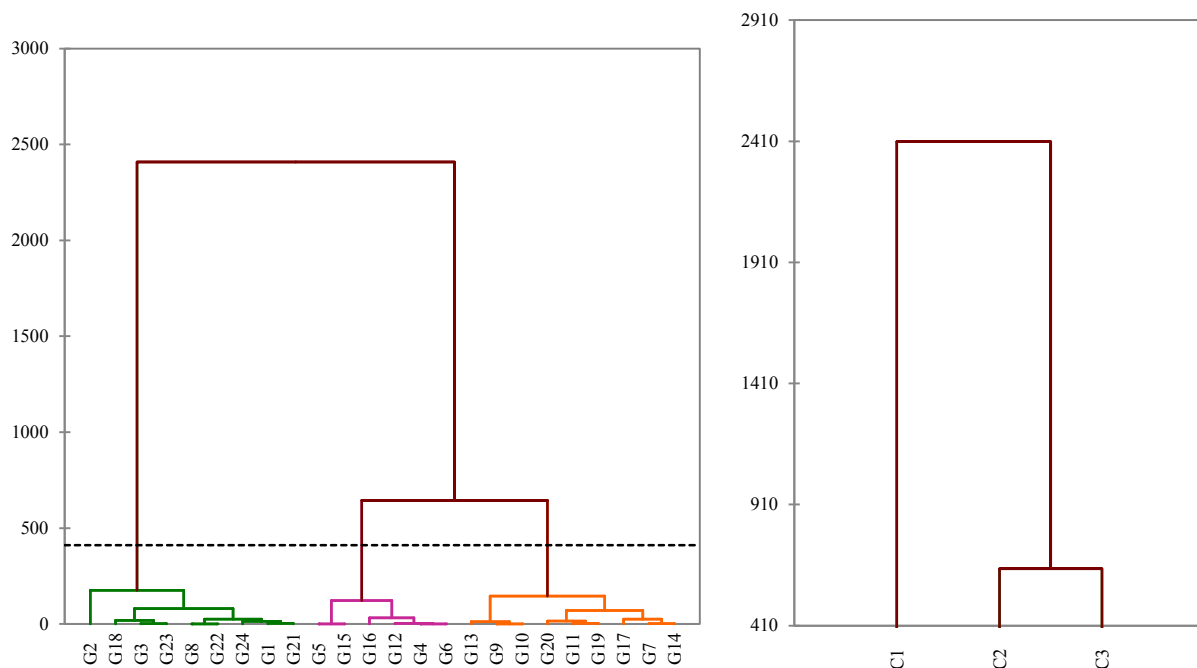


Рис. 2. Дендограма кластеризації двадцяти чотирьох популяцій люцерни за посухостійкістю

Таблиця 3

Кластеризації двадцяти чотирьох популяцій люцерни за посухостійкістю методом k-середніх і агломеративного ієрархічного кластерного аналізу

Назва	Скорочення	Кластеризація k-середніх		Агломеративна ієрархічна кластеризація
		Кластер	Відстань до центру кластера	Кластер
Унітро, стандарт	G1	1	3,705	1
Елегія	G2	1	12,114	1
Приморка	G3	1	4,318	1
М.г. / П.п.	G4	2	3,286	2
Сін(с). /Приморка	G5	2	5,368	2
LR/ Н	G6	2	3,864	2
Приморка / Сін(с).	G7	2	8,388	3
А.-Н. d. № 114	G8	1	2,410	1
А.-Н.d. № 15	G9	3	6,008	3
А.-Н. d. № 38	G10	3	5,324	3
Добір за к.с.	G11	3	4,718	3
Ram. d.	G12	2	5,415	2
(Емерауде / Т.) <sup>2</sup>	G13	3	1,904	3
Т. / Емерауде	G14	2	7,039	3
М.г. / ЦП-11	G15	2	6,128	2
Зимостійка / М.К.	G16	2	9,588	2
М.agr. / С.	G17	2	3,788	3
А.г. d.	G18	1	6,523	1
М.г. / М.agr.	G19	3	6,926	3
М.г. d.	G20	3	4,368	3
ФХНВ <sup>2</sup>	G21	1	4,163	1
В.11 / П. d.	G22	1	2,007	1
Ж. / ЦП-11	G23	1	4,198	1
Сибір. 8, d.	G24	3	5,881	1

на відстані 145 дев'ять популяції середньої посухостійкості (табл. 3).

