

УДК 633.31:631.52:631.67

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.21>

ОЦІНКА ГЕНОТИПІВ ЛЮЦЕРНИ ЗА НАСІННЕВОЮ ПРОДУКТИВНІСТЮ НА ПОСУХОСТІЙКІСТЬ

Тищенко А.В. – к.с.-г.н., старший науковий співробітник відділу селекції,
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України
Тищенко О.Д. – к.с.-г.н., провідний науковий співробітник відділу селекції,
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України
Люта Ю.О. – к.с.-г.н., старший науковий співробітник відділу селекції,
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України

Мета. Провести оцінку реакції сортів і популяцій люцерни за різних середовищ та визначити найкращі не лише за посухостійкістю, а й за продуктивністю в умовах стресу з подальшим використанням їх у селекційному процесі, виявити індекси, які б дали змогу виділити генотипи з такими ознаками. **Методи.** Дослідження проводили в Інституті зрошуваного землеробства НААН (Україна, м. Херсон, сел. Наддніпрянське, 46°44'50.1"N 32°42'30.0"E), що розташований на Інгулецькому зрошуваному масиві, протягом 2017–2020 рр. у польових умовах. Об'єктом вивчення були сорти та популяції люцерни. Продуктивність та посухостійкість визначали з використанням таких індексів, як: середня врожайність (MP), індекс сприятливості до посухи (SSI), індекс толерантності до посухи (TOL), індекс стабільності врожаю (YSI), індекс урожайності (YI), індекс толерантності до стресу (STI), середня геометрична (пропорційна) врожайність (GMP), індекс відносної стійкості до посухи (RDI), індекс посухостійкості (DI), індекс схильності до стресу (SSPI), модифіковані індекси толерантності до стресу (M_1STI , M_2STI , $MSTI$), індекс абіотичної толерантності (ATI), гармонійна середня продуктивність (HMP) та індекс стійкості до стресу (ISR). **Результати.** Погодні умови за роки проведення досліджень різнилися як за температурним режимом, так і за кількістю та характером опадів, що дало можливість проаналізувати сорти та популяції люцерни за насінневою продуктивністю на стійкість до стресових (посушливих) умов вирощування. Індекс чутливості до посухи (SSI) характеризує чутливість генотипу до посухи, а саме: чим менший показник, тим більша посухостійкість генотипу. Найнижчі показники були у популяції: M.g.d. – 0,68 та (Емерауде /T.)² – 0,74. Індекси врожайності (YI), середньої геометричної врожайності (GMP) і гармонійної продуктивності (HMP) відображають урожайність конкретного генотипу за гірших умов вирощування порівняно із середньою врожайністю досліджуваних у даних умовах генотипів, проте розраховуються вони за різними формулами. За індексами YI, GMP, HMP виділилася популяція LR/H з показниками 126,6, 360 і 350 відповідно. Виходячи з результатів дослідження та їх аналізу нами запропоновано індекс стійкості до стресу ISR, який, на нашу думку, характеризує генотипи за стійкістю до стресу не лише за меншою різницею урожайності за гірших та кращих умов, а й урахував високу продуктивність під час стресу. **Висновки.** Аналізуючи отримані дані за індексами посухостійкості та біоплот-аналізом у популяції люцерни другого року життя за насінневою продуктивністю, нами виділено п'ять генотипів, що були розділені на три групи. Відібрано шість основних індексів: YI, GMP, HMP, SSI, STI, DI та запропоновано індекс стійкості до стресу ISR, що характеризують популяцію не тільки за посухостійкістю, а й за продуктивністю в умовах стресу.

Ключові слова: люцерна, насіннева продуктивність, посухостійкість, індекси, біоплот-аналіз.

