

РЕАКЦІЯ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКА СЕРЕДНЬОПІЗНЬОЇ ГРУПИ СТИГЛОСТІ НА РІЗНІ УМОВИ ЗВОЛОЖЕННЯ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

ТИЩЕНКО А.В. – доктор сільськогосподарських наук, старший дослідник
orcid.org/0000-0003-1918-6223

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

СТЕПАНОВ С.С. – аспірант
orcid.org/0009-0001-8327-8870

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

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

КОНОВАЛОВА В.М. – PhD (доктор філософії)
orcid.org/0000-0002-0655-9214

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

ОЧКАЛА О.С. – PhD (Doctor of Philosophy)
orcid.org/0000-0002-1609-5679

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

Соняшник (*Helianthus annuus*) – одна з найважливіших олійних культур у світі [12] та протягом останніх кількох десятиліть площі та виробництво соняшнику зросло через його нейтральність довжини дня, ширшу адаптивність та чутливість до додаткових ресурсів [15]. Виробництво та переробка насіння олійних культур в Україні є найбільш перспективним напрямом аграрно-продовольчого сектора. У структурі загальних посівних площ у 2021 р. соняшником було зайнято 6,51 млн га. Завдяки специфічній будові основних органів (корінь, стебло, листя, качан) соняшник успішно вирощується на маргінальних ґрунтах і в напівпосушливих умовах і є стійким до абіотичних стресів [28].

Незважаючи на те, що соняшник класифікується як культура, стійка до посухи [26], його виробництво суттєво страждає від впливу водного стресу. Обмежена кількість опадів або нестача води для поливу протягом вегетаційного періоду обмежує врожайність соняшнику зі значним скороченням [13].

В останні десятиліття спостерігаються зміни клімату, так зване «глобальне потепління», внаслідок якого відбувається підвищення температурного режиму, частішають посушливі періоди та збільшується їх тривалість [17, 37, 38, 40], що призводить до значних коливань урожайності сільськогосподарських культур як у просторі, так і в часі [1, 16, 18, 34]. Підвищення температури в сільськогосподарських регіонах світу значно впливає на кількість опадів і їх перерозподіл протягом вегетаційного періоду, що призводить до значного зниження врожайності сільськогосподарських культур [6, 30, 39, 41]. Посушливі умови є одним з основних абіотичних стрес-чинників, які спричиняють серйозні проблеми у всьому світі і призводять до значного зниження врожайності сільськогосподарських культур [4, 22,

36]. Однак, проблема, пов'язана з дефіцитом води, не є непереборною. Фактично, негативні наслідки посухи можна подолати шляхом виявлення та використання стійких до посухи сортів та гібридів [42, 47].

Тому, зусилля селекціонерів необхідно направити на створення не тільки високопродуктивних сортів і гібридів, а й тих, що забезпечують стійкість урожаю в різних агрокліматичних умовах [29, 44, 45]. На сьогодні вченими вже досліджено агрономічні та фізіологічні механізми, що відповідають за стабільність урожаю [19, 25, 43, 46]. Отже, різні сорти і гібриди можуть демонструвати контрастні реакції на умови довкілля внаслідок їхньої взаємодії [31, 35, 49].

Метою досліджень було вивчення і аналіз екологічної стійкості та адаптивної здатності до дефіциту вологи середньопізніх гібридів соняшника в умовах Півдня України.

Матеріали і методи досліджень. Реакцію гібридів соняшника на різні умови вирощування вивчали в ТОВ «Агропроект Юг» у с. Подовка, Херсонська область (46°39'25»N; 33°48'54»E; 39 м над рівнем моря) протягом 2020–2021 рр.

Вивчали 10 гібридів соняшника середньопізньої групи, що зазвичай вирощуються на півдні України та занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Гібриди були протестовані на ділянках площею 50 м² у трьох повтореннях методом рендомізованих повторень (блоків), норма висіву була скоригована до 55 тисяч життєздатного насіння на га. Дослідження проводилися за загальноприйнятою методикою, кількість хімічних обробок була скоригована відповідно до умов вирощування та наявності бур'янів, хвороб і шкідників. Досліджувані зразки були посіяні у другій декаді квітня, а збирання врожаю – у кінці вересня.

Дослідження проводилися на двох ділянках на про-тязі 2020–2021 рр.: Ділянка 1 – ґрунт темно-каштановий, середньо-суглинковий, залишково-слабо-солонцюватий. В орному шарі міститься 2,5% гумусу, мінерального азоту 3,3 мг в 100 г ґрунту, рухомого фосфору – 4,8 та обмінного калію 51 мг у 100 г ґрунту, рН водної витяжки 6,9–7,3, рівноважна щільність складення – 1,38 г/см³, пористість – 49,5%, водопроникність – 1,26 мм/хв. Попередники кукурудза і соя, добрива N₄₀P₂₀. Ділянка 2 – ґрунт темно-каштановий, середньо-суглинковий, залишково-слабо-солонцюватий. В орному шарі міститься 1,9% гумусу, мінерального азоту 2,4 мг в 100 г ґрунту, рухомого фосфору – 3,9 та обмінного калію 37 мг у 100 г ґрунту, рН водної витяжки 6,3–6,7, рівноважна щільність складення – 1,43 г/см³, пористість – 43,6%, водопроникність – 1,12 мм/хв. Попередники озимий ріпак і соняшник, без добрив.

Середні температури, сума опадів та відносна вологість повітря для всіх експериментальних сезонів наведені у таблиці 1 разом із середніми довгостроковими значеннями.

Статистичний аналіз. Аналіз стійкості гібридів соняшника до стресу проводили за допомогою індексів посухостійкості: *MP* – середньої врожайності [27], *D* – інтенсивності посухи [2], *SSI* – сприйнятливості до посухи [10], *TOL* – толерантності до посухи [27], *YSI* – стабільності врожаю [3], *YI* – врожайності [11, 23], *STI* – толерантності до стресу [9], *GMP* – середньої геометричної (пропорційної) врожайності [9, 20], *RDI* – відносної стійкості до посухи [10], *DI* – посухостійкості [2, 21], *SSPI* – схильності до стресу [24], *MSTI*, *M₁STI*, *M₂STI* – модифікованих індексів толерантності до стресу [8], *ATI* – абіотичної толерантності [24], *HMP* – гармонічної середньої продуктивності [5, 14, 20], *ISR* – стійкості до стресу [32, 35, 48] та індексу умов зовнішнього середовища (екологічний індекс), отриманий як середнє значення всіх сортів у *j*-му середовищі мінус загальне середнє (*Ij*), коефіцієнту регресії сорту на середовище (*b*), дисперсії відхилення від лінії регресії (*s²_{gr}*) [7], показнику стійкості до стресу (*RS*), генетичної гнучкості (*Gf*) [27], загальної гомеостатичності (*Hom*), селекційної цінності (*Sc*), коефіцієнта адаптивності (*CA*), ефектів загальної адаптаційної здатності (*GAC*), специфічної адаптаційної здатності (*SAC*), варіанси взаємодії генотипу та середовища ($\sigma^2_{(G \times E)_{gi}}$), варіанси специфічної

адаптаційної здатності ($\sigma^2_{SAC_i}$), відносної стабільності генотипу (*s_{gi}*), селекційного значення генотипу (*SVG_i*), коефіцієнта компенсації-дестабілізації генотипу (*K_{gi}*), коефіцієнта нелінійності реакції генотипу на навколишнє середовище (*I_{gi}*) [31].