Також був проведений кластерний аналіз популяцій люцерни методом k-середніх. Цей метод відрізняється тим, що перед початком необхідно вибрати кількість кластерів самостійно. Виходячи з агломеративного ієрархічного кластерного аналізу який описано вище, нами було запропоновано три кластери.

До 1 кластера увійшли вісім не стійких до посухи популяцій, порівняно з агломеративним ієрархічним кластерним аналізом, виняток складає селекційний зразок G24 – Сибір. 8, d, який увійшов до третього кластеру. Найменша відстань до центру кластера спостерігалася у популяції G22 – В.11 / П. d. на рівні 2,007, натомість найбільша 12,114 у сорту G2 – Елегія (табл. 3).

До 2 кластера увійшли дев'ять найбільш стійких до посухи популяцій. Якщо порівнювати з агломеративним ієрархічним кластерним аналізом, то добавилося три популяції G7 – Приморка / Сін(с), G14 – Т. / Емерауде та G17 – М.agr. / С., що перейшли з третього до другого кластеру. Найменша відстань до центру кластера спостерігалася у популяції G4 – М.g. / П.п. на рівні 3,286, натомість найбільша 9,588 у G16 – Зимостійка / М.К.

В третій кластер увійшли сім популяцій середньої посухостійкості з найменшою відстанню 1,904 до центру кластера у селекційного зразка G13 – (Емерауде / Т.)<sup>2</sup>, а найбільшою – 6,926 у G19 – М.g. / М.agr.

**Висновки.** Відібрані основні індекси SSI, TOL, SSPI, YI, YSI, DI, RDI, M<sub>2</sub>STI, HMP та ISR для відбору популяцій на посухостійкість, натомість індекси STI, GMP та MSTI можна використовувати як допоміжні.

За індексами посухостійкості та біплот-аналізом, як найбільш посухостійкі виділені популяції М.g. / П.п., LR / Н, Ram. d., Зимостійка / М.К, Сін(с). / Приморка та М.g. / ЦП-11. Сорт Елегія виділюється як найбільш нестійкий до посухи.

За допомогою кластерного аналізу двадцять чотири популяції люцерни були розподілені на три кластери: стійкі до посухи, середньої стійкості та не стійкі.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Annicchiarico P., Pecetti L., Abdelguerfi A., Bouizgaren A., Carroni A.M., Hayek T. et al. Adaptation of landrace and variety germplasm and selection strategies for lucerne in the Mediterranean basin. *Field Crops Research*. 2011. Vol. 120, Issue 2. P. 283–291. doi:10.1016/j.fcr.2010.11.003.
2. Bagavathiannan M., Van Acker R.C. The Biology and Ecology of Feral Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and Its Implications for Novel Trait Confinement in North America. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2009. Vol. 28, Issue 1–2. P. 69–87. DOI: 10.1080/07352680902753613
3. Bellague D., M'Hammedi-Bouzina M., Abdelguerfi A. Measuring the performance of perennial alfalfa with drought tolerance indices. *Chilean journal of agricultural*. 2016. Vol. 76, Issue 3. P. 273m284. doi:10.4067/S0718-58392016000300003
4. Blum A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*. 2005. Vol. 56, № 11. P. 1159–1168. https://doi.org/10.1071/AR05069
5. Blum A. Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 1988.
6. Bouslama M., Schapaugh W. T. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 1984. Vol. 24, № 5. P. 933–937. doi: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x
7. Boussen H., BenSalem M., Slama A., Mallek-Maalej E., Rezgui S. Evaluation of drought tolerance indices in durum wheat recombinant inbred lines. *Options Mediterraneennes*. 2010. Vol. 95. P. 79–83.
8. Cattivelli L., Rizza F., Badeck F. W., Mazzucotelli E., Mastrangelo A. M., Francia E., Marè C., Tondelliand A., Stanca A. M. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*. 2008. Vol. 105. P. 1–14. doi:10.1016/j.fcr.2007.07.004
9. Chakherchaman S. A., Mostafaei H., Imanparast L., Eivazian M. R. Evaluation of drought tolerance in lentil advanced genotypes in Ardabil region. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2009. Vol. 7. P. 283–288.
10. 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. Vol. 8, Issue 1. P. 79–89.
11. Farshadfar E., Sutka J. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Res Commun*. 2002. Vol. 31. P. 33–40. https://www.jstor.org/stable/23787201
12. 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. Shanhua, Taiwan, 1992. P. 257–270.
13. Fisher R. A., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1978. Vol. 29, № 5. P. 897–912. doi.org/10.1071/AR9780897
14. Gavuzzi P., Rizza F., Palumbo M. et al. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journals of Plant Science*. 1997. Vol. 77, № 4. P. 523–531.
15. Harrison M. T., Tardieu F., Dong Z., Messina C. D. & Hammer G. L. Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. *Glob. Change Biol*. 2014. Vol. 20, Issue 3. P. 867–878. Doi:10.1111/gcb.12381
16. 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. Vol. 58, Issue 7. P. 693–721. doi:10.1080/03650340.2010.540010
17. 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. Vol. 3, Issue 4. P. 33–38.
18. Koleva M., Dimitrova V. Evaluation of drought Tolerance in new cotton cultivars using stress tolerance indices. *Agrofor International Journal*. Vol. 3, Issue No. 1, 2018. P. 11–17. Doi:10.7251/AGRENG1801011K
19. Kristin A. S., Serna R. R., Perez F. I., Enriquez B. C., Gallegos J. A. A., Vallejo P. R., Wassimi N., Kelley J. D. Improving common bean performance under drought stress. *CropSci*. 1997. Vol. 37. P. 43–50.

20. Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*. 1998. Vol. 7. P. 85–87.
21. Latrach L., Farissi M., Mouradi M., Makoudi B., Bouizgaren A., Ghoulam C. Growth and nodulation of alfalfa-rhizobia symbiosis under salinity: electrolyte leakage, stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2014. Vol. 38, P. 320–326. doi: 10.3906/tar-1305-52
22. Li S., Wan L., Nie Z., Li X. Fractal and Topological Analyses and Antioxidant Defense Systems of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Root System under Drought and Rehydration Regimes. *Agronomy*. 2020. Volume 10, Issue 6. P. 1–21. Doi:10.3390/agronomy10060805
23. Lin C. S., Binns M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Can. J. Plant Sci.* 1988. Vol. 68. P. 193–198. <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>
24. Mollasadeghi V., Valizadeh M., Shahryari R., Imani A. A. Evaluation of end drought tolerance of 12 wheat genotypes by stress indices. *World Applied Sciences Journal*. 2011. Vol. 13, Issue 3. P. 545–551.
25. Moosavi S. S., Yazdi-Samadi B., Naghavi M. R., Zali A. A., Dashti H., Pourshahbazi A. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*. 2008. Vol. 12, Issue 2. P. 165–178.
26. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 1981. Vol. 21, № 6. P. 943–946. doi:10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x
27. Saba J., Moghaddam M., Ghassemi K., Nishabouri M. R. Genetic properties of drought resistance indices. *J. Agric. Sci. Technol.* 2001. Vol. 3. P. 43–49.
28. Tyshchenko A. V., Tyshchenko O. D., Kuts G. M., Piliarska O. O., Galchenko N. M. Anti-pest protection of two-year old alfalfa grown for seeds. *Селекція і насінництво*. 2021. № 119. С. 170–180.
29. Tyshchenko O., Tyshchenko A., Piliarska O., Biliaeva I., Kuts H., Lykhovyd P., Halchenko N. 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*. Vol. 20, Issue 4, 2020. P. 551–562.
30. Tyshchenko O., Tyshchenko A., Piliarska O., Kuts H., Lykhovyd P. Evaluation of drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa*) genotypes in the conditions of osmotic stress. *AgroLife Scientific Journal*. 2020. Volume 9, Number 2. P. 353–358.
31. Vozhehova R., Tyshchenko A., Tyshchenko O., Dymov O., Piliarska O., Lykhovyd P. Evaluation of breeding indices for drought tolerance in alfalfa (*Medicago*) genotypes. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2021. Vol. LXIV, No. 2. P. 435–444.
32. Vozhehova R., Tyshchenko A., Tyshchenko O., Piliarska O., Konovalova V., Sharii V., Fundirat K. 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. Vol. 22, Issue 4. P. 827–834.
33. Wang Z., Ke Q., Kim M. D., Kim S. H., Ji C. Y., Jeong J. C. et al. Transgenic alfalfa plants expressing the sweet potato orange gene exhibit enhanced abiotic stress tolerance. *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10. Doi: 10.1371/journal.pone.0126050
34. 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. Volume 8. P. 1152. Doi: 10.3389/fpls.2017.01152
35. Zou G. H., Liu H. Y., Mei H. W. et al. Screening for Drought Resistance of Rice Recombinant Inbred Populations in the Field. *J. Integr. Plant Biol.* 2007. Vol. 49, Issue 10. P. 1508–1516.
36. Вожегова Р. А., Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Димов О. М., Люта Ю. О. Особливості прояву адаптивних ознак у селекційних популяцій люцерни при вирощуванні на насіння. *Вісник СумНАУ. Серія «Агрономія і біологія»*. 2021. Випуск 2(44), С. 3–11. DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.2.1>
37. Вожегова Р. А., Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Димов О. М., Пілярська О. О. Оцінювання посухостійкості селекційного матеріалу люцерни за показниками водного режиму в умовах Півдня України. *Plant Varieties Studying and protection*. 2021, Vol. 17, No 1. С. 21–29. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.1.2021.228204>
38. Вожегова Р. А., Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Пілярська О. О., Гальченко Н. М. Оцінка посухостійкості популяцій люцерни кормового використання в рік сівби за математичними індексами. *Аграрні інновації*. 2022. № 13. С. 190–198. DOI <https://doi.org/10.32848/agr.ar.innov.2022.13.28>
39. Вожегова Р. А., Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Пілярська О. О., Гальченко Н. М. Урожайність та посівні якості насіння сортів люцерни залежно від умов вирощування. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 8 (821). С. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202108-07>
40. Вожегова Р. А., Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Пілярська О. О., Фундират К. С., Коновалова В. М. Особливості прояву адаптивних ознак у популяції люцерни за кормового використання. *Аграрні інновації*. 2022. № 14. С. 135–144. DOI <https://doi.org/10.32848/agr.ar.innov.2022.14.20>
41. Вожегова Р. А., Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Пілярська О. О., Фундират К. С., Гальченко Н. М. Оцінка посухостійкості популяції люцерни за насінневого використання в рік сівби. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 89–96. DOI <https://doi.org/10.32848/agr.ar.innov.2022.15.14>
42. Вожегова Р. А., Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Пілярська О. О., Фундират К. С., Коновалова В. М. Визначення посухостійкості популяцій люцерни насінневого використання за математичними індексами. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 1 (838). С. 40–48. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202301-05>
43. Вожегова Р. А., Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Пілярська О. О., Фундират К. С., Коновалова В. М. Зв'язок між кормовою та насінневою продуктивністю популяцій люцерни. *Зрошуване землеробство*. 2022. № 78, С. 47–56. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.78.8>
44. Вожегова Р. А., Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Пілярська О. О., Фундират К. С., Коновалова В. М. Насіннева продуктивність популяцій люцерни другого року життя та особливості прояву у них адаптив-