Tyshchenko A.V., Tyshchenko O.D., Lyuta Yu.O. Evaluation of alfalfa genotypes by seed productivity for drought resistance

Purpose. Assess the response of varieties, populations of alfalfa in different environments and determine the best not only for drought resistance but also for productivity under stress with their subsequent use in the breeding process, select indices that allow the selection of genotypes with such traits. **Methods.** The on-farm research was conducted at the Institute of Irrigated Agriculture of NAAS (Ukraine, Kherson, Naddniproyske village, 46°44'50.1"N 32°42'30.0"E), located on the Ingulets irrigated area, in 2017–2020. Alfalfa varieties and populations were

studied. Productivity and drought resistance were determined using the indices: average yield (MP), drought tolerance index (SSI), drought tolerance index (TOI), yield stability index (YSI), yield index (YI), stress tolerance index (STI), geometric mean (proportional) yield (GMP), relative drought resistance index (RDI), drought resistance index (DI), stress propensity index (SSPI), modified stress tolerance indices (M_1STI , M_2STI , $MSTI$), abiotic tolerance index (ATI), Harmonic Average Performance (HMP) and Stress Resilience Index (ISR). **Results.** Weather conditions over the years of research differed both in temperature and in the amount and nature of precipitation, which made it possible to analyze varieties and populations of alfalfa by seed productivity for resistance to stress (drought) conditions. The Drought Sensitivity Index (SSI) characterizes how sensitive the genotype is to the effects of drought and the lower the rate, the greater the drought resistance of the genotype. The lowest rates were populations: M.g.d. – 0.68 and – Emeraude /T² – 0.74. Yield index (YI), geometric mean yield (GMP) and harmonic productivity (HMP) express the yield of a particular genotype under worse conditions to the average yield of the studied genotypes in these conditions, but the indices YI, GMP, HMP are calculated using different formulas. According to these indices, LR/H populations with indicators of 126.6, 360 and 350, respectively, were distinguished. Based on the results of the study and their analysis, we proposed a stress resistance index ISR, which in our opinion characterizes the genotypes of stress resistance not only by a smaller difference in yield under worse and better conditions, but also takes into account high productivity under stress. **Conclusions.** Analyzing the obtained data on drought resistance indices and biplot analysis in alfalfa populations of the second year of life in terms of seed productivity, we selected five genotypes, which were divided into three groups. Six main indices YI, GMP, HMP, SSI, STI, DI were selected and the ISR stress resistance index was proposed, which not only characterizes the population in terms of drought resistance, but also in terms of productivity under stress conditions.

Key words: alfalfa, seed productivity, drought resistance, indices, biplot analysis.

Постановка проблеми. Люцерна – багаторічна кормова культура, що вирощується в усьому світі та серед кормових бобових культур характеризується високою продуктивністю біомаси, поживною цінністю з високим умістом білка. Люцерна сприяє підвищенню родючості ґрунту [28], захищає ґрунти від вітрової та водної ерозії [1], підвищує стійкість системи рослинництва та тваринництва [3]. Окрім того, фіксація атмосферного азоту робить її незамінним попередником для інших сільськогосподарських культур.

Люцерна зростає в широкому діапазоні кліматичних умов – від екватора і майже до арктичних полярних кіл [37]. Згідно з численними прогнозами, глобальна зміна клімату призведе до підвищення температури, зміни географічної структури опадів і в майбутньому до збільшення частоти екстремальних кліматичних явищ [2; 22], що вже спостерігається в умовах Півдня України. Абіотичні стреси – основні чинники, що знижують продуктивність культур. Засуха є найбільш вагомим, оскільки обмежує можливість сільськогосподарських рослин, знижуючи їхню продуктивність у посушливих і напівпосушливих районах [23; 34]. Інтенсивність і ступінь тяжкості посухи можуть вплинути на такий чутливий стратегічний сектор, як сільське господарство, що може поставити під загрозу продовольчу безпеку. Пагубні наслідки абіотичного стресу є серйозним обмеженням для вирощування цієї культури [47; 48]. Але люцерна за рахунок потужної і розгалуженої кореневої системи вважається культурою з високою посухостійкістю й широкою адаптивністю до посушливих умов [29; 45]. Проте, як і будь-яка інша культура, вона негативно реагує на посуху, і, щоб адаптуватися й вижити в стресових умовах, у неї виникають морфологічні, фізіологічні, біохімічні або молекулярні зміни, що необхідно враховувати під час створення посухостійких сортів з одночасним підвищенням урожайності та якості продукції.