Проведено кореляційний та кластерний аналізи між індексами врожайності насіння та посухостійкості і показниками адаптивності для визначення найкращих посухостійких гібридів, індексів та показників адаптивності. Аналіз головних компонентів (PCA) проводили на основі спостережень. Кореляційний, кластерний аналізи, так і PCA проводили за допомогою Microsoft Excel 2016/XLSTAT © Pro (Version 2016.02.28451, 2016, Addinsoft, Inc., Бруклін, Нью-Йорк, США), Statistica data analysis software system v.8. (Sta Stof Inc., North Melbourne, Australia) та SPSS 20.00 statistical software (SPSS/PC-20, SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Результати дослідження та їх обговорення.

Отримані експериментальні дані за інтенсивності посухи 0,455 дозволило виділити гібрид соняшника, що істотно перевищував середньогібридну за урожайністю в стресових умовах *Hysun 280* 2,295 т/га, а за умов достатнього зволоження гібриди *Hysun 280* і *Hysun 298* з урожайністю 3,090–3,404 т/га (табл. 2).

За індексами середньої врожайності *MP* (2,692), чутливості до посухи *SSI* (0,57), толерантності до посухи *TOL* (0,795), стабільності врожаю *YSI* (0,74), урожайності *YI* (153,7), толерантності до стресу *STI* (0,94), середньої геометричної урожайності *GMP* (2,66), відносної посухостійкості *RDI* (1,36), посухостійкості *DI* (1,14), схильності до стресу *SSPI* (14,50), модифікованими індексами толерантності до стресу *M₁STI*, *M₂STI* і *MSTI* (1,20; 2,23 і 2,68, відповідно), гармонійної продуктивності *HMP* (2,63) та стійкості до стресу *ISR* (34,7) був виділений гібрид *Hysun 280*.

За індексом абіотичної толерантності (*ATI*) – 0,98 був виділений гібрид *P64LP130*.

Гібрид *Hysun 280* був виділений, як найбільш посухостійкий, за п'ятнадцятьма індексами.

Індекс стресового середовища становив -0,623, а при достатньому зволоженні 0,623. Найбільшою середньою врожайністю (*Ymean*) характеризувався гібрид *Hysun 280* – 2,692 т/га (табл. 3).

Найбільшим рівнем стійкості досліджуваних гібридів до стресових умов (*RS*), а відповідно і найменшим

Таблиця 1

Погодні умови проведення досліджень

	Середньобагаторічні			2020			2021		
	Т (°C)	Р (мм)	j	Т (°C)	Р (мм)	j	Т (°C)	Р (мм)	, %
квітень	9,6	28,0	73	9,5	7,5	54	8,9	41,4	71
травень	15,6	38,0	68	14,9	32,4	66	16,9	97,7	69
червень	20,0	46,0	64	22,2	49,3	64	20,7	89,2	77
липень	22,4	42,0	59	24,7	44,2	53	25,3	76,7	62
серпень	21,6	35,0	59	23,1	36,4	51	24,4	25,3	61
вересень	16,4	28,0	67	20,4	21,5	55	16,9	1,1	61
квітень – серпень	17,8	189,0	65	18,9	169,8	58	19,2	330,3	68
квітень – вересень	17,6	217,0	65	19,1	191,3	57	18,8	331,4	67

Таблиця 2

Урожайність насіння гібридів соняшника за різних умов зволоження та індекси посухостійкості (2020, 2021 рр.)

Гібрид	Позначення	Y_{opt}	Y_{lim}	MP	SSI	TOL	YSI	YI	STI	GMP	RDI	DI	SSPI	M_1STI	M_2STI	MSTI	ATI	HMP	ISR
Артотіса	G1	2,920	1,225	2,072	1,28	1,695	0,42	82,0	0,48	1,89	0,77	0,34	30,90	0,54	0,32	0,17	1,75	1,73	3,6
Hysun 189 Su	G2	2,682	1,789	2,236	0,73	0,893	0,67	119,8	0,64	2,19	1,22	0,80	16,30	0,61	0,92	0,56	1,07	2,15	16,1
Hysun 195 IT	G3	2,971	1,486	2,228	1,10	1,485	0,50	99,5	0,59	2,10	0,92	0,50	27,10	0,69	0,58	0,40	1,70	1,98	6,0
Hysun 254	G4	2,411	1,391	1,901	0,93	1,020	0,58	93,1	0,45	1,83	1,06	0,54	18,60	0,35	0,39	0,13	1,02	1,76	7,8
Hysun 280	G5	3,090	2,295	2,692	0,57	0,795	0,74	153,7	0,94	2,66	1,36	1,14	14,50	1,20	2,23	2,68	1,15	2,63	34,7
Hysun 298	G6	3,404	1,264	2,334	1,38	2,140	0,37	84,6	0,57	2,07	0,68	0,31	39,00	0,88	0,41	0,36	2,42	1,84	3,2
F64LE136	G7	2,652	1,478	2,065	0,97	1,175	0,56	98,9	0,52	1,98	1,02	0,55	21,40	0,49	0,51	0,25	1,27	1,90	7,5
F64LP130	G8	2,443	1,508	1,975	0,84	0,935	0,62	101,0	0,49	1,92	1,13	0,62	17,10	0,39	0,50	0,20	0,98	1,86	10,3
MAS 97	G9	2,516	1,387	1,951	0,99	1,129	0,55	92,8	0,46	1,87	1,01	0,51	20,60	0,39	0,40	0,16	1,15	1,79	6,9
5 елемент HCX7256	G10	2,314	1,115	1,714	1,14	1,199	0,48	74,6	0,34	1,61	0,88	0,36	21,90	0,24	0,19	0,05	1,05	1,50	4,1
Середнє		2,740	1,494	2,117	0,99	1,246	0,55	100,0	0,55	2,01	1,01	0,57	22,70	0,58	0,64	0,50	1,35	1,91	10,0

Інтенсивність посухи, D
0,455

Інтенсивність посухи, D

V, %	12,69	22,54	12,85	24,69	33,34	20,42	22,57	29,41	13,88	20,31	43,78	33,28	49,53	91,35	157,63	34,13	15,82	94,45
$SX_{абс.}$	0,11	0,11	0,09	0,08	0,13	0,03	7,14	0,05	0,09	0,06	0,08	2,39	0,09	0,19	0,25	0,15	0,10	2,99
$SX_{віднос.}$	4,01	7,13	4,06	7,81	10,54	6,46	7,14	9,30	4,39	6,42	13,84	10,52	15,66	28,89	49,85	10,79	5,00	29,87
HIP ₀₁	0,35	0,34	0,27	0,25	0,42	0,11	22,62	0,16	0,28	0,20	0,25	7,59	0,29	0,59	0,78	0,46	0,30	9,49
HIP ₀₅	0,25	0,24	0,20	0,18	0,30	0,08	16,34	0,12	0,20	0,15	0,18	5,48	0,21	0,43	0,57	0,33	0,22	6,85

Таблиця 3

Гомеостатичність, екологічна пластичність і адаптивність гібридів соняшника за ознакою урожайності насіння (2020, 2021 рр.)

Гібрид	Позначення	Урожайність, т/га		Параметри адаптивності					
		$Y_{lim} - Y_{opt}$	Y_{mean}	RS	Sc	Gf	b_i	CA	Hom
<i>Armonica</i>	G1	1,225–2,920	2,072	1,695	0,87	2,07	1,36	97,9	7,2
<i>Hysun 189 Su</i>	G2	1,789–2,682	2,236	0,893	1,49	2,24	0,72	105,6	15,8
<i>Hysun 195 IT</i>	G3	1,486–2,971	2,228	1,485	1,11	2,23	1,19	105,3	9,5
<i>Hysun 254</i>	G4	1,391–2,411	1,901	1,020	1,10	1,90	0,82	89,8	10,0
<i>Hysun 280</i>	G5	2,295–3,090	2,692	0,795	2,00	2,69	0,64	127,2	25,8
<i>Hysun 298</i>	G6	1,264–3,404	2,334	2,140	0,87	2,33	1,72	110,2	7,2
<i>P64LE136</i>	G7	1,478–2,652	2,065	1,175	1,15	2,07	0,94	97,5	10,3
<i>P64LP130</i>	G8	1,508–2,443	1,975	0,935	1,22	1,98	0,75	93,3	11,8
<i>MAS 97</i>	G9	1,387–2,516	1,951	1,129	1,08	1,95	0,91	92,2	9,5
<i>5 елемент HCX7256</i>	G10	1,115–2,314	1,714	1,199	0,83	1,71	0,96	81,0	6,9
Середнє		1,494–2,740	2,117	1,246	1,17	2,12	1,00	100,0	11,4
V, %		22,54–12,69	12,85	33,34	29,92	12,84	33,30	12,84	50,03
$S\hat{x}_{абс.}$		0,11–0,11	0,09	0,13	0,11	0,09	0,10	4,06	1,80
$S\hat{x}_{віднос.}$		7,13–4,01	4,06	10,54	9,46	4,06	10,53	4,06	15,82
HIP ₀₁		0,34–0,35	0,27	0,42	0,35	0,27	0,33	12,88	5,72
HIP ₀₅		0,24–0,25	0,20	0,30	0,25	0,20	0,24	9,30	4,13

Таблиця 4

Параметри адаптивних властивостей гібридів соняшника за ознакою урожайності насіння (2020, 2021 рр.)

Гібрид	Позначення	Урожайність, т/га		Параметри адаптивності						
		$Y_{lim} - Y_{opt}$	Y_{mean}	GAC _i	$\sigma^2_{(G \times E)_{gi}}$	σ^2_{SACi}	s_{gi}	SVG _i	K _{gi}	I _{gi}
<i>Armonica</i>	G1	1,225–2,920	2,072	-0,04	0,011	0,160	19,3	0,65	1,85	0,070
<i>Hysun 189 Su</i>	G2	1,789–2,682	2,236	0,12	0,007	0,044	9,4	1,49	0,51	0,156
<i>Hysun 195 IT</i>	G3	1,486–2,971	2,228	0,11	0,003	0,122	15,7	0,98	1,42	0,026
<i>Hysun 254</i>	G4	1,391–2,411	1,901	-0,22	0,003	0,058	12,6	1,04	0,67	0,049
<i>Hysun 280</i>	G5	2,295–3,090	2,692	0,58	0,011	0,035	7,0	2,02	0,41	0,322
<i>Hysun 298</i>	G6	1,264–3,404	2,334	0,22	0,044	0,254	21,6	0,54	2,95	0,174
<i>P64LE136</i>	G7	1,478–2,652	2,065	-0,05	0,000	0,077	13,4	1,08	0,89	0,004
<i>P64LP130</i>	G8	1,508–2,443	1,975	-0,14	0,005	0,049	11,2	1,19	0,56	0,111
<i>MAS 97</i>	G9	1,387–2,516	1,951	-0,17	0,001	0,071	13,6	1,00	0,82	0,011
<i>5 елемент HCX7256</i>	G10	1,115–2,314	1,714	-0,40	0,000	0,080	16,5	0,71	0,93	0,001
Середнє		1,494–2,740	2,117	0,00	0,009	0,095	14,0	1,07	1,10	0,092
V, %		22,54–12,69	12,85	27331	146,94	71,09	31,47	40,55	71,26	110,22
$S\hat{x}_{абс.}$		0,11–0,11	0,09	0,09	0,004	0,02	1,40	0,14	0,25	0,03
$S\hat{x}_{віднос.}$		7,13–4,01	4,06	8643	46,47	22,48	9,95	12,82	22,53	34,86
HIP ₀₁		0,34–0,35	0,27	0,27	0,012	0,07	4,43	0,43	0,79	0,10
HIP ₀₅		0,24–0,25	0,20	0,20	0,009	0,05	3,20	0,31	0,57	0,07

значенням характеризувався *Hysun 280* – 0,795. Гібрид *Hysun 298* зі значенням 2,140 виявився найбільш нестійким до стресових умов.

За селекційною цінністю (Sc) – 2,00, генетичною гнучкістю (Gf) – 2,69, коефіцієнтом адаптивності (CA) – 127,2 та гомеостатичністю (Hom) – 25,8 виділений гібрид *Hysun 280*.

За коефіцієнтом регресії (b_i), що є критерієм оцінки рівня екологічної пластичності і вказує на реакцію генотипу на зміну умов середовища, виділений гібрид інтен-

сивного типу ($b_i > 1$) *Hysun 298* – 1,72, стабільного типу ($b_i < 1$) *Hysun 280* – 0,64. Якщо $b_i = 1$, то гібрид добре адаптований до різноманітних умов вирощування, наближеними до таких гібридів є *5 елемент HCX7256* – 0,96 та *P64LE136* – 0,94.

Найвищим ефектом загальної адаптивної здатності (GAC_i) відзначився гібрид *Hysun 280* – 0,58, найменшим значенням – *5 елемент HCX7256* – -0,40 (табл. 4).

Стабільність реакції генотипу на зміни умов середовища за продуктивністю визначається величиною

Таблиця 5
Матриця кореляційних зв'язків між урожайністю насіння гібридів соняшника за різних умов зволоження та індексами посухостійкості (2020, 2021 рр.)

	Y_{opt}	Y_{lim}	MP	SSI	TOL	YSI	YI	STI	GMP	RDI	DI	SSPI	M_1STI	M_2STI	MSTI	ATI	HMP	ISR
Y_{opt}	1,000	0,263	0,802	0,269	0,624	-0,275	0,263	0,603	0,625	-0,267	0,072	0,623	0,848	0,378	0,443	0,834	0,466	0,195
Y_{lim}	0,263	1,000	0,787	-0,853	-0,590	0,850	1,000	0,926	0,917	0,856	0,980	-0,591	0,712	0,962	0,899	-0,310	0,975	0,967
MP	0,802	0,787	1,000	-0,356	0,033	0,350	0,787	0,959	0,967	0,359	0,652	0,032	0,983	0,837	0,840	0,341	0,902	0,723
SSI	0,269	-0,853	-0,356	1,000	0,917	-1,000	-0,853	-0,594	-0,578	-1,000	-0,934	0,917	-0,249	-0,737	-0,630	0,744	-0,720	-0,845
TOL	0,624	-0,590	0,033	0,917	1,000	-0,919	-0,590	-0,245	-0,220	-0,916	-0,734	1,000	0,133	-0,463	-0,358	0,948	-0,400	-0,621
YSI	-0,275	0,850	0,350	-1,000	-0,919	1,000	0,850	0,588	0,573	1,000	0,931	-0,919	0,242	0,731	0,623	-0,748	0,716	0,840
YI	0,263	1,000	0,787	-0,853	-0,590	0,850	1,000	0,926	0,917	0,856	0,979	-0,591	0,712	0,962	0,899	-0,309	0,975	0,967
STI	0,603	0,926	0,959	-0,594	-0,245	0,588	0,926	1,000	0,997	0,597	0,836	-0,246	0,923	0,953	0,934	0,064	0,983	0,884
GMP	0,625	0,917	0,967	-0,578	-0,220	0,573	0,917	0,997	1,000	0,581	0,820	-0,221	0,924	0,931	0,905	0,095	0,982	0,857
RDI	-0,267	0,856	0,359	-1,000	-0,916	1,000	0,856	0,597	0,581	1,000	0,936	-0,917	0,253	0,741	0,635	-0,743	0,723	0,848
DI	0,072	0,980	0,652	-0,934	-0,734	0,931	0,979	0,836	0,820	0,936	1,000	-0,734	0,572	0,927	0,854	-0,488	0,910	0,972
SSPI	0,623	-0,591	0,032	0,917	1,000	-0,919	-0,591	-0,246	-0,221	-0,917	-0,734	1,000	0,132	-0,464	-0,359	0,948	-0,401	-0,622
M_1STI	0,848	0,712	0,983	-0,249	0,133	0,242	0,712	0,923	0,924	0,253	0,572	0,132	1,000	0,807	0,842	0,423	0,839	0,678
M_2STI	0,378	0,962	0,837	-0,737	-0,463	0,731	0,962	0,953	0,931	0,741	0,927	-0,464	0,807	1,000	0,984	-0,189	0,959	0,978
MSTI	0,443	0,899	0,840	-0,630	-0,358	0,623	0,899	0,934	0,905	0,635	0,854	-0,359	0,842	0,984	1,000	-0,096	0,912	0,942
ATI	0,834	-0,310	0,341	0,744	0,948	-0,748	-0,309	0,064	0,095	-0,743	-0,488	0,948	0,423	-0,189	-0,096	1,000	-0,094	-0,372
HMP	0,466	0,975	0,902	-0,720	-0,400	0,716	0,975	0,983	0,982	0,723	0,910	-0,401	0,839	0,959	0,912	-0,094	1,000	0,920
ISR	0,195	0,967	0,723	-0,845	-0,621	0,840	0,967	0,884	0,857	0,848	0,972	-0,622	0,678	0,978	0,942	-0,372	0,920	1,000