- них ознак. *Аграрні інновації*. 2022. № 16. С. 94–103. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.16.15>
45. Тищенко А. В. Сорти люцерни – насіннева продуктивність та способи її підвищення. *Насінництво*. 2015. № 2. С. 7–9.
  46. Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Куц Г. М., Пілярська О. О., Коновалова В. М. Насіннева продуктивність люцерни першого року життя залежно від застосування гербіцидів. *Аграрні інновації*. 2022. № 11. С. 92–102. DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.12>
  47. Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Люта Ю. О. Оцінка генотипів люцерни за насінневою продуктивністю на посухостійкість. *Таврійський науковий вісник*. Херсон: ВД «Гельветика», 2021. № 120. С. 155–168. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.21>
  48. Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Люта Ю. О., Пілярська О. О. Адаптивна здатність – важлива ознака в селекції рослин. *Зрошуване землеробство*. 2021. Вип. 75. С. 101–109. DOI <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.19>
  49. Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Люта Ю. О., Пілярська О. О. Особливості розвитку популяцій люцерни за різних умов вирощування. *Наукові доповіді НУБіП України*, [S.I.], п. 4(92), сер. 2021.
  50. Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Люта Ю. О., Пілярська О. О., Куц Г. М. Щільність травостою люцерни за роками життя та укусами за різного вологозабезпечення. *Зрошуване землеробство*. 2021. Вип. 76. С. 75–82. DOI <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.76.14>
  51. Тищенко А. В., Тищенко О. Д., Пілярська О. О., Куц Г. М., Гальченко Н. М. Насіннева продуктивність люцерни першого року життя залежно від заходів боротьби зі шкідниками. *Аграрні інновації*. 2021. № 6. С. 57–67. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.6.12>
- REFERENCES:**
1. Annicchiarico, P. et al. (2011). Adaptation of landrace and variety germplasm and selection strategies for lucerne in the Mediterranean basin. *Field Crops Research*, 120(2), 283–291. doi:10.1016/j.fcr.2010.11.003 [in English].
  2. Bagavathiannan, M.V., & Van Acker, R.C. (2009). The biology and ecology of feral alfalfa (*Medicago sativa* L.) and its implications for novel trait confinement in North America. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(1–2), 69–87. DOI: 10.1080/07352680902753613 [in English].
  3. Bellague, D., M'Hammedi-Bouzina, M., & Abdelguerfi, A. (2016). Measuring the performance of perennial alfalfa with drought tolerance indices. *Chilean journal of agricultural research*, 76(3), 273–284. doi:10.4067/S0718-58392016000300003 [in English].
  4. Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11), 1159–1168. <https://doi.org/10.1071/AR05069> [in English].
  5. Blum, A. (1988). Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. ISBN 9781351075718 [in English].
  6. Bousslama, M., & Schapaugh, W.T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24(5), 933–937. doi: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x [in English].
  7. Boussen, H. et al. (2010). Evaluation of drought tolerance indices in durum wheat recombinant inbred lines. In *Proceeding of Second International Conference on Drought Management* FAO-CIHEAM, Istanbul, Turkey (pp. 4–6). <http://om.ciheam.org/om/pdf/a95/00801329.pdf> [in English].
  8. Cattivelli, L. et al. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field crops research*, 105(1–2), 1–14. doi:10.1016/j.fcr.2007.07.004 [in English].
  9. Chakherchaman, S.A., Mostafaei H., Imanparast L., & Eivazian, M.R. (2009). Evaluation of drought tolerance in lentil advanced genotypes in Ardabil region. *Journal of food, agriculture & environment (JFAE)*, 7, 283–288 [in English].
  10. Choukan, R., Taherkhani, T., Ghanadha, M. R., & Khodarahmi, M. (2006). Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 8(1), 79–89 [in English].
  11. Farshadfar, E., & Sutka, J. (2002). Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Res Commun*. Vol. 31. P. 33–40. <https://www.jstor.org/stable/23787201> [in English].
  12. Fernandez, C.J. (1992). 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. Shanhua, Taiwan, P. 257–270 [in English].
  13. Fisher, R.A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. Vol. 29, 5. P. 897–912. doi.org/10.1071/AR9780897 [in English].
  14. Gavuzzi, P. et fl. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journals of Plant Science*. Vol. 77. № 4. P. 523–531. [in English].
  15. Harrison, M.T. et al. (2014). Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. *Global change biology*, 20(3), 867–878. Doi:10.1111/gcb.12381 [in English].
  16. Hussain, S.S., Raza, H., Afzal, I., & Kayani, M.A. (2012). Transgenic plants for abiotic stress tolerance: current status. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(7), 693–721. doi:10.1080/03650340.2010.540010 [in English].
  17. Jafari, A., Farzad, P., & Jami Al-Ahmadi, M. (2009). Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal of Plant Production*, 3(4), 33–38 [in English].
  18. Koleva, M., & Dimitrova, V. (2018). Evaluation of drought tolerance in new cotton cultivars using stress tolerance indices. *AGROFOR*, 3(1), 11–17. Doi:10.7251/AGRENG1801011K [in English].
  19. Kristin, A.S. et al. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *CropSci*. 37, P. 43–50. [in English].
  20. Lan, J. (1998). Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*. Vol. 7. P. 85–87. [in English].
  21. Latrach, L., et al. (2014). Growth and nodulation of alfalfa-rhizobia symbiosis under salinity: electrolyte leakage,

- stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(3), 320–326. doi:10.3906/tar-1305-52 [in English].
22. Li, S., Wan, L., Nie, Z., & Li, X. (2020). Fractal and topological analyses and antioxidant defense systems of alfalfa (*Medicago sativa* L.) root system under drought and rehydration regimes. *Agronomy*, 10(6), 805. Doi:10.3390/agronomy10060805 [in English].
  23. Lin, C.S., & Binns, M.R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Can. J. PlantSci.* 68, P. 193–198. <https://doi.org/10.4141/cjps88-018> [in English].
  24. Mollasadeghi, V., Valizadeh, M., Shahryari, R., & Imani, A. A. (2011). Evaluation of end drought tolerance of 12 wheat genotypes by stress indices. *World Applied Sciences Journal*, 13(3), 545–551 [in English].
  25. Moosavi, S.S. et al. (2008). Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert.*, 12(2), 165–178 [in English].
  26. Rosielle, A.A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21(6), 943–946. doi:10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x [in English].
  27. Saba, J., Moghadam, M., Ghasemi, K., & Nishabouri, M.R. (2001). Genetic properties of drought resistance indices. *Journal of Agricultural Science technology*, 3, 43–49 [in English].
  28. Tyshchenko, A.V. et al. (2021). Anti-pest protection of two-year old alfalfa grown for seeds. *Селекція і насінництво – Breeding and seed production*, 119, 170–180 [in English].
  29. Tyshchenko, O. et al. (2020). 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*. 20(4), 551–562 [in English].
  30. Tyshchenko, O. et al. (2020). Evaluation of drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa*) genotypes in the conditions of osmotic stress. *AgroLife Scientific Journal*, 9(2), 353–358 [in English].
  31. Vozhehova, R. et al. (2021). Evaluation of breeding indices for drought tolerance in alfalfa (*Medicago*) genotypes. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LXIV, No. 2, P. 435–444 [in English].
  32. Vozhehova, R. et al. (2022). Economic feasibility of application of bacterial and fungal drugs on seed-used alfalfa. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 22(4), 827–834 [in English].
  33. Wang, Z., et al. (2015). Transgenic alfalfa plants expressing the sweetpotato Orange gene exhibit enhanced abiotic stress tolerance. *PLoS One*, 10(5), e0126050. [in English].
  34. Yu, L.X. (2017). 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. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1152. Doi: 10.3389/fpls.2017.01152 [in English].
  35. Zou, G.H. et al. (2007). Screening for drought resistance of rice recombinant inbred populations in the field. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49(10), 1508–1516 [in English].
  36. Vozhehova, R.A. et al. (2021). Osoblyvosti proiavu adaptyvnykh oznak u selektsiinykh populatsii liutserny pry vyroshchuvanni na nasinnia [Features of manifestation of adaptive traits in breeding populations of alfalfa when grown from seed]. *Visnyk SumNAU. Seriiia «Ahrnomiia i biolohiia» – Bulletin of SumNAU. Agronomy and Biology Series*, 2(44), 3–11. DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.2.1> [in Ukrainian].
  37. Vozhehova, R.A. et al. (2021). Otsiniuvannia posukhostiikosti selektsiinoho materialu liutserny za pokaznykamy vodnoho rezhymu v umovakh Pivdnia Ukrainy [Evaluation of drought tolerance of alfalfa breeding material based on water regime indicators in Southern Ukraine]. *Plant Varieties Studying and protection*, 17(1), 21–29. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.1.2021.228204> [in Ukrainian].
  38. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Otsinka posukhostiikosti populatsii liutserny kormovoho vykorystannia v rik sivby za matematychnymy indeksamy [Assessment of drought resistance of fodder alfalfa populations in the year of sowing by mathematical indices]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 13, 190–198. DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.28> [in Ukrainian].
  39. Vozhehova, R.A. et al. (2021). Urozhainist ta posivni yakosti nasinnia sortiv liutserny zalezho vid umov vyroshchuvannia [Yield and sowing qualities of seeds of alfalfa varieties depending on growing conditions]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 8(821), 55–63. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202108-07> [in Ukrainian].
  40. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Osoblyvosti proiavu adaptyvnykh oznak u populatsii liutserny za kormovoho vykorystannia [Peculiarities of the manifestation of adaptive traits in alfalfa populations under fodder use]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 14, 135–144. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.14.20> [in Ukrainian].
  41. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Otsinka posukhostiikosti populatsii liutserny za nasinnievoho vykorystannia v rik sivby [Assessment of drought resistance of alfalfa populations for seed use in the year of sowing]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 15, 89–96. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.14> [in Ukrainian].
  42. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Vyznachennia posukhostiikosti populatsii liutserny nasinnievoho vykorystannia za matematychnymy indeksamy [Determination of drought resistance of alfalfa populations for seed use by mathematical indices]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 1(838), 40–48. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202301-05> [in Ukrainian].
  43. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Zviazok mizh kormovoiu ta nasinnievoiu produktyvnistiu populatsii liutserny [Relationship between forage and seed productivity of alfalfa populations]. *Zroshuvane zemlerobstvo – Irrigated farming*, 78, 47–56. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.78.8> [in Ukrainian].
  44. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Nasinnieva produktyvnist populatsii liutserny druhoho roku zhyttia ta osoblyvosti proiavu u nykh adaptyvnykh oznak [Seed productivity of alfalfa populations in the second year of life and the peculiarities of the manifestation of adaptive traits in them]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 16, 94–103. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.16.15> [in Ukrainian].

45. Tyshchenko, A.V. (2015). Sorty liutsemy – nasinnieva produktyvnist ta sposoby yii pidvyshchennia [Alfalfa varieties – seed productivity and ways to increase it]. *Seed production*, 2, 7–9 [in Ukrainian].
46. Tyshchenko, A.V. et al. (2022). Nasinnieva produktyvnist liutsemy pershoho roku zhyttia zalezno vid zastosuvannia herbitsydiv [Seed productivity of alfalfa in the first year of life depending on the use of herbicides]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 11, 92–102. <https://doi.org/10.32848/ahar.innov.2022.11.12> [in Ukrainian].
47. Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O.D. & Lyuta, Yu.O. (2021). Otsinka henotypiv liutsemy za nasinnievoiu produktyvnistiu na posukhostiikist. [Evaluation of alfalfa genotypes by seed productivity for drought resistance]. *Tavriskyi naukovyi visnyk. Kherson: VD «Helvetyka» – Taurian Scientific Bulletin. Kherson: Helvetica*. 120. 155–168. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.21> [in Ukrainian].
48. Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O.D., Liuta, Yu.O. & Piliarska, O.O. (2021). Adaptivna zdavnist – vazhlyva oznaka v selektsii roslyn [Adaptability is an important feature in plant selection]. *Zroshuvane zemlerobstvo – Irrigated farming*, 75, 101–109. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.19> [in Ukrainian].
49. Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O.D., Liuta, Yu.O. & Piliarska, O.O. (2021). Osoblyvosti rozvytku populatsii liutsemy za riznykh umov vyroshchuvannia [Features of the development of alfalfa populations under different growing conditions]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy – Scientific reports of NULES of Ukraine*, [S.I.], 4(92). <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2021.04.007> [in Ukrainian].
50. Tyshchenko, A.V. et al. (2021). Shchilnist travostoju liutsemy za rokamy zhyttia ta ukosamy za riznoho volohozabezpechennia [The density of the alfalfa grass stand by years of life and slopes under different moisture conditions]. *Zroshuvane zemlerobstvo – Irrigated farming*, 76, 75–82. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.76.14> [in Ukrainian].
51. Tyshchenko, A.V. et al. (2021). Nasinnieva produktyvnist liutsemy pershoho roku zhyttia zalezno vid zakhodiv borotby zi shkidnykamy [Seed productivity of alfalfa in the first year of life depending on pest control measures]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 6, 57–67. <https://doi.org/10.32848/ahar.innov.2021.6.12> [in Ukrainian].

**Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Фундират К.С., Коновалова В.М. Посухостійкість популяцій люцерни другого року за кормового використання**

**Мета.** Провести оцінку реакції сортів популяцій люцерни другого року життя за кормового використання у різних середовищах та визначити кращі не тільки за посухостійкістю, а й за продуктивністю в умовах стресу з подальшим використанням їх в селекційному процесі. **Матеріали і методи.** Дослідження проводили в Інституті зрошуваного землеробства НААН протягом 2018–2020 рр. у польових умовах. Об'єктом вивчення були сорти та популяції люцерни при кормовому використанні за двох умов зволоження: зрошення (краплинне зрошення) та природного зволоження на травостой другого року використання. Продуктивність та посухостійкість визначали з використанням різних мате-

матичних індексів. **Результати.** Погодні умови за роки проведення досліджень різнилися як за температурним режимом, так і за кількістю та характером опадів, що дало можливість проаналізувати сорти та популяції люцерни за кормовою продуктивністю на стійкість до стресових (посушливих) умов вирощування. За більшою кількістю індексів (11), як найбільш посухостійкі були виділені популяції M.g. / П.п., LR / Н, Ram. d. Популяція Зимостійка / М.К була виділена за дев'ятьма індексами, а Сін(с). / Приморка та M.g. / ЦП-11 виділилися за сімома індексами. Індекси YI, YSI, DI, RDI, M<sub>2</sub>STI, HMP та ISR необхідно використовувати як основні для відбору популяцій на посухостійкість, натомість індекси MP, STI, GMP та MSTI можна використовувати як допоміжні. Індекс толерантності до стресу M<sub>2</sub>STI обумовлений спрямованістю до відбору популяцій, вирощених за кращих умов, як і індекс абіотичної толерантності (ATI). Індекси SSI, TOL та SSPI можна використовувати для відбору посухостійких популяцій, якщо їх значення прагнуть до нуля та популяцій, що добре відгукуються на покращення умов зволоження, якщо ці показники прагнуть до максимуму. За результатами GGE біплот-аналізу на травостой другого року життя були виділені більш стійкі до посухи популяції: G4 – M.g. / П.п., G6 – LR / Н, G12 – Ram. d. та G16 – Зимостійка / М.К. За кластерного аналізу 24 популяції люцерни були розподілені на три кластери: в перший кластер об'єдналися на відстані 175 дев'ять найбільш не стійких до посухи популяцій, в другий кластер об'єдналися на відстані 123 шість найбільш посухостійкі та в третій кластер об'єдналися на відстані 145 дев'ять популяції середньої посухостійкості. **Висновки.** Відібрані основні індекси SSI, TOL, SSPI, YI, YSI, DI, RDI, M<sub>2</sub>STI, HMP та ISR для відбору популяцій на посухостійкість. За індексами посухостійкості та біплот-аналізом, як найбільш посухостійкі виділені популяції M.g. / П.п., LR / Н, Ram. d., Зимостійка / М.К, Сін(с). / Приморка та M.g. / ЦП-11.

**Ключові слова:** люцерна, кормова продуктивність, посухостійкість, математичні індекси, біплот-аналіз, кластерний аналіз.

**Vozhehova R.A., Tyshchenko A.V., Tyshchenko O.D., Piliarska O.O., Fundirat K.S., Konovalova V.M. Drought resistance of alfalfa populations in the second year for fodder use**

**Purpose.** To evaluate the response of alfalfa populations of the second year of life to fodder use in 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 selection process. **Materials and methods.** The research was conducted at the Institute of Irrigated Agriculture of the NAAS, during 2018–2020 in field conditions. The object of study was alfalfa varieties and populations when used for fodder under two conditions of irrigation: irrigation (drip irrigation) and natural irrigation on the grass stalk of the second year of use. Productivity and drought resistance were determined using different mathematical indices. **The results.** Weather conditions during the years of research varied both in temperature and in the amount and nature of precipitation, which made it possible to analyze varieties and populations of alfalfa in terms of fodder productivity for resistance to stressful (dry) growing conditions. According to a larger number of indices (11), the most drought-resistant populations of M.g. / P.p., LR / H, Ram. d. The population Zymostoiyka / M.K. was

selected according to nine indices, and Sin(s) / Prymorka and M.g. / CP-11 stood out according to seven indices. The indices YI, YSI, DI, RDI, M<sub>2</sub>STI, HMP and ISR should be used as the main ones for selecting populations for drought resistance, instead the indices MR, STI, GMP and MSTI can be used as auxiliary ones. The stress tolerance index M<sub>2</sub>STI is due to the selection of populations grown under the best conditions, as is the abiotic tolerance index (ATI). SSI, TOL, and SSPI indices can be used to select drought-resistant populations if their values tend to zero and populations that respond well to improved moisture conditions if these values tend to the maximum. According to the results of the GGE biplot analysis, the more drought-resistant populations were isolated on the second-year grass: G4 – M.g. / P.p., G6 – LR / H, G12 – Ram. d. and G16 – Zymostoiyka / M.K. According to the

cluster analysis, 24 alfalfa populations were divided into three clusters: the nine most drought-resistant populations were united at a distance of 175 in the first cluster, the six most drought-resistant ones were united at a distance of 123 in the second cluster, and the third cluster were united at a distance of 145, nine populations of medium drought resistance. **Conclusions.** The main indices SSI, TOL, SSPI, YI, YSI, DI, RDI, M<sub>2</sub>STI, HMP and ISR were selected for selection of populations for drought tolerance. According to drought resistance indices and biplot analysis, as the most drought-resistant isolated populations of M.g. / P.p., LR / H, Ram. d., Zymostiyka / M.K, Sin(s) / Prymorka and M.g. / CP-11.

**Key words:** alfalfa, fodder productivity, drought resistance, mathematical indices, biplot analysis, cluster analysis.