За настання посушливого періоду рослини люцерни (*Medicago*) скорочують надземну вегетативну масу [15; 16], що обмежує індекс площі листя, унаслідок чого зменшується продуктивність біомаси. Для стабілізації і підвищення

продуктивності люцерни необхідно збільшити посухостійкість рослин, тому дослідження цієї ознаки є важливим етапом у селекційних програмах [50].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Величина втрати вологи від евапо-транспірації неухильно зростає, і ця тенденція в майбутньому тільки погіршуватиметься [2], тому зниження врожайності є головною проблемою і водночас підставою для посилення селекційної роботи з адаптації сільськогосподарських культур до зміни клімату і, відповідно, підвищення їхньої продуктивності у стресових умовах [10]. Виявлення та створення стійких до посухи генотипів – одне з головних завдань селекційних програм, але виведення високоврожайних сортів і реалізація їхнього потенціалу врожайності в посушливих умовах – надзвичайно складне завдання для селекціонерів [36; 40; 41]. Розвитку посухостійких сортів перешкоджають низька спадковість ознак і відсутність ефективних стратегій відбору [25]. Відбір стійких до посухи популяцій є досить складним через сильну взаємодію між генотипами і навколишнім середовищем та обмеження знань щодо функцій та ролі механізмів стійкості. Використовують різні методи для оцінки генетичних відмінностей стійкості до посухи. Деякі дослідники вважають, що проводити відбір генотипів необхідно тільки в сприятливих умовах [5], а інші – у посушливому середовищі [11; 12]. Проте існує безліч дослідників, які використовують відбір генотипів як у сприятливих, так і в стресових умовах [14; 18].

Чутливість рослин до посухи визначається як функція зниження врожайності за водного стресу [26] порівняно з потенційною врожайністю [39]. Тому для диференціації генотипів за посухостійкістю використовують різні селекційні індекси, які ґрунтуються на продуктивності рослин в оптимальних і стресових умовах [19; 30], для відбору посухостійких генотипів [9; 32; 51].

A.A. Rosielle et al. [42] запропонували використовувати індекс толерантності (TOL) як різницю між урожайністю за зрошення й урожайністю в умовах природного зволоження, а також середню врожайність (MP) як середнє арифметичне значення врожайності в стресових і оптимальних умовах. A. Blum [6; 7] визначив індекс посухостійкості (DI), який був загальноприйнятим для виділення генотипів, що забезпечують високу врожайність як у стресових, так і в кращих умовах. R.A. Fisher et al. [19] рекомендують застосовувати індекс чутливості до стресу (SSI) для визначення стабільності продуктивності рослин, який фіксує значення врожайності в оптимальних і стресових умовах. Індекс чутливості до стресу (SSI) є хорошим показником для виявлення високоврожайних генотипів, що мають також високу стійкість до стресу. Як правило, нижчий рівень SSI указує на меншу варіацію врожайності сорту за стресових і оптимальних умов вирощування. C.J. Fernandez [18] та J. Saba et al. [43] рекомендують застосовувати індекс толерантності до стресу (STI) для скринінгу високоврожайних генотипів в умовах стресу та його відсутності, а також використовувати його в селекційних програмах. Стабільні сорти мають більш високі значення цього індексу. Вивчаючи врожайність генотипів бобів мунг (*Vigna radiata* L.) у стресових і оптимальних середовищах. C.J. Fernandez класифікував їх на чотири групи:

група А – сорти, які мають однаково високу продуктивність в обох середовищах;

група В – сорти, які відрізняються високою продуктивністю лише в оптимальних умовах;

група С – сорти, у яких висока продуктивність під час стресу;

група D – сорти, у яких низька продуктивність в обох середовищах.

Для визначення сприйнятливості сортів до стресу через різну інтенсивність посухи в різні роки С.С. Fernandez [18] та А.С. Kristin et al. [27] запропонували використовувати середньогометричну продуктивність (GMP) сортів в обох середовищах. Окрім того, Gavuzzi et al. [20], М. Bouslama et al. [8] та R. Choukan et al. [13] запропонували використовувати індекс урожайності (YI), індекс стабільності врожайності (YSI) та індекс зниження врожайності (YRI) відповідно.