* – Confidence interval (%): 95

Таблиця 6

Матриця кореляційних зв'язків між максимальною і мінімальною урожайністю насіння гібридів соняшника та гомеостатичністю, екологічною пластичністю і параметрами адаптивності (2020, 2021 рр.)

	Y_{opt}	Y_{lim}	Y_{mean}	b_i	RS	Sc	Gf	CA	Hom	GAC _i	$\sigma^2_{(G \times E)ij}$	σ^2_{SACi}	s_{gi}	SVG _i	K_{gi}	I_{gi}
Y_{opt}	1,000	0,263	0,802	0,626	0,624	0,164	0,798	0,802	0,201	0,803	0,794	0,684	0,331	0,002	0,686	0,581
Y_{lim}	0,263	1,000	0,787	-0,588	-0,590	0,994	0,791	0,788	0,985	0,786	-0,064	-0,516	-0,818	0,965	-0,514	0,778
Y_{mean}	0,802	0,787	1,000	0,036	0,033	0,720	1,000	1,000	0,738	1,000	0,468	0,118	-0,294	0,599	0,121	0,853
b_i	0,626	-0,588	0,036	1,000	1,000	-0,666	0,030	0,035	-0,628	0,038	0,720	0,991	0,939	-0,779	0,991	-0,141
RS	0,624	-0,590	0,033	1,000	1,000	-0,668	0,028	0,033	-0,630	0,036	0,717	0,991	0,940	-0,781	0,991	-0,144
Sc	0,164	0,994	0,720	-0,666	-0,668	1,000	0,724	0,721	0,991	0,719	-0,134	-0,596	-0,868	0,986	-0,594	0,751
Gf	0,798	0,791	1,000	0,030	0,028	0,724	1,000	1,000	0,740	1,000	0,463	0,112	-0,301	0,603	0,115	0,851
CA	0,802	0,788	1,000	0,035	0,033	0,721	1,000	1,000	0,738	1,000	0,467	0,117	-0,295	0,599	0,120	0,853
Hom	0,201	0,985	0,738	-0,628	-0,630	0,991	0,740	0,738	1,000	0,737	-0,077	-0,552	-0,827	0,966	-0,550	0,802
GAC _i	0,803	0,786	1,000	0,038	0,036	0,719	1,000	1,000	0,737	1,000	0,470	0,120	-0,292	0,597	0,123	0,855
$\sigma^2_{(G \times E)ij}$	0,794	-0,064	0,468	0,720	0,717	-0,134	0,463	0,467	-0,077	0,470	1,000	0,804	0,513	-0,281	0,805	0,499
σ^2_{SACi}	0,684	-0,516	0,118	0,939	0,940	-0,868	0,112	0,117	-0,552	0,120	0,804	1,000	0,901	-0,720	1,000	-0,026
s_{gi}	0,331	-0,818	-0,294	-0,779	0,991	0,986	-0,301	-0,295	-0,827	-0,292	0,513	0,901	1,000	-0,937	0,900	-0,407
SVG _i	0,002	0,965	0,599	-0,779	-0,781	0,986	0,603	0,599	0,966	0,597	-0,281	-0,720	-0,937	1,000	-0,718	0,649
K_{gi}	0,686	-0,514	0,121	0,991	0,991	-0,594	0,115	0,120	-0,550	0,123	0,805	1,000	0,900	-0,718	1,000	-0,024
I_{gi}	0,581	0,778	0,853	-0,141	-0,144	0,751	0,851	0,853	0,802	0,855	0,499	-0,026	-0,407	0,649	-0,024	1,000

* - Confidence interval (%): 95

варіанси ($\sigma^2_{SAC_i}$), встановлені найбільш стабільний гібрид *Hysun 280* – 0,035. Гібрид *Hysun 298* – 0,254 є нестабільним.

За показником відносної стабільності генотипу (s_{g_i}), з найменшими його значеннями, був виділений гібрид *Hysun 280* – 7,0 та *Hysun 189 Su* – 9,4, а за селекційною цінністю генотипу (SVG_i) – *Hysun 280* – 2,02.

Ефектом дестабілізації ($K_{g_i} > 1$) характеризувалися три гібрида з найбільшим значенням 2,95 у *Hysun 298*, натомість компенсуючим ефектом володіли сім гібридів з найменшим значенням 0,41 у *Hysun 280*.

Між врожайністю за різних умов зволоження має місце низька залежність $r = 0,263$. Урожайність за обох умов характеризувалася високою залежністю з MP (Y_{mean}) ($r = 0,787-0,802$), M_1STI ($r = 0,712-0,848$), Gf ($r = 0,791-0,798$), CA ($r = 0,788-0,802$) та GAC ($r = 0,786-0,803$). Урожайність за стресових умов характеризувалася високою прямою залежністю з індексами YSI , YI , STI , GMP , RDI , DI , M_2STI , $MSTI$, HMP та ISR ($r = 0,850-1,000$), показниками адаптивності Sc , Hom і SVG_i ($r = 0,965-0,994$), а з індексом SSI та відносною стабільністю генотипу (s_{g_i}) високою зворотною $r = -0,818-0,853$, натомість з урожайністю за оптимальних умов зволоження залежність або відсутня (SSI , YSI , YI , RDI , DI , ISR , Sc , Hom і SVG_i), або середня (STI , GMP , $MSTI$, M_2STI , HMP та s_{g_i}). Урожайність за оптимальних умов мала високу кореляцію з ATI ($r = 0,834$), натомість з врожайністю при стресі – середня зворотна $r = -0,310$ (табл. 5 і 6).

Індекси TOL і $SSPI$ та параметри адаптивності b_i , RS , $\sigma^2_{SAC_i}$ і K_{g_i} характеризувалися середньою прямою залежністю з врожайністю за оптимальних умов ($r = 0,623-0,686$), проте з врожайністю за лімітуючих умов – середньою зворотною ($r = -0,516-0,590$), тобто ці показники класифікують гібриди на стабільні та інтенсивні по відношенню до дефіциту вологи.

За результатами GGE біплот-аналізу гібриди соняшника *Hysun 189 Su* (G2) і *Hysun 280* (G5), що знаходяться в одній чверті з вектором урожайності при стресі (Y_{lim}) та наближені до його вершини, формують високу урожайність за стресових умов зволоження і їх можна віднести до стабільних по відношенню до вологи гібридів (рис. 1).

Гібриди соняшника *Hysun 195 IT* (G3) і *Hysun 298* (G6), що знаходяться в одній чверті з вектором урожайності за кращих умов зволоження (Y_{opt}) та максимально наближений до його вершини характеризуються високою продуктивністю за достатнього вологозабезпечення і їх можна характеризувати як гібриди інтенсивного типу по відношенню до вологи.

Гібриди соняшника *P64LE136* (G7), *MAS 97* (G9) і *5 елемент HCX7256* (G10), що знаходяться між векторами умов середовища та наближені до осі абсцис, формують високу урожайність за обох умов зволоження. Ці гібриди можна віднести до пластичних, що добре пристосовані до різних умов зволоження.

За агломеративним ієрархічним кластерним аналізом середньостиглі гібриди соняшника були поділені на три кластера по відношенню до посухи (рис. 2).

Найбільш посухостійким виявився гібрид G5 – *Hysun 280*, що утворив кластер 5. Гібриди G1 – *Armonica*, G3 – *Hysun 195 IT* і G6 – *Hysun 298* утворили 2 кластер з високою продуктивністю за достатнього зволоження. Останні шість гібридів об'єдналися у 1 кластер.

Також був проведений кластерний аналіз гібридів соняшника методом k-середніх. До 1 кластера увійшли три нестійких до посухи гібридів G1 – *Armonica*, G3 – *Hysun 195 IT* і G6 – *Hysun 298*. Найменша відстань до центру кластера спостерігалася у гібрида G1 – *Armonica* на рівні 0,204, натомість найбільша 0,312 у гібрида G6 – *Hysun 298* (табл. 7).

До 2 кластера увійшли два гібрида *Hysun 189 Su* (G2) і *Hysun 280* (G5) з найвищою толерантністю до посухи.

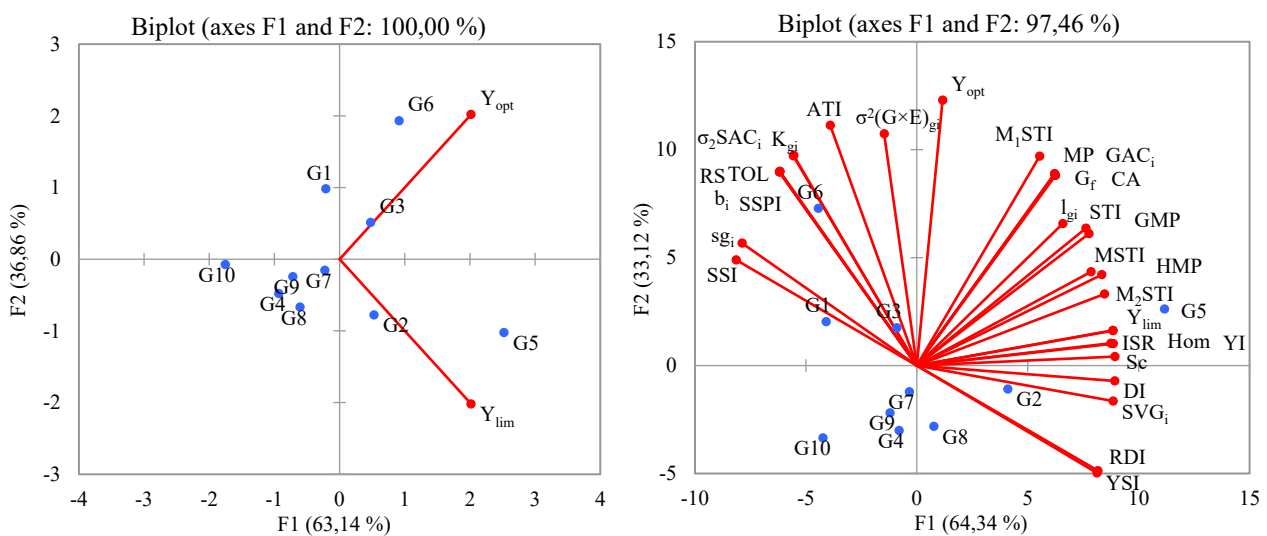


Рис. 1. Генотип-середовищна взаємодія гібридів соняшника і середовищ (метод біплот-аналіз). Лініями показані власні вектори провідних факторних навантажень для середовищ: ● – умови зволоження; ● – гібриди

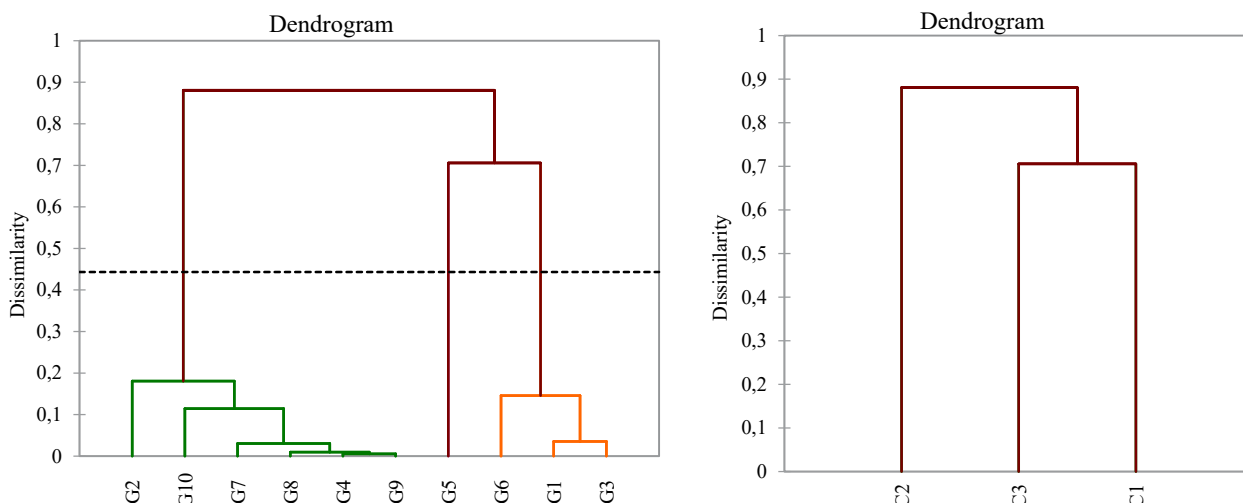


Рис. 2. Дендрограма кластеризації десяти гібридів соняшника за посухостійкістю

Таблиця 7

Кластеризація десяти гібридів соняшника за посухостійкістю методом k-середніх і агломеративного ієрархічного кластерного аналізу

Гібрид	Позначення	Кластеризація k-середніх		Агломеративна ієрархічна кластеризація
		Кластер	Відстань до центру кластера	Кластер
<i>Armonica</i>	G1	1	0,204	1
<i>Hysun 189 Su</i>	G2	2	0,325	2
<i>Hysun 195 IT</i>	G3	1	0,205	1
<i>Hysun 254</i>	G4	3	0,058	2
<i>Hysun 280</i>	G5	2	0,325	3
<i>Hysun 298</i>	G6	1	0,312	1
<i>P64LE136</i>	G7	3	0,211	2
<i>P64LP130</i>	G8	3	0,134	2
<i>MAS 97</i>	G9	3	0,050	2
<i>5 елемент HCX7256</i>	G10	3	0,302	2

До 3 кластера увійшли п'ять гібридів з середньою стійкістю до посухи. Найменша відстань до центру кластера спостерігалася у гібрида G9 – *MAS 97* на рівні 0,050, натомість найбільша 0,302 у гібрида G10 – *5 елемент HCX7256*.

Висновки. Виділені індекси *SSI, YSI, YI, STI, GMP, RDI, DI, M₂STI, MSTI, HMP, ISR* та показниками адаптивності *Sc, Hom, s_{gi}* і *SVG_p*, що найбільш повно характеризують стійкість гібридів соняшника до посухи. Індекси *TOL* і *SSPI* та показники адаптивності *RS, b_p, σ²_{SACi}* і *K_{gi}* розділяють гібриди на інтенсивні та стабільні за їх реакцією на стрес дефіциту вологи.

За індексами посухостійкості, показниками адаптивності до посухи та біплот-аналізом, як найбільш посухостійкими виділений гібрид *Hysun 280*, гібриди *P64LE136* і *5 елемент HCX7256* виділені як пластичні, а гібрид *Hysun 298* як найбільш нестійкий до посухи, або гібрид інтенсивного типу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Anderson W.K., Brennan R.F., Jayasena K.W., Micic S., Moore J.H., Nordblom T. Tactical crop management for improved productivity in winter-dominant rainfall regions: a review. *Crop & Pasture Science*. 2020, Vol. 71, P. 621–644. <https://doi.org/10.1071/CP19315>
- Blum A. Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 1988
- Bousslama 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
- Ceglar A., Toreti A., Lecerf R., Van der Velde M., Dentener F. Impact of meteorological drivers on regional inter-annual crop yield variability in France. *Agric. For. Meteorol.* 2016, Vol. 216, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.10.004>

5. Chakherchaman S.A., Mostafaei H., Imanparast L. and 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
6. Chawade A., Armoniené R., Berg G., Brazauskas G., Frostgård G., Geleta M., Gorash A., Henriksson T., Himanen K., Ingver A. A transnational and holistic breeding approach is needed for sustainable wheat production in the Baltic Sea region. *Physiol. Plant*. 2018, Vol. 164, 442–451. <https://doi.org/10.1111/ppl.12726>
7. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sc.* 1966. Vol. 6. № 1. P. 36–40.
8. 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>
9. 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. Shanhu, Taiwan, 1992. P. 257–270.
10. 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
11. 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.
12. González-Alonso A., Ramírez-Tortosa C., Varela-López A., Roche E., Arribas M. et al. Sunflower Oil but Not Fish Oil Resembles Positive Effects of Virgin Olive Oil on Aged Pancreas after Life-Long Coenzyme Q Addition. *Int. J. Mol. Sci*. 2015. Vol. 16. P. 23425–23445
13. Iqbal N., Ashraf M., Ashraf M.Y. and Azam F. Effect of exogenous application of glycinebetaine on capitulum size and achene number of sunflower under water stress. *International Journal of Biology and Biotechnology*. 2005. Vol. 2, Issue 3. P. 765-771.
14. 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.
15. Khatun M., Hossain T.M., Miah M.M., Khandoker S., Rashid M.A. Profitability of sunflower cultivation in some selected sites of Bangladesh. *Bangladesh J. Agric. Res*. 2016. Vol. 41. P. 599–623.
16. Konovalova V.M., Tyshchenko A.V., Bazalii H.G., Fundirat K.S., Tyshchenko O.D. et al. Analysis of winter wheat varieties for drought resistance in the conditions of the Steppe of Ukraine (Part 2 – drought years). *Аграрні інновації*. 2023. № 20. С. 82–92. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.20.13>
17. Konovalova V.M., Tyshchenko A.V., Bazalii H.G., Fundirat K.S., Tyshchenko O.D., Reznichenko N.D., Konovalov V.O., Ochkala O.S. Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine (part 2 – drought years). *Аграрні інновації*. 2023. № 21. С. 154–164. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.23>
18. Konovalova V.M., Tyshchenko A.V., Bazalii H.G., Fundirat K.S., Tyshchenko O.D., Reznichenko N.D., Konovalov V.O. Analysis of winter wheat varieties for drought resistance in the conditions of the Steppe of Ukraine (Part 3 – years with different moisture supply). *Аграрні інновації*. 2023. № 22. С. 132–143. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.22.21>
19. Konovalova V.M., Tyshchenko A.V., Bazalii H.H., Fundirat K.S., Tyshchenko O.D., et al. Analysis of winter wheat varieties for drought resistance in the conditions of the Steppe of Ukraine (part 1 – years with sufficient moisture). *Аграрні інновації*. 2023. № 19. С. 140–150. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.22>
20. Kristin A.S., Serna R.R., Perez F.I., Enriquez B.C., Gallegos J.A.A., et al. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Sci*. 1997. Vol. 37. P. 43-50.
21. Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*. 1998. Vol. 7. P. 85–87.
22. Lavrynenko Y., Tyshchenko A., Bazalii H., Konovalova V., Zhupyna A., et al. Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of Southern Ukraine. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LXVI, No. 2, 2023. P. 294–301. ISSN 2285-5785
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. 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.
25. Ojha A. & Ojha B.R. Assessment of Morpho-Physiological, Yield and Yield Attributing Traits Related to Post Anthesis Drought in Wheat Genotypes Under Rainfed Condition in Rampur, Chitwan. *Int. J. Appl. Sci. Biotechnol*. 2020, Vol. 8, Issue 3, P. 323-335. DOI: 10.3126/ijasbt.v8i3.31609
26. Rauf S. Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance, *Commun. Biom. Crop Sci.*, 2008, Vol. 3, P. 29-44
27. 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](https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x)
28. Škorić D. Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia*. 2009. Vol. 32(50). P. 1-16.
29. Subira J., Álvaro F., del Moral L.F.G., & Royo C. Breeding effects on the cultivar × environment interaction of durum wheat yield. *European Journal of Agronomy*, 2015, Vol. 68, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.04.009>
30. Team B.A. Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. In *Regional Climate Studies*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015, Vol. 6, pp. 131–144.
31. Tyshchenko A.V., Konovalova V.M., Bazalii H.H., Fundirat K.S., Tyshchenko O.D. et al. Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine (part 1 – years with sufficient moisture). *Аграрні інновації*. 2023. № 19. С. 190–200. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.29>
32. Tyshchenko A.V., Tyshchenko O.D., Konovalova V.M., Fundirat K.S., Piliarska O.O. Methods of determining the drought resistance of plants. *Scientific Collection*

- «InterConf+», 33(155): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Modern Knowledge: Research and Discoveries» (May 19-20, 2023; Vancouver, Canada) by the SPC «InterConf». A.T. International, 2023. P. 343-361. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.030>
33. Tyshchenko A.V., Tyshchenko O.D., Konovalova V.M., Fundirat K.S., Piliarska O.O. Methods of determining the adaptability and ecological stability of plants. *Scientific Collection «InterConf+»*, 33(155): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Modern Knowledge: Research and Discoveries» (May 19-20, 2023; Vancouver, Canada) by the SPC «InterConf». A.T. International, 2023. P. 324-342. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.029>
34. 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. Vol. 9, No. 2, P. 353-358. ISSN 2285-5718
35. 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.
36. Yuyi Zhou, Rui He, Yuling Guo, Keke Liu, Guanmin Huang et al. A novel ABA functional analogue B2 enhances drought tolerance in wheat. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. P. 2887. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39013-8>
37. 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. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.2.1>
38. 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>
39. 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/agra.innov.2022.13.28>
40. 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 адаптивних ознак. *Аграрні інновації*. 2022. № 16. С. 94–103. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2022.16.15>
41. 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. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2022.14.20>
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. Посухостійкість популяцій люцерни другого року за кормового використання. *Аграрні інновації*. 2023. № 17. С. 25–36. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.17.4>
44. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Фундират К.С., Коновалова В.М. Формування стійкості рослин насінневої люцерни в умовах різного екологічного градієнта. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 3 (840). С. 53–62. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303-08>
45. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Пілярська О.О., Фундират К.С., Гальченко Н.М. Оцінка посухостійкості популяцій люцерни за насінневого використання в рік сівби. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 89–96. DOI <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2022.15.14>
46. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Фундират К.С., Коновалова В.М. Адаптивні ознаки та їх прояв у популяції люцерни другого року за кормового використання. *Аграрні інновації*. 2023. № 18. С. 143–155. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.18.20>
47. Тищенко А.В., Степанов С.С., Тищенко О.Д., Коновалова В.М., Очкала О.С. Реакція гібридів соняшника ранньої групи стиглості на дефіцит вологи в умовах Степу України. *Аграрні інновації*. 2023. № 22. С. 162–174. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.22.25>
48. Тищенко А.В., Тищенко О.Д., Люта Ю.О. Оцінка генотипів люцерни за насінневою продуктивністю на посухостійкість. *Таєрський науковий вісник*. Херсон: ВД «Гельветика», 2021. № 120. С. 155–168. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.21>
49. 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. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.19>

REFERENCES:

- Anderson, W.K., Brennan, R.F., Jayasena, K.W., Micic, S., Moore, J.H. & Nordblom, T. (2020). Tactical crop management for improved productivity in winter-dominant rainfall regions: a review. *Crop & Pasture Science*, 71, 621–644. <https://doi.org/10.1071/CP19315>
- Blum, A. (1988). *Plant breeding for stress environments*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. ISBN 9781351075718.
- 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
- Ceglar, A. et al. (2016). Impact of meteorological drivers on regional inter-annual crop yield variability in France. *Agric. For. Meteorol.*, 216, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.10.004>
- 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.
6. Chawade, A. et al. (2018). A transnational and holistic breeding approach is needed for sustainable wheat production in the Baltic Sea region. *Physiol. Plant*, 164, 442–451. <https://doi.org/10.1111/ppl.12726>
 7. Eberhart, S.A & Russell, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sc.*, 6(1), 36–40.
 8. Farshadfar, E., & Sutka, J. (2002). Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Res Commun.*, 31, 33–40. <https://www.jstor.org/stable/23787201>
 9. 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.
 10. Fisher, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research.*, 29(5), 897–912. doi.org/10.1071/AR9780897
 11. Gavuzzi, P. et al. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journals of Plant Science*, 77(4), 523–531.
 12. González-Alonso, A., Ramírez-Tortosa, C., Varela-López, A., Roche, E., Arribas, M. et al. (2015). Sunflower Oil but Not Fish Oil Resembles Positive Effects of Virgin Olive Oil on Aged Pancreas after Life-Long Coenzyme Q Addition. *Int. J. Mol. Sci.*, 16, 23425–23445
 13. Iqbal, N., Ashraf, M., Ashraf, M.Y. & Azam, F. (2005). Effect of exogenous application of glycinebetaine on capitulum size and achene number of sunflower under water stress. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 2(3), 765-771.
 14. 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.
 15. Khatun, M., Hossain, T.M., Miah, M.M., Khandoker, S. & Rashid M.A. (2016). Profitability of sunflower cultivation in some selected sites of Bangladesh. *Bangladesh J. Agric. Res.*, 41, 599–623.
 16. Konovalova, V.M., Tyshchenko, A.V., Bazalii, H.G., Fundirat, K.S., Tyshchenko, O.D. et al. (2023). Analysis of winter wheat varieties for drought resistance in the conditions of the Steppe of Ukraine (Part 2 – drought years). *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 20, 82–92. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.20.13>
 17. Konovalova, V.M., Tyshchenko, A.V., Bazalii, H.G., Fundirat, K.S., Tyshchenko, O.D. et al. (2023). Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine (part 2 – drought years). *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 21, 154–164. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.21.23>
 18. Konovalova, V.M., Tyshchenko, A.V., Bazalii, H.G., Fundirat, K.S., Tyshchenko, O.D. et al. (2023). Analysis of winter wheat varieties for drought resistance in the conditions of the Steppe of Ukraine (Part 3 – years with different moisture supply). *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, № 22, 132–143. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.22.21>
 19. Konovalova, V.M., Tyshchenko, A.V., Bazalii, H.H., Fundirat, K.S., Tyshchenko, O.D. et al. (2023) Analysis of winter wheat varieties for drought resistance in the conditions of the Steppe of Ukraine (part 1 – years with sufficient moisture). *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 19, 140–150. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.19.22>
 20. Kristin, A.S. et al. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *CropSci.*, 37, 43-50.
 21. Lan, J. (1998). Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 7, 85–87.
 22. Lavrynenko, Y., Tyshchenko, A., Bazalii, H., Konovalova, V., Zhupyna, A. et al. (2023). Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of Southern Ukraine. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, LXVI(2), 294–301. ISSN 2285-5785
 23. Lin, C.S. & Binns, M.R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Can. J. PlantSci.*, 68, 193–198. <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>
 24. 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.
 25. Ojha, A. & Ojha, B.R. (2020). Assessment of Morpho-Physiological, Yield and Yield Attributing Traits Related to Post Anthesis Drought in Wheat Genotypes Under Rainfed Condition in Rampur, Chitwan. *Int. J. Appl. Sci. Biotechnol.*, 8(3), 323-335. doi.org/10.3126/ijasbt.v8i3.31609
 26. Rauf, S. (2008). Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance, *Commun. Biom. Crop Sci.*, 3, 29-44
 27. 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](https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x)
 28. Škorić, D. (2009). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia*, 32(50), 1-16.
 29. Subira, J., Álvaro, F., del Moral, L.F.G. & Royo, C. (2015). Breeding effects on the cultivar × environment interaction of durum wheat yield. *European Journal of Agronomy*, 68, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.04.009>
 30. Team, B.A. (2015). Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin. In *Regional Climate Studies*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 6, 131–144.
 31. Tyshchenko, A.V., Konovalova, V.M., Bazalii, H.H., Fundirat, K.S., Tyshchenko, O.D. et al. (2023). Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine (part 1 – years with sufficient moisture). *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 19, 190–200. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.19.29>
 32. Tyshchenko A.V. et al. (2023). Methods of determining the drought resistance of plants. *Scientific Collection «InterConf+»*, 33(155): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Modern Knowledge: Research and Discoveries» by the SPC «InterConf». (pp. 343-361) A.T. International. Vancouver, Canada. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.030> ISSN 2709-4685
 33. Tyshchenko A.V. et al. (2023). Methods of determining the adaptability and ecological stability of plants.

- Scientific Collection «InterConf+», 33(155): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Modern Knowledge: Research and Discoveries» by the SPC «InterConf». (pp. 324-342) A.T. International. Vancouver, Canada. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.029> ISSN 2709-4685*
34. 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. ISSN 2285-5718
 35. Vozhehova, R. et al. (2021). Evaluation of breeding indices for drought tolerance in alfalfa (*Medicago*) genotypes. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, LXIV(2), 435-444.
 36. Yuyi, Z. et al. (2019). A novel ABA functional analogue B2 enhances drought tolerance in wheat. *Scientific Reports*. 9:2887. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39013-8>
 37. Vozhehova, R. A. et al. (2021). Osoblyvosti proiavu adaptivnykh 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. Seriya «Ahronomiia i biolohiia» – Bulletin of SumNAU. Agronomy and Biology Series*. 2(44). 3-11. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.2.1> [in Ukrainian].
 38. 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].
 39. 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/agar.innov.2022.13.28>. [in Ukrainian].
 40. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Nasinnieva produktyvnist populatsii liutserny druhoho roku zhyttia ta osoblyvosti proiavu u nykh adaptivnykh 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/agar.innov.2022.16.15> [in Ukrainian].
 41. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Osoblyvosti proiavu adaptivnykh 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/agar.innov.2022.14.20>. [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. (2023). Posukhostiikost populatsii liutserny druhoho roku za kormovoho vykorystannia [Drought resistance of second-year alfalfa populations for fodder use]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 17, 25–36. <https://doi.org/10.32848/agar.innov.2023.17.4> [in Ukrainian].
 44. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Formuvannia stiikosti roslin nasinnievoi liutserny v umovakh riznoho ekolohichnoho hradiienta [Formation of resistance of seed alfalfa plants in conditions of different environmental gradients]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 3(840), 53–62. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303-08> [in Ukrainian].
 45. 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/agar.innov.2022.15.14>. [in Ukrainian].
 46. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Adaptivni oznaky ta yikh proiav u populatsii liutserny druhoho roku za kormovoho vykorystannia [Adaptive traits and their manifestation in alfalfa populations of the second year for fodder use]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 18, 143–155. <https://doi.org/10.32848/agar.innov.2023.18.20> [in Ukrainian].
 47. Tyshchenko, A.V. et al. (2023). Reaktsiia hibrydiv soniashnyka rannoї hrupy styhlosti na defitsyt volohy v umovakh Stepu Ukrainy [Reaction of sunflower hybrids of the early maturity group to moisture deficit in the conditions of the Steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations*, 22, 162–174. <https://doi.org/10.32848/agar.innov.2023.22.25> [in Ukrainian].
 48. Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O. D. & Lyuta, Yu. O. (2021). Otsinka henotypiv liutserny za nasinnievoiu produktyvnistiu na posukhostiikost. [Evaluation of alfalfa genotypes by seed productivity for drought resistance]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Kherson: VD «Helvetyka» – Taurian Scientific Bulletin. Kherson: Helvetica*. 120. 155–168. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.21>. [in Ukrainian].
 49. Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O.D., Liuta, Yu.O. & Piliarska, O.O. (2021). Adaptivna zdattist – vazhlyva oznaka v selektsii roslin [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].
- Тищенко А.В., Степанов С.С., Тищенко О.Д., Коновалова В.М., Очкала О.С. Реакція гібридів соняшника середньопізньої групи стиглості на різні умови зволоження на Півдні України**
Метою досліджень було вивчення і аналіз екологічної стійкості та адаптивної здатності до дефіциту вологи середньопізніх гібридів соняшника в умовах Півдня України. **Матеріали і методи досліджень.** Реакцію десяти гібридів соняшника середньопізньої групи на різні умови зволоження вивчали в ТОВ «Агропроект Юг» Херсонської області протягом 2020–2021 рр. Аналіз стійкості гібридів соняшника до дефіциту вологи проводили за допомогою різних математичних індексів посухостійкості, показників адаптивності, екологічної стійкості, біплот-аналізу та кластерного аналізу. **Результати дослідження та їх обговорення.** Отримані експериментальні дані за інтенсивності посухи 0,455

дозволило виділити гібрид соняшника, що істотно перевищував середньогібридну за урожайністю в стресових умовах Hysun 280 2,295 т/га, а за умов достатнього зволоження гібриди Hysun 280 і Hysun 298 з урожайністю 3,090–3,404 т/га. Гібрид Hysun 280 був виділений, як найбільш посухостійкий, за п'ятнадцятьма індексами. За коефіцієнтом регресії (b_i) виділений гібрид інтенсивного типу Hysun 298 – 1,72, стабільного типу Hysun 280 – 0,64. Гібриди 5 елемент НСХ7256 та Р64LE136 добре адаптовані до різноманітних умов вирощування. За результатами GGE біплот-аналізу гібриди соняшника Hysun 189 Su і Hysun 280 були віднесені до стабільних по відношенню до вологи, Hysun 195 IT і Hysun 298 – до гібридів інтенсивного типу та Р64LE136, MAS 97 і 5 елемент НСХ7256 – до пластичних. **Висновки.** Виділені індекси та показники адаптивності, що найбільш повно характеризують стійкість гібридів соняшника до посухи. За індексами посухостійкості, показниками адаптивності до посухи та біплот-аналізом, як найбільш посухостійкими виділений гібрид Hysun 280, гібриди Р64LE136 і 5 елемент НСХ7256 виділені як пластичні, а гібрид Hysun 298 як найбільш нестійкий до посухи, або гібрид інтенсивного типу.

Ключові слова: соняшник, гібрид, урожайність, посухостійкість, індекси посухостійкості, адаптивність, екологічна стійкість.

Tyshchenko A.V., Stepanov S.S., Tyshchenko O.D., Konovalova V.M., Ochkala O.S. The reaction of sunflower hybrids of the medium-late resistance group to different moisture conditions in the South of Ukraine

The purpose of the research was to study and analyze the ecological stability and adaptive capacity to moisture deficit of mid-late sunflower hybrids in the conditions of Southern Ukraine. **Research materials and methods.**

The reaction of ten sunflower hybrids of the mid-late group to different moisture conditions was studied at Agroproekt Yug LLC of the Kherson region during 2020–2021. The analysis of the resistance of sunflower hybrids to moisture deficit was carried out using various mathematical indices of drought resistance, indicators of adaptability, ecological stability, biplot analysis and cluster analysis. **Research results and their discussion.** The obtained experimental data at a drought intensity of 0.455 made it possible to identify a sunflower hybrid that significantly exceeded the average hybrid Hysun 280 in terms of yield in stressful conditions of 2.295 t/ha, and in conditions of sufficient moisture, Hysun 280 and Hysun 298 hybrids with a yield of 3.090–3.404 t/ha. The Hysun 280 hybrid was singled out as the most drought-resistant, according to fifteen indices. According to the regression coefficient (b_i), the hybrid of intensive type Hysun 298 – 1.72, stable type Hysun 280 – 0.64 was selected. Hybrids 5 elements NSH7256 and P64LE136 are well adapted to various growing conditions. According to the results of the GGE biplot analysis, sunflower hybrids Hysun 189 Su and Hysun 280 were classified as stable in relation to moisture, Hysun 195 IT and Hysun 298 – as intensive type hybrids, and P64LE136, MAS 97 and 5 element NSH7256 – as plastic. **Conclusions.** Indices and indicators of adaptability that most fully characterize the resistance of sunflower hybrids to drought are highlighted. According to the indices of drought resistance, indicators of adaptability to drought and biplot analysis, the hybrid Hysun 280 was selected as the most drought-resistant, the hybrids P64LE136 and 5 element NSH7256 were selected as plastic, and the hybrid Hysun 298 was selected as the most unstable to drought, or a hybrid of the intensive type.

Key words: sunflower, hybrid, productivity, drought resistance, drought resistance indices, adaptability, environmental sustainability.