

РЕАКЦІЯ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКА РАННЬОЇ ГРУПИ СТИГЛОСТІ НА ДЕФІЦИТ ВОЛОГИ В УМОВАХ СТЕПУ 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, с.н.с.
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 [26].

Незважаючи на те, що соняшник класифікується як культура, стійка до посухи [24], 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 [35, 36, 38], що призводить до значних коливань урожайності сільськогосподарських культур як у просторі, так і в часі [1, 16, 32]. 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, 28, 37, 39]. 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, 20, 34]. Однак, проблема, пов'я-

зана з дефіцитом води, не є непереборною. Фактично, негативні наслідки посухи можна подолати шляхом виявлення та використання стійких до посухи сортів та гібридів [40].

Тому, зусилля селекціонерів необхідно направити на створення не тільки високопродуктивних сортів і гібридів, а й тих, що забезпечують стійкість урожаю в різних агрокліматичних умовах [27, 42, 43]. На сьогодні вченими вже досліджено агрономічні та фізіологічні механізми, що відповідають за стабільність урожаю [23, 17, 41, 44]. Отже, різні сорти і гібриди можуть демонструвати контрастні реакції на умови довкілля внаслідок їхньої взаємодії [29, 33, 46].

Метою досліджень було вивчення і аналіз екологічної стійкості та адаптивності до нестачі вологи ранньостиглих 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 ранньої групи стиглості, 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 та хвороб і шкідників. Досліджувані зразки були посіяні у другій декаді квітня, а збирання урожаю – у серпні.

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 [25], *D* – інтенсивності посухи [2], *SSI* – сприйнятливості до посухи [10], *TOL* – толерантності до посухи [25], *YSI* – стабільності врожаю [3], *YI* – врожайності [11, 21], *STI* – толерантності до стресу [9], *GMP* – середньої геометричної (пропорційної) врожайності [9, 18], *RDI* – відносної стійкості до посухи [10], *DI* – посухостійкості [2, 19], *SSPI* – схильності до стресу [22], *MSTI*, *M₁STI*, *M₂STI* – модифікованих індексів толерантності до стресу [8], *ATI* – абіотичної толерантності [22], *HMP* – гармонічної середньої продуктивності [5, 14, 18], *ISR* – стійкості до стресу [33, 30, 45] 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_{ei}*) [7], показнику стійкості до стресу (*RS*), генетичної гнучкості (*Gf*) [25], загальної гомеостатичності (*Hom*), селекційної цінності (*Sc*), коефіцієнта адаптивності (*CA*), ефектів загальної адаптаційної здатності (*GAC_i*), специфічної адаптаційної здатності (*SAC_i*), 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 0,520 дозволили виділити гібриди соняшника, що істотно перевищують середньогібридну за урожайністю в стресових умовах: *Agora* і *Bella* 1,570–1,651 т/га, а за умов достатнього зволоження: *Bella*, *Cabana* і *Niagara* з урожайністю 2,864–3,037 т/га (табл. 2).

За індексами чутливості до посухи (*SSI*) зі значенням 0,66, толерантності до посухи (*TOL*) – 0,827, стабільності врожаю (*YSI*) – 0,65, відносної посухостійкості (*RDI*) – 1,36, посухостійкості (*DI*) – 0,84, схильності до стресу (*SSPI*) – 16,2 та стійкості до стресу (*ISR*) – 13,2 був виділений гібрид *Agora*.

За індексами середньої врожайності *MP* (2,298), урожайності *YI* (134,8), толерантності до стресу *STI* (0,75), середньої геометричної урожайності *GMP* (2,21), модифікованими індексами толерантності до стресу *MSTI*, *M₁STI* і *M₂STI* (1,00, 1,36 і 1,35, відповідно) та гармонічної продуктивності *HMP* (2,12) був виділений гібрид *Bella*.

За індексом абіотичної толерантності (*ATI*) зі значеннями 1,67 був виділений мабуть найбільш інтенсивний гібрид *Niagara*.

Гібриди *Agora* і *Bella* були виділені, як найбільш посухостійкі, за сімома і вісьмома індексами, відповідно.

Індекс стресового середовища становив -0,663, а при достатньому зволоженні 0,663. Найбільшою середньою врожайністю (*Ymean*) характеризувався гібрид *Bella* – 2,299 т/га (табл. 3).

Таблиця 1

Погодні умови проведення досліджень

	Середньобогаторічні			2020			2021		
	Т (°C)	Р (мм)	j	Т (°C)	Р (мм)	j	Т (°C)	Р (мм)	j
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 гібридів насіння 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
Аgora	G1	2,397	1,570	1,983	0,66	0,827	0,65	128,2	0,58	1,94	1,36	0,84	16,2	0,51	0,95	0,48	0,77	1,90	13,2
Аgraris	G2	2,315	1,052	1,683	1,05	1,263	0,45	85,9	0,37	1,56	0,95	0,39	24,7	0,31	0,28	0,09	0,95	1,45	3,5
Аndromeda	G3	2,725	1,039	1,882	1,19	1,686	0,38	84,9	0,44	1,68	0,79	0,32	33,0	0,50	0,31	0,16	1,36	1,50	2,7
Вella	G4	2,946	1,651	2,298	0,85	1,296	0,56	134,8	0,75	2,21	1,17	0,76	25,4	1,00	1,36	1,35	1,37	2,12	8,5
Сabana	G5	2,864	1,383	2,123	0,99	1,482	0,48	112,9	0,61	1,99	1,01	0,55	29,0	0,77	0,78	0,60	1,42	1,86	5,2
Нiagara	G6	3,037	1,259	2,148	1,13	1,778	0,41	102,8	0,59	1,95	0,86	0,43	34,9	0,83	0,62	0,52	1,67	1,78	3,7
Regata	G7	2,175	1,004	1,589	1,04	1,172	0,46	82,0	0,34	1,48	0,96	0,38	23,0	0,24	0,23	0,05	0,83	1,37	3,5
LG 5377	G8	2,109	0,973	1,541	1,04	1,136	0,46	79,5	0,32	1,43	0,96	0,37	22,3	0,22	0,20	0,04	0,78	1,33	3,4
Латитуда	G9	2,477	1,129	1,803	1,05	1,349	0,46	92,2	0,43	1,67	0,95	0,42	26,4	0,41	0,37	0,15	1,08	1,55	3,8
Ратпор НСХ7258	G10	2,464	1,186	1,825	1,00	1,278	0,48	96,9	0,45	1,71	1,00	0,47	25,0	0,42	0,42	0,18	1,05	1,60	4,4
Середнє		2,551	1,224	1,887	1,00	1,326	0,48	100,0	0,49	1,76	1,00	0,49	26,0	0,52	0,55	0,36	1,13	1,65	5,2

Інтенсивність посухи, D 0,520

V, % 12,73 19,52 13,25 14,88 20,64 15,91 19,50 28,46 14,56 15,99 35,34 20,65 50,54 68,28 111,47 27,56 15,69 62,60

 $S\bar{X}_{абс.}$

0,10 0,08 0,08 0,05 0,09 0,02 6,17 0,04 0,08 0,05 0,06 1,70 0,08 0,12 0,13 0,10 0,08 1,03

 $S\bar{X}_{віднос.}$

4,03 6,17 4,19 4,71 6,53 5,03 6,17 9,00 4,51 5,06 11,18 6,53 15,98 21,59 35,25 8,71 4,96 19,80

HIP₀₁

0,33 0,24 0,25 0,15 0,27 0,08 19,55 0,14 0,25 0,16 0,17 5,38 0,26 0,38 0,40 0,31 0,26 3,26

HIP₀₅

0,24 0,17 0,18 0,11 0,20 0,06 14,12 0,10 0,18 0,12 0,13 3,89 0,19 0,27 0,29 0,23 0,19 2,35

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
Agora	G1	1,570–2,397	1,984	0,830	1,30	1,98	0,62	105,1	13,2
Agraris	G2	1,052–2,315	1,684	1,260	0,77	1,68	0,95	89,2	6,2
Andromeda	G3	1,039–2,725	1,882	1,690	0,72	1,88	1,27	99,7	5,8
Bella	G4	1,651–2,946	2,299	1,300	1,29	2,30	0,98	121,8	11,3
Cabana	G5	1,383–2,864	2,124	1,480	1,03	2,12	1,12	112,5	8,4
Niagara	G6	1,259–3,037	2,148	1,780	0,89	2,15	1,34	113,8	7,2
Regata	G7	1,004–2,175	1,590	1,170	0,73	1,59	0,88	84,2	6,0
LG 5377	G8	0,973–2,109	1,541	1,140	0,71	1,54	0,86	81,6	5,8
Латитуда	G9	1,129–2,477	1,803	1,350	0,82	1,80	1,02	95,5	6,7
Раптор НСХ7258	G10	1,186–2,464	1,825	1,280	0,88	1,83	0,96	96,7	7,2
Середнє		1,225–2,551	1,888	1,330	0,91	1,89	1,00	100,0	7,8
V, %		19,52–12,73	13,25	20,62	24,42	13,28	20,71	13,26	32,49
$S\dot{x}_{абс.}$		0,08–0,10	0,08	0,09	0,07	0,08	0,06	4,19	0,80
$S\dot{x}_{віднос.}$		6,17–4,03	4,19	6,52	7,72	4,20	6,55	4,19	10,27
HIP_{01}		0,24–0,33	0,25	0,27	0,22	0,25	0,21	13,30	2,53
HIP_{05}		0,17–0,23	0,18	0,20	0,16	0,18	0,15	9,61	1,83

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}
Agora	G1	1,570–2,397	1,984	0,10	0,0138	0,038	9,8	1,40	0,39	0,36435
Agraris	G2	1,052–2,315	1,684	-0,20	0,0002	0,089	17,7	0,79	0,91	0,00226
Andromeda	G3	1,039–2,725	1,882	-0,01	0,0072	0,158	21,1	0,69	1,62	0,04539
Bella	G4	1,651–2,946	2,299	0,41	0,0000	0,093	13,3	1,38	0,95	0,00034
Cabana	G5	1,383–2,864	2,124	0,24	0,0013	0,122	16,4	1,08	1,25	0,01073
Niagara	G6	1,259–3,037	2,148	0,26	0,0113	0,176	19,5	0,89	1,80	0,06443
Regata	G7	1,004–2,175	1,590	-0,30	0,0013	0,076	17,4	0,76	0,78	0,01730
LG 5377	G8	0,973–2,109	1,541	-0,35	0,0020	0,072	17,4	0,74	0,73	0,02776
Латитуда	G9	1,129–2,477	1,803	-0,08	0,0000	0,101	17,6	0,85	1,03	0,00003
Раптор НСХ7258	G10	1,186–2,464	1,825	-0,06	0,0001	0,091	16,5	0,92	0,93	0,00118
Середнє		1,225–2,551	1,888	0,00	0,0040	0,101	16,7	0,95	1,04	0,05338
V, %		19,52–12,73	13,25	25075	130,26	40,25	18,89	27,00	40,35	208,68
$S\dot{x}_{абс.}$		0,08–0,10	0,08	0,08	0,01	0,01	1,00	0,08	0,13	0,03
$S\dot{x}_{віднос.}$		6,17–4,03	4,19	7929	40,19	12,73	5,97	8,54	12,76	65,99
HIP_{01}		0,24–0,33	0,25	0,25	0,005	0,04	3,16	0,26	0,42	0,11
HIP_{05}		0,17–0,23	0,18	0,18	0,003	0,03	2,28	0,19	0,30	0,08

Найбільшим рівнем стійкості досліджуваних гібридів до стресових умов (RS), а відповідно і найменшим значенням характеризувався *Agora* – 0,830. Гібрид *Niagara* зі значенням 1,780 виявився найбільш нестійким до стресових умов.

За селекційною цінністю сорту (Sc) виділені гібриди *Agora* – 1,30 та *Bella* – 1,29. За генетичною гнучкістю (Gf) виділений гібрид *Bella* – 2,30.

За коефіцієнтом регресії (b_i), що є критерієм оцінки рівня екологічної пластичності і вказує на реакцію генотипу на зміну умов середовища, виділений гібрид інтенсивного типу ($b_i > 1$) *Niagara* – 1,34, стабільного типу

($b_i < 1$) *Agora* – 0,62. Якщо $b_i = 1$, то гібрид добре адаптований до різноманітних умов вирощування, найбільш наближеними є гібриди *Bella* – 0,98 та *Латитуда* – 1,02.

За коефіцієнтом адаптивності (CA) виділилися гібрид *Bella* – 121,8. Найвищими значеннями гомеостатичності (Hom) характеризувалися гібриди *Agora* – 13,2 та *Bella* – 11,3.

Найвищим ефектом загальної адаптивної здатності (GAC_i) відзначився гібрид *Bella* – 0,41, найменшим значенням – *LG 5377* – -0,35 (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_{lin}	MP	SSI	TOL	YSI	YI	STI	GMP	RDI	DI	SSPI	M_1STI	M_2STI	MSTI	ATI	HMP	ISR
Y_{opt}	1,000	0,565	0,919	0,087	0,694	-0,095	0,564	0,823	0,830	-0,089	0,270	0,694	0,936	0,623	0,715	0,951	0,736	0,097
Y_{lin}	0,565	1,000	0,844	-0,768	-0,203	0,765	1,000	0,929	0,928	0,769	0,945	-0,203	0,782	0,980	0,883	0,289	0,973	0,840
MP	0,919	0,844	1,000	-0,310	0,354	0,304	0,844	0,978	0,982	0,309	0,627	0,354	0,982	0,872	0,886	0,756	0,943	0,463
SSI	0,087	-0,768	-0,310	1,000	0,774	-0,999	-0,769	-0,479	-0,477	-1,000	-0,934	0,774	-0,209	-0,684	-0,477	0,384	-0,602	-0,960
TOL	0,694	-0,203	0,354	0,774	1,000	-0,780	-0,203	0,166	0,175	-0,777	-0,504	1,000	0,429	-0,116	0,078	0,876	0,024	-0,618
YSI	-0,095	0,765	0,304	-0,999	-0,780	1,000	0,766	0,475	0,472	0,999	0,931	-0,780	0,205	0,685	0,482	-0,391	0,598	0,955
YI	0,564	1,000	0,844	0,774	-0,780	0,766	1,000	0,929	0,928	0,769	0,945	-0,203	0,782	0,980	0,883	0,288	0,973	0,840
STI	0,823	0,929	0,978	-0,479	-0,203	0,475	0,929	1,000	0,998	0,481	0,759	0,166	0,966	0,953	0,944	0,617	0,988	0,599
GMP	0,830	0,928	0,982	-0,477	0,175	0,472	0,928	0,998	1,000	0,477	0,757	0,175	0,951	0,943	0,924	0,623	0,988	0,601
RDI	-0,089	0,769	0,309	-1,000	-0,777	0,999	0,769	0,481	0,477	1,000	0,934	-0,777	0,212	0,689	0,486	-0,385	0,603	0,955
DI	0,270	0,945	0,627	-0,934	-0,504	0,931	0,945	0,759	0,757	0,934	1,000	-0,504	0,541	0,894	0,736	-0,035	0,845	0,960
SSPI	0,694	-0,203	0,354	0,774	1,000	-0,780	-0,203	0,166	0,175	-0,777	-0,504	1,000	0,429	-0,116	0,079	0,877	0,024	-0,618
M_1STI	0,936	0,782	0,982	-0,209	0,429	0,205	0,782	0,956	0,951	0,212	0,541	0,429	1,000	0,843	0,908	0,807	0,901	0,350
M_2STI	0,623	0,980	0,872	-0,684	-0,116	0,685	0,980	0,953	0,943	0,689	0,894	-0,116	0,843	1,000	0,957	0,366	0,975	0,758
MSTI	0,715	0,883	0,886	-0,477	0,078	0,482	0,883	0,944	0,924	0,486	0,736	0,079	0,908	0,957	1,000	0,516	0,928	0,550
ATI	0,951	0,289	0,756	0,384	0,876	-0,391	0,288	0,617	0,623	-0,385	-0,035	0,877	0,807	0,366	0,516	1,000	0,499	-0,208
HMP	0,736	0,973	0,943	-0,602	0,024	0,598	0,973	0,988	0,988	0,603	0,845	0,024	0,901	0,975	0,928	0,499	1,000	0,702
ISR	0,097	0,840	0,463	-0,960	-0,618	0,955	0,840	0,599	0,601	0,955	0,960	-0,618	0,350	0,758	0,550	-0,208	0,702	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 (2016–2020 рр.)

	Y_{lin}	Y_{opt}	Y_{mean}	b_i	RS	Sc	Gf	CA	Hom	GAC _i	$\sigma^2_{(G \times E)_{gi}}$	σ^2_{SACi}	s_{gi}	SVG _i	K_{gi}	I_{gi}
Y_{lin}	1,000	0,565	0,844	-0,200	-0,203	0,988	0,843	0,845	0,939	0,847	0,288	-0,166	-0,765	0,976	-0,164	0,460
Y_{opt}	0,565	1,000	0,919	0,696	0,694	0,434	0,920	0,919	0,294	0,917	0,239	0,714	0,097	0,372	0,715	-0,101
Y_{mean}	0,844	0,919	1,000	0,355	0,354	0,754	1,000	1,000	0,640	1,000	0,293	0,384	-0,303	0,708	0,385	0,155
b_i	-0,200	0,694	0,355	1,000	1,000	-0,345	0,358	0,355	-0,470	0,351	0,026	0,991	0,781	-0,408	0,991	-0,526
RS	-0,203	0,696	0,354	1,000	1,000	-0,344	0,358	0,356	-0,468	0,351	0,035	0,992	0,781	-0,408	0,992	-0,519
Sc	0,988	0,434	0,754	-0,345	-0,344	1,000	0,752	0,754	0,978	0,757	0,302	-0,306	-0,852	0,997	-0,305	0,547
Gf	0,843	0,920	1,000	0,358	0,358	0,752	1,000	1,000	0,637	1,000	0,291	0,386	-0,301	0,706	0,387	0,151
CA	0,845	0,919	1,000	0,355	0,356	0,754	1,000	1,000	0,640	1,000	0,293	0,384	-0,303	0,708	0,385	0,155
Hom	0,939	0,294	0,640	-0,470	-0,468	0,978	0,637	0,640	1,000	0,643	0,411	-0,415	-0,907	0,979	-0,413	0,697
GAC _i	0,847	0,917	1,000	0,351	0,351	0,757	1,000	1,000	0,643	1,000	0,291	0,380	-0,308	0,711	0,381	0,157
$\sigma^2_{(G \times E)_{gi}}$	0,288	0,239	0,293	0,026	0,035	0,302	0,291	0,293	0,411	0,291	1,000	0,158	-0,196	0,263	0,160	0,811
σ^2_{SACi}	-0,166	0,714	0,384	0,991	0,992	-0,306	0,386	0,384	-0,415	0,380	0,158	1,000	0,749	-0,374	1,000	-0,412
s_{gi}	-0,765	0,097	-0,303	0,781	0,781	-0,852	-0,301	-0,303	-0,907	-0,308	-0,196	0,749	1,000	-0,886	0,748	-0,662
SVG _i	0,976	0,372	0,708	-0,408	-0,408	0,997	0,706	0,708	0,979	0,711	0,263	-0,374	-0,886	1,000	-0,373	0,546
K_{gi}	-0,164	0,715	0,385	0,991	0,992	-0,305	0,387	0,385	-0,413	0,381	0,160	1,000	0,748	-0,373	1,000	-0,410
I_{gi}	0,460	-0,101	0,155	-0,526	-0,519	0,547	0,151	0,155	0,697	0,157	0,811	-0,412	-0,662	0,546	-0,410	1,000

* – Confidence interval (%): 95

варіанси (σ^2_{CA3i}), встановлено найбільш стабільні гібрид *Agora* – 0,038. Гібриди *Andromeda* – 0,158 та *Niagara* – 0,176 є нестабільним.

За показником відносної стабільності генотипу (s_{gi}), з найменшими його значеннями, був виділений гібрид *Agora* – 9,8, а за селекційною цінністю генотипу (SVG), виділилися гібриди *Agora* – 1,40 та *Bella* – 1,38.

Гібриди *Bella* та *Латимуда* характеризувалися найменшими значеннями (0,0000) варіанси взаємодії генотипу та середовища ($\sigma^2_{(G \times E)gi}$), і володіли лінійною реакцією (I_{gi}) на зміну умов середовища (0,00003–0,00034). Проте тільки у гібрида *Bella* $K_{gi} < 1$, а у гібрида *Латимуда* він був більше одиниці, що свідчить про переважання ефекту дестабілізації. Найнижчим значенням коефіцієнту компенсації (K_{gi}) характеризувався гібрид *Agora* – 0,39, натомість гібрид *Niagara* найвищим значенням 1,80.

Між врожайністю за різних умов зволоження має місце середня позитивна кореляційна залежність $r = 0,565$. Урожайність гібридів соняшника за обох умов зволоження має високий позитивний кореляційний зв'язок ($r = 0,715\text{--}0,973$) з індексами *MP* (Y_{mean}), *STI*, *GMP*, *M*, *STI*, *MSTI*, *HMP*, *Gf*, *CA* та *GAC_i*. Індекси Урожайність за стресових умов характеризується високою позитивною залежністю з індексами *YSI*, *YI*, *RDI*, *DI* та *ISR* ($r = 0,765\text{--}1,000$) та показниками адаптивності *Sc*, *Hom* і *SVG_i* ($r = 0,939\text{--}0,988$), а з індексом *SSI* та s_{gi} високу від'ємну $r = -0,765\text{--}0,768$, натомість з урожайністю при оптимальних умовах зволоження залежність або відсутня, або середня (*YI*, *Sc* і *SVG_i*). Урожайність за оптимальних умов мала високу кореляцію з показниками *ATI*, σ^2_{SACi} і K_{gi} ($r = 0,714\text{--}0,951$) та середню ($r = 0,694\text{--}0,696$) з *TOL*, *SSPI*, b_i і *RS* натомість низьку з врожайністю при стресі (табл. 5, 6).

За результатами GGE біплот-аналізу гібрид соняшника *Agora* (G1), що знаходиться в одній чверті з век-

тором урожайності при стресі (Y_{lim}) та наблизений до його вершини, формує високу урожайність за стресових умов зволоження і його можна віднести до стабільних гібридів. Гібрид соняшника *Bella* (G4), що також знаходиться в одній чверті з вектором урожайності при стресі (Y_{lim}), але наблизений до осі абсцис, тобто між векторами умов середовища, формує високу урожайність за обох умов зволоження. Цей гібрид можна віднести до пластичних, що добре пристосований до різних умов зволоження (рис. 1).

Гібрид соняшника *Niagara* (G6), що знаходиться в одній чверті з вектором урожайності за кращих умов зволоження (Y_{opt}) та максимально наблизений до його вершини характеризується високою продуктивністю за достатнього вологозабезпечення і його можна характеризувати як гібрид інтенсивного типу по відношенню до вологи. Гібрид соняшника *Cabana* (G5), що також знаходиться в одній чверті з вектором урожайності за кращих умов зволоження (Y_{opt}), але наблизений до осі абсцис, тобто між векторами умов середовища, формує добру урожайність за обох умов зволоження. Цей гібрид формує добру урожайність за обох умов зволоження та його можна віднести до пластичних, проте у нього насіннева продуктивність нижча ніж у гібрида *Bella* (G4).

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

Найбільш посухостійкими виявилися гібриди G1 – *Agora* і G4 – *Bella*, що утворили кластер 1 на відстані 224. Гібриди G5 – *Cabana* і G6 – *Niagara* є інтенсивними до вологи та на відстані 76 утворили 3 кластер. Останні вісім гібридів виявилися пластичними та об'єдналися у 2 кластер на відстані 382.

Також був проведений кластерний аналіз гібридів соняшника методом k-середніх. До 1 кластера увійшли

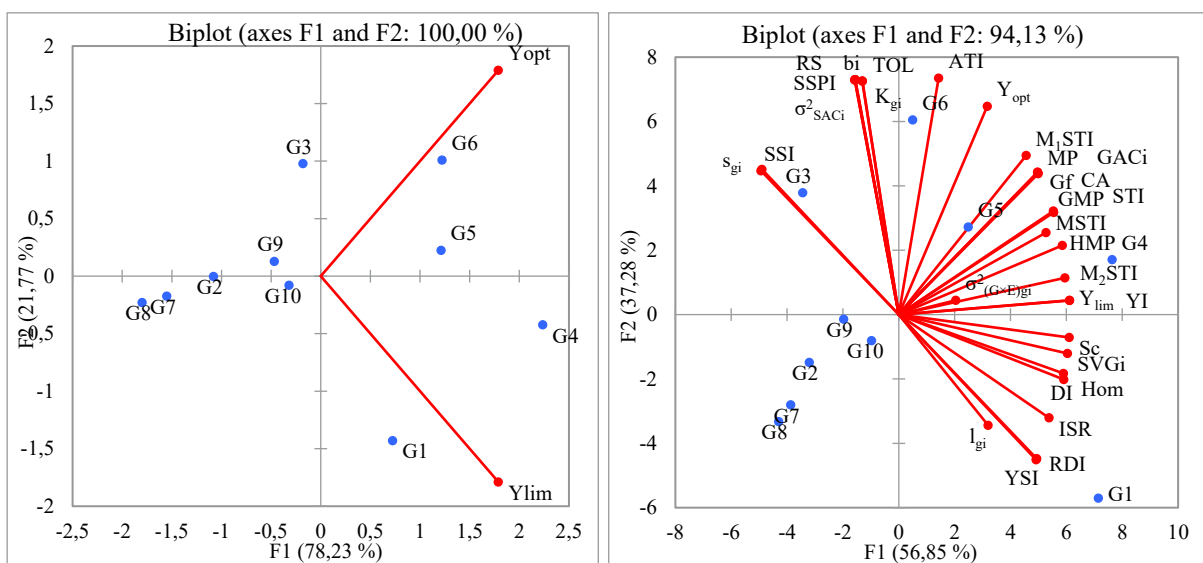


Рис. 1. Генотип-середовищна взаємодія гібридів соняшника і середовищ (метод біплот-аналіз). Лініями показані власні вектори провідних факторних навантажень для середовищ: ● – умови зволоження; ● – гібриди

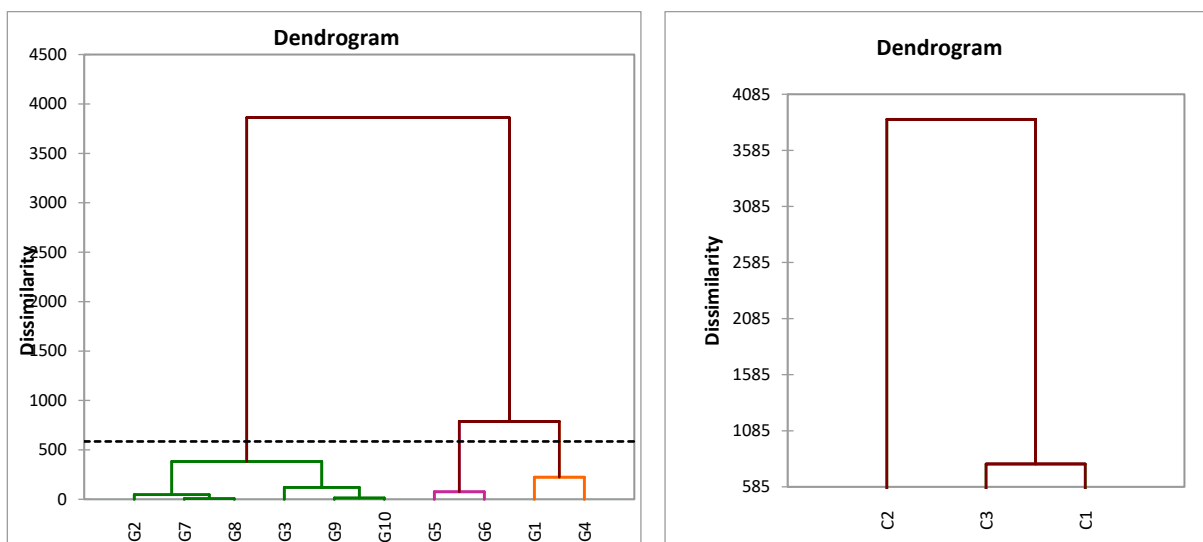


Рис. 2. Дендродрама кластеризації десяти гібридів соняшника за посухостійкістю

Таблиця 7

Кластеризації 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
Agora	G1	1	17,636	1
Agraris	G2	2	7,793	2
Andromeda	G3	2	9,398	2
Bella	G4	1	17,532	1
Cabana	G5	1	8,062	3
Niagara	G6	1	20,138	3
Regata	G7	3	1,842	2
LG 5377	G8	3	1,842	2
Латитуда	G9	2	2,504	2
Раптор НСХ7258	G10	2	7,710	2

чотири різних за толерантністю до посухи гібрида, порівняно з агломеративним ієрархічним кластерним аналізом, до стійких G1 – *Agora* і G4 – *Bella* добавилися гібриди інтенсивного типу G5 – *Cabana* і G6 – *Niagara*, що перейшли з третього кластеру. Найменша відстань до центру кластера спостерігалася у гібрида G5 – *Cabana* на рівні 8,062, натомість найбільша 20,138 у гібрида G6 – *Niagara* (табл. 7).

До 2 кластера увійшли чотири гібрида пластичного типу (G2 – *Agraris*, G3 – *Andromeda*, G9 – *Латитуда* та G10 – *Раптор НСХ7258*), але з меншою резистентністю до посухи, ніж гібриди G7 – *Regata* і G8 – *LG 5377*, що увійшли до 3 кластера.

Висновки. Виділені індекси *YSI*, *YI*, *SSI*, *RDI*, *DI*, *ISR* та показники адаптивності *Sc*, *Hom*, s_{gi} і SVG_{gi} , що найбільш повно характеризують стійкість гібридів соняшника до посухи. Показники адаптивності b_{gi} , σ^2_{SACi} і K_{gi} розділяють гібриди на інтенсивні, пластичні та стабільні за їх реакцією на стрес дефіциту вологи.

За індексами посухостійкості, показниками адаптивності до посухи та біплот-аналізом, як найбільш посухостійкий виділений гібрид *Agora*, гібрид *Bella* виділений як пластичний, а гібрид *Niagara* як найбільш нестійкий до посухи, або гібрид інтенсивного типу.

За допомогою кластерного аналізу десять гібридів соняшника були розподілені на три кластера: стійкі до посухи, середньої стійкості, не стійкі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. 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>
2. Blum A. Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 1988
3. 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
4. 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. Shanhuai, 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 Journal 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/аграр.innov.2023.20.13>
 17. 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/аграр.innov.2023.19.22>
 18. 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. *CropSci.* 1997. Vol. 37. P. 43–50.
 19. Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*. 1998. Vol. 7. P. 85–87.
 20. 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
 21. Lin C.S., Binns M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Can. J. PlantSci.* 1988. Vol. 68. P. 193–198. <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>
 22. 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.
 23. 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
 24. Rauf S. Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance, *Commun. Biom. Crop Sci.*, 2008, Vol. 3, P. 29–44
 25. 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
 26. Škorić D. Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia*. 2009. Vol.32(50). P. 1–16.
 27. 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>
 28. 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.
 29. 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/аграр.innov.2023.19.29>
 30. 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>

31. 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>
32. 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
33. 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.
34. 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>
35. 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 «Агронія і біологія»*. 2021. Випуск 2(44), С. 3–11. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.2.1>
36. 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>
37. 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>
38. 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>
39. 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>
40. 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/agroviznyk202301-05>
41. 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>
42. 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/agroviznyk202303-08>
43. 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>
44. 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>
45. 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. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.21>
46. 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.
- Bouslama, 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.
- 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>
- Eberhart, S.A & Russell, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sc.*, 6(1), 36–40.
- 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. Shanhuai, 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/agrar.innov.2023.20.13
17. 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/agrar.innov.2023.19.22
18. Kristin, A.S. et al. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *CropSci.*, 37, 43-50.
19. Lan, J. (1998). Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 7, 85–87.
20. 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
21. 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
22. 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.
23. 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
24. Rauf, S. (2008). Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance, *Commun. Biom. Crop Sci.*, 3, 29-44
25. 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
26. Škorić, D. (2009). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia*, 32(50), 1-16.
27. 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
28. 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.
29. 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/agrar.innov.2023.19.29
30. 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
31. 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
32. 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
33. 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.
34. 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
35. 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].

36. 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].
37. 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/agr.innov.2022.13.28>. [in Ukrainian].
38. Vozhehova, R.A. et al. (2022). Nasinnieva produktyvnist populatsii liutserny drugoho 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/agr.innov.2022.16.15> [in Ukrainian].
39. 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/agr.innov.2022.14.20>. [in Ukrainian].
40. 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].
41. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Posukhostiikist populatsii liutserny drugoho 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/agr.innov.2023.17.4> [in Ukrainian].
42. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Formuvannia stiikosti roslin nasinnievoi liutserny v umovakh riznoho ekolohichnoho gradianta [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].
43. 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/agr.innov.2022.15.14>. [in Ukrainian].
44. Vozhehova, R.A. et al. (2023). Adaptivni oznaky ta yikh proiav u populatsii liutserny drugoho 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/agr.innov.2023.18.20> [in Ukrainian].
45. Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O. D. & Lyuta, Yu. O. (2021). Otsinka henotypiv liutserny za nasinnievoiu produktyvnistiu na posukhostiikist. [Evaluation of alfalfa genotypes by seed productivity for drought resistance]. *Tavriyskyi 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].
46. Tyshchenko, A.V., Tyshchenko, O.D., Liuta, Yu.O. & Piliarska, O.O. (2021). Adaptivna zdatsnist – 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 ранньої групи стиглості на дефіцит вологи в умовах Степу України

Метою досліджень було вивчення і аналіз екологічної стійкості та адаптивності до нестачі вологи ранньостиглих гібридів соняшника в умовах Півдня України. **Матеріали і методи досліджень.** Реакцію десяти гібридів соняшника ранньої групи стиглості на різні умови вирощування вивчали в ТОВ «Агропроект Юг» Херсонської області протягом 2020–2021 рр. Дослідження проводилися на двох різних за показниками ґрунту ділянках. Аналіз стійкості гібридів соняшника до дефіциту вологи проводили за допомогою різних математичних індексів посухостійкості та показників адаптивності і екологічної стійкості. **Результати дослідження та їх обговорення.** Отримані експериментальні дані за інтенсивності посухи 0,520 дозволили виділити гібриди соняшника, що істотно перевищують середньогібридну за урожайністю в стресових умовах: Агора і Bella 1,570–1,651 т/га, а за умов достатнього зволоження: Bella, Cabana і Niagara з урожайністю 2,864–3,037 т/га. За SSI, TOL, YSI, RDI, DI, SSPI та ISR виділений гібрид Агора. За індексами MP, YI, STI, GMP, MSTI, M₁STI і M₂STI та HMP виділений гібрид Bella, а індексом абіотичної толерантності виділений гібрид Niagara. За коефіцієнтом регресії (b_i) виділений гібрид інтенсивного типу Niagara, стабільного типу – Агора та гібрид добре адаптований до різноманітних умов вирощування Bella і Латитуда. **Висновки.** Виділені індекси YSI, YI, SSI, RDI, DI, ISR та показники адаптивності Sc, Nom, s_{gi} і SVG_i, що найбільш повно характеризують стійкість гібридів соняшника до посухи. Показники адаптивності b_i, σ²_{SACi} і K_{gi} розділяють гібриди на інтенсивні, пластичні та стабільні за їх реакцією на стрес дефіциту вологи. Виділений найбільш посухостійкий гібрид Агора, гібрид Bella – пластичний, а гібрид Niagara – 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. Reaction of sunflower hybrids of the early maturity group to moisture deficit in the conditions of the Steppe of Ukraine

The purpose of the research was to study and analyze the environmental stability and adaptability to moisture shortage of early-ripening sunflower hybrids in the conditions of Southern Ukraine. **Research materials and**

methods. The reaction of ten sunflower hybrids of the early maturity group to different growing conditions was studied at Agroproekt Yug LLC of the Kherson region during 2020–2021. The research was conducted on two sites with different soil parameters. Analysis of the resistance of sunflower hybrids to moisture deficit was carried out with the help of various mathematical indices of drought resistance and indicators of adaptability and environmental stability.

Research results and their discussion. The obtained experimental data at a drought intensity of 0.520 made it possible to identify sunflower hybrids that significantly exceed the average hybrid yield in stressful conditions: Agora and Bella 1.570–1.651 t/ha, and under conditions of sufficient moisture: Bella, Cabana and Niagara with a yield of 2.864–3.037 t/ha. For SSI, TOL, YSI, RDI, DI, SSPI and ISR, the Agora hybrid is selected. According to the MP, YI, STI, GMP, MSTI, M₁STI and M₂STI and HMP indices,

the Bella hybrid was selected, and the Niagara hybrid was selected according to the abiotic tolerance index. According to the regression coefficient (b_i), the intensive Niagara type hybrid, the stable Agora type and the hybrid well adapted to various growing conditions of Bella and Latytude were selected. **Conclusions.** The indices YSI, YI, SSI, RDI, DI, ISR and adaptability indicators S_c , H_{om} , s_{g_i} and SVG_i , which most fully characterize the resistance of sunflower hybrids to drought, are highlighted. Adaptability indicators b_i , σ^2_{SACi} and K_{g_i} divide the hybrids into intensive, plastic and stable according to their response to moisture deficit stress. The most drought-resistant Agora hybrid, the Bella hybrid is plastic, and the Niagara hybrid is the most drought-resistant, or intensive type hybrid.

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