Під час вивчення індексів посухостійкості кукурудзи А. Moghaddam et al. [33] заявили, що низький індекс толерантності (TOL) не обов'язково означає високу врожайність сорту за стресових умов, тому що врожайність певного сорту може бути низькою в оптимальних умовах і показати менше зниження її під час стресу, що призводить до зменшення TOL, і, відповідно, даний сорт може бути визначений як стійкий до посухи. Але С.С. Fernandez [18] уважав, що індекси TOL і SSI більше відображають посухостійкість сорту. На думку М. Naeemi et al. [38], застосування індексу SSI для визначення стійких до посухи сортів є помилковим напрямом. Вони вважають, що, оскільки у формулі розрахунку цього індексу використовувалася частка врожайності певного сорту під час стресу до оптимальних умов, а також відношення продуктивності в стресових до нестресових умов у всіх сортів, то два сорти з високою або низькою врожайністю в обох середовищах можуть мати однакові значення SSI. Що стосується MP, то автори виявили, що використання середнього індексу продуктивності часто призводить до вибору сортів із високою врожайністю за оптимальних умов, які менш толерантні до стресу. F. Malek-Shahi et al. [31] представили MP як відповідний індекс для визначення посухостійких сортів. А.Н. Shirani Rad et al. [44], вивчаючи сприйнятливості до стресу у шести сортів ріпаку озимого, вважають що індекси GMP, STI і MP є найбільш відповідними для визначення посухостійких сортів. Такої ж думки дотримуються А. Sio-Se-Mardeh et al. [46], які надають великого значення індексам GMP, STI і MP як найбільш ефективним для виявлення сортів із високою врожайністю під час посухи і в оптимальних умовах [49].

Із метою підвищення ефективності індексу STI Е. Farshadfar et al. [17] запропонували модифіковані індекси стійкості до стресу (M_1STI , M_2STI), які коригують STI. Для скринінгу посухостійких генотипів за різних умов середовища S.S. Moosavi et al. [35] представили процентний індекс схильності до стресу (SSPI).

Z. Nao et al. [21] рекомендують індекс як інтегрований критерій відбору (SI), тому що він забезпечує оцінку стійкості до стресу посухи на основі врожайності і пов'язаних із ним агрономічних характеристик і, таким чином, буде корисний для визначення стійких до посухи генотипів у селекційних програмах [24].

Виходячи з аналізу літературних джерел, для визначення посухостійкості генотипів існує 14 індексів, які ми застосовували у своїх дослідженнях.

Постановка завдання. Мета статті – провести оцінку реакції сортів і популяцій люцерни за різних середовищ та визначити кращі не лише за посухостійкістю, а й за продуктивністю в умовах стресу з подальшим використанням їх у селекційному процесі, виявити індекси, які б дали змогу виділити генотипи з такими ознаками.

Матеріали і методи. Дослідження проводили в Інституті зрошуваного землеробства НААН (Україна, м. Херсон, сел. Наддніпрянське, 46°44'50.1" N 32°42'30.0"E), що розташований на Інгулецькому зрошуваному масиві, протягом 2017–2020 рр. у польових умовах. Об'єктом вивчення були сорти та популяції люцерни: Унітро, Елегія, Приморка, М.г./ П.п., Син (с)./Приморка, LR/ Н, Приморка / Сін(с), А.-Н. d. № 114, А.-Н. d. № 15, А.-Н. d. № 38, D. к.с.. Ram. d.,

(Емерауде /Т.)², Т./Емерауде, М.г. ЦП-11, М.agr/С., А.г. d., М.г./ М.agr., М.г. d., ФХНВ², В.11/П. d., Ж./ ЦП-11 за насіннєвого напряму використання на другому році життя травостою.

Продуктивність та посухостійкість визначали з застосуванням різних індексів:

Rosielle and Hamblin (1981) (1)

де MP – середня врожайність, $MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$, Y_p – урожайність за оптимальних умов, Y_s – урожайність за стресових умов.

$$SSI = \frac{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}{1 - \frac{Y_s}{\bar{Y}_p}}, \quad \text{Fisher and Maurer, (1978) (2)}$$

де SSI – індекс сприятливості до посухи, \bar{Y}_p – середня врожайність усіх сортів за оптимальних умов, Y_s – середня врожайність усіх сортів за стресових умов.

$TOL = Y_p - Y_s$, Rosielle and Hamblin (1981) (3)

де TOL – індекс толерантності до посухи.

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}, \quad \text{Bousslama and Schapaugh (1984) (4)}$$

де YSI – індекс стабільності урожаю.

$$YI = 100 \times \frac{Y_s}{Y_p}, \quad \begin{array}{l} \text{Gavuzzi et al. (1997);} \\ \text{Lin et al. (1986)} \end{array} \quad (5)$$

де YI – індекс урожайності.

$$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{\bar{Y}_p^2}, \quad \text{Fernandez (1992) (6)}$$

де STI – індекс толерантності до стресу.

$$GMP = \sqrt{Y_s \times Y_p}, \quad \begin{array}{l} \text{Fernandez (1992);} \\ \text{Kristin et al. (1997)} \end{array} \quad (7)$$

де GMP – середня геометрична (пропорційна) врожайність.

$$RDI = \frac{\frac{Y_s}{Y_p}}{\frac{Y_s}{\bar{Y}_p}}, \quad \text{Fischer and Maurer (1978) (8)}$$

де RDI – індекс відносної стійкості до посухи.

$$DI = \frac{Y_s \times \left(\frac{Y_s}{Y_p} \right)}{Y_s}, \quad \text{Lan (1998) (9)}$$

де DI – індекс посухостійкості.

$$SSPI = 100 \times \frac{Y_p - Y_s}{2 \times Y_p}, \quad \text{Moosavi et al. (2007) (10)}$$

де SSPI – індекс схильності до стресу.

$$M_1STI = STI \times \left(\frac{Y_p}{Y_p} \right)^2, \quad \text{Farshadfar (11)}$$

$$M_2STI = STI \times \left(\frac{Y_s}{Y_s} \right)^2, \quad \text{and Sutka (2002) (12)}$$

де M_1STI , M_2STI – модифіковані індекси толерантності до стресу.

$$ATI = \frac{Y_p - Y_s}{\frac{Y_p}{Y_s}} \times \sqrt{Y_p \times Y_s}, \quad \text{Moosavi et al. (2007) (13)}$$

де ATI – індекс абіотичної толерантності.

$$HMP = 2 \times \frac{Y_p \times Y_s}{Y_p + Y_s}, \quad \begin{array}{l} \text{Kristin et al. (1997);} \\ \text{Chakherchaman et al. (2009); (14)} \\ \text{Jafari et al. (2009)} \end{array}$$

де HMP – гармонічна середня продуктивність.

Статистичну обробку експериментальних даних проводили AgroSTAT, XLSTAT, Statistica (v. 13).

Виклад основного матеріалу дослідження. Погодні умови за роки проведення досліджень різнилися як за температурним режимом, так і за кількістю та характером опадів, що дало можливість проаналізувати сорти і популяції люцерни за насінневою продуктивністю на стійкість до стресових (посушливих) умов вирощування. Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) у 2018 і 2020 рр. варіював у межах 0,51–0,55, що вказує на дуже посушливі кліматичні умови, тоді як у 2019 р. він становив 0,88, що відповідає посушливим умовам. Аналіз стійкості сортів і популяцій люцерни до стресових умов проводили за показниками 14 різних індексів посухостійкості: MP, SSI, TOL, YSI, YI, STI, GMP, RDI, DI, SSPI, M_1STI , M_2STI , ATI, HMP та індексом стійкості до стресу ISR, розробленого нами.

У селекції рослин на посухостійкість важливим аспектом є не лише стійкість рослин до посухи, тобто здатність рослин переносити значне зневоднення і перегрів та виживати під час посухи з найменшим зниженням врожайності, а й формувати максимальну продуктивність в умовах стресу. Наприклад, у генотипів може бути як невелике зменшення, тобто незначна різниця врожайності, отриманої в оптимальних і стресових умовах, а й низька продуктивність під час стресу. І навпаки, у популяції висока продуктивність за посухи, проте більша різниця між врожайністю за оптимальних і стресових умов.

Таблиця 1

**Урожайність насіння популяцій люцерни другого року життя
в умовах природного зволоження та показники індексів посухостійкості (2018–2020 рр.)**

Назва	Скорочення	Ур	Ys	MP	SSI	TOL	YSI	YI	STI	GMP	RDI	DI	SSPI	M ₁ STI	M ₂ STI	MSTI	ATI	HMP	ISR
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Уніпро, ст-т	G1	357,1	202,4	279,8	1,03	154,7	0,57	89,7	0,48	269	0,98	0,51	19,85	0,40	0,38	0,15	24091	258	1079
Елегія	G2	464,3	250,0	357,2	1,10	214,3	0,54	110,8	0,76	341	0,93	0,60	27,50	1,09	0,94	1,02	42291	325	1174
Приморка	G3	428,6	238,1	333,4	1,06	190,5	0,56	105,5	0,67	320	0,96	0,59	24,44	0,81	0,75	0,61	35250	306	1205
М.г./Пл.	G4	440,5	250,0	345,3	1,03	190,5	0,57	110,8	0,73	332	0,98	0,63	24,44	0,93	0,89	0,82	36618	319	1337
Син (с)/Приморка	G5	488,1	261,9	375,0	1,10	226,2	0,54	116,0	0,84	358	0,93	0,62	29,03	1,32	1,13	1,50	46846	341	1220
LR/H	G6	452,4	285,7	369,1	0,88	166,7	0,63	126,6	0,85	360	1,09	0,80	21,39	1,15	1,36	1,57	34714	350	2104
Приморка /Сін(с)	G7	407,1	250,0	328,6	0,92	157,1	0,61	110,8	0,67	319	1,06	0,68	20,16	0,73	0,82	0,60	29030	310	1679
А.-Н. д. № 114	G8	419,0	261,9	340,5	0,89	157,1	0,63	116,0	0,72	331	1,08	0,73	20,16	0,84	0,97	0,81	30144	322	1863
А.-Н.д. № 15	G9	500,0	250,0	375,0	1,19	250,0	0,50	110,8	0,82	354	0,86	0,55	32,08	1,36	1,01	1,37	51198	333	1000
А.-Н. д. № 38	G10	404,8	214,3	309,6	1,12	190,5	0,53	95,0	0,57	295	0,91	0,50	24,44	0,62	0,52	0,32	32500	280	968
Добір за к.с.	G11	488,1	238,1	363,1	1,22	250,0	0,49	105,5	0,77	341	0,84	0,51	32,08	1,20	0,85	1,02	49366	320	908
Ram. d.	G12	357,1	202,4	279,8	1,03	154,7	0,57	89,7	0,48	269	0,98	0,51	19,85	0,40	0,38	0,15	24091	258	1079
(Емергауде П.) ²	G13	381,0	261,9	321,5	0,74	119,1	0,69	116,0	0,66	316	1,19	0,80	15,28	0,63	0,88	0,56	21792	310	2680
Т/Емергауде	G14	333,3	214,3	273,8	0,85	119,0	0,64	95,0	0,47	267	1,11	0,61	15,27	0,34	0,42	0,15	18422	261	1681
М.г./ЦП-11	G15	428,6	261,9	345,3	0,92	166,7	0,61	116,0	0,74	335	1,05	0,71	21,39	0,89	1,00	0,89	32351	325	1731
Зимостійка/М.К.	G16	381,0	214,3	297,7	1,04	166,7	0,56	95,0	0,54	286	0,97	0,53	21,39	0,51	0,48	0,25	27591	274	1119
М.agr/С.	G17	321,4	214,3	267,9	0,79	107,1	0,67	95,0	0,45	262	1,15	0,63	13,74	0,31	0,41	0,13	16281	257	1930
А.г.д.	G18	273,8	178,6	226,2	0,83	95,2	0,65	79,1	0,32	221	1,13	0,52	12,22	0,16	0,20	0,03	12194	216	1477
М.г./М.agr.	G19	357,1	178,6	267,9	1,19	178,5	0,50	79,1	0,42	253	0,86	0,40	22,90	0,35	0,26	0,09	26111	238	715
М.г.д.	G20	299,5	214,3	256,9	0,68	85,2	0,72	95,0	0,42	253	1,24	0,68	10,93	0,25	0,38	0,10	12503	250	2648
ФХНВ ²	G21	285,7	131,0	208,4	1,29	154,7	0,46	58,0	0,25	194	0,79	0,27	19,85	0,13	0,08	0,01	17336	180	447
В.11/П.д.	G22	392,9	238,1	315,5	0,94	154,8	0,61	105,5	0,62	306	1,05	0,64	19,86	0,63	0,69	0,43	27425	297	1534
Ж/ЦП-11	G23	357,1	190,5	273,8	1,11	166,6	0,53	84,4	0,45	261	0,92	0,45	21,38	0,38	0,32	0,12	25169	249	875
Сибір. 8. д.	G24	333,3	214,3	273,8	0,85	119,0	0,64	95,0	0,47	267	1,11	0,61	15,27	0,34	0,42	0,15	18422	261	1681

Закінчення таблиці 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Середньо-популяційна			389,7	225,7	307,7	0,99	164,0	0,58	100,0	0,59	296	1,01	0,59	21,04	0,66	0,65	0,53	28822	285	1422
Медіана			387,0	226,2	312,5	1,03	161,9	0,57	100,2	0,60	300	0,98	0,61	20,77	0,63	0,61	0,38	27508	288	1278
V, %			16,57	15,51	15,30	16,13	26,7	11,50	15,51	28,76	15,1	11,64	20,76	26,75	56,67	51,73	90,91	38,0	15,1	39,3
S _x абс.			13,18	7,14	9,61	0,03	9,0	0,01	3,17	0,03	9,2	0,02	0,02	1,15	0,08	0,07	0,10	2236,2	8,8	114,2
S _x віднос.			3,38	3,17	3,12	3,29	5,5	2,35	3,17	5,87	3,1	2,38	4,24	5,46	11,57	10,56	18,56	7,8	3,1	8,0
НР ₀₁			41,77	22,65	30,46	0,10	28,4	0,04	10,03	0,11	29,0	0,08	0,08	3,64	0,24	0,22	0,32	7088,7	27,9	362,0
НР ₀₅			30,18	16,36	22,00	0,07	20,5	0,03	7,25	0,08	21,0	0,05	0,06	2,63	0,17	0,16	0,23	5120,9	20,1	261,5

Для зручності за врожайністю насіння популяції люцерни поділені на три групи. За кращих умов (Y_p) популяції з урожайністю 400,0 кг/га і вище були віднесені до групи з високою, $300,0 \leq Y_p < 400,0$ із середньою і нижче 300,0 кг/га – із низькою врожайністю, у стресових умовах $Y_s \geq 250,0$ кг/га – з високою, $200,0 \leq Y_s < 250,0$ – середньою і нижче 200,0 кг/га – до групи з низькою врожайністю.

Високою насінневою продуктивністю за кращих умов характеризувалися популяції А.-Н.д. № 15, Син (с)/Приморка та Добір за к.с. зі значенням $Y_p = 488,1-500,0$ кг/га, але тільки Син (с)/Приморка формувала високу врожайність ($Y_s = 261,9$ кг/га) за гірших умов. Найбільшу насінневу продуктивність $Y_s = 285,7$ кг/га за погіршених умов зволоження мала популяція LR/ Н (табл. 1).

Середня продуктивність МР характеризує потенційну врожайність генотипу у посушливі та оптимальні за зволоженням роки. Як правило, більш високе значення МР є показником генотипів із більш високим потенціалом урожайності. У зв'язку із цим необхідно виділити три популяції люцерни: Син (с)/Приморка та А.-Н.д. № 15 із показником 375,0 і LR/ Н, у якої він дорівнював 369,1. Вони мали високу насінневу продуктивність як за гірших, так і поліпшених умов зволоження.

Індекс чутливості до посухи (SSI) коливався в межах 0,68–1,29. Він характеризує чутливість генотипу до впливу посухи: чим менший показник, тим більша посухостійкість генотипу. Найнижчі показники індексу чутливості до посухи (SSI), а відповідно, й більшу стійкість мали популяції: М.г. d. – 0,68 та (Емерауде /Т.)² – 0,74.

Індекс толерантності до посухи (TOL) та індекс схильності до стресу (SSPI) близькі за своєю суттю і показують утрату врожайності під впливом посухи: перший – в абсолютних одиницях, другий – у відсотках.

Найменшим значенням індексів толерантності до посухи (TOL) 85,2 і схильності до стресу (SSPI) 10,93 характеризувалася популяція М.г. d. Урожайність її в кращих умовах – 299,5 кг/га і 214,3 кг/га за стресових умов свідчить про вищу стійкість до посухи, але вона не характеризувалася більшою продуктивністю в умовах стресу, ніж популяція (Емерауде /Т.)² з індексами TOL 191,1 і SSPI 15,28, що сформувала високу врожайність за стресових умов – 261,9 кг/га. Тому, виходячи із цього, низькі показники TOL і SSPI означають стійкість до стресу, проте існує дуже висока

ймовірність, що більш продуктивні за стресових умов популяції, хоча і з вищими показниками індексів TOL і SSPI, не будуть виділені як посухостійкі.

За індексом стабільності врожаю (YSI), тобто відношенню врожайності за стресових умов до врожайності в кращих умовах, із коливаннями від 0,46 до 0,72, виділилися популяції (Емерауде /Т.)² та М.г.д., у яких даний показник індексу варіював в межах 0,69–0,72, але популяція М.г.д., як і у попереднього індексу, мала середню врожайність за гірших і низьку – за кращих умов, що і призвело до високих показників індексу. Це означає, що індекс YSI потрібно використовувати тільки порівняно з іншими, тому що більш продуктивні популяції в умовах посухи можуть не увійти до групи посухостійких.

Індекс урожайності (YI), середня геометрична врожайність (GMP) і гармонійна продуктивність (НМР) відображають урожайність конкретного генотипу за гірших умов вирощування порівняно із середньою врожайністю досліджуваних у даних умовах генотипів, проте розраховуються вони за різними формулами. Уважається, що вони менш чутливі до великих відмінностей між значеннями потенційної врожайності й врожайності у стресових умовах. За цими індексами виділилася популяція LR/Н із показниками 126,6, 360 і 350 відповідно. Ми вважаємо, що ці індекси найбільш повно характеризують стійкість популяцій до посухи а також високу продуктивність в умовах стресу (285,70 кг/га).

Індекс толерантності до стресу (STI) із діапазоном коливання від 0,25 до 0,85 характеризує здатність генотипу формувати стабільний рівень урожайності незалежно від стресових чинників. За цим індексом виділилися вісім популяцій, які істотно перевищували середньопопуляційну, але їх можна розділити на дві групи:

- Елегія, М. г./ П.п., Син (с) / Приморка, LR/Н, А.-Н.д. №114, А.-Н.д. № 15 та М. г./ ЦП-11 – (індекс STI варіює від 0,72 до 0,85) мали високу урожайність за гірших умов 250,0–285,7 кг/га та високу за кращих – 419,0–500,0 кг/га.
- Добір за к.с., у якої індекс STI – 0,77, але висока урожайність за кращих умов (488,1 кг/га) і середня при стресі (238,1 кг/га).

За індексом відносної посухостійкості (RDI) було виділено дві популяції (Емерауде /Т.)² та М.г.д. з показниками індексу 1,19 та 1,24 відповідно.

За індексом посухостійкості (DI) виділилися шість популяцій, що істотно перевищували середньопопуляційну, проте їх можна розділити на три групи:

- LR/Н, Приморка / Син (с), А.-Н.д. №114 та М. г./ ЦП-11 – індекс DI варіює від 0,68 до 0,80 і у них висока врожайність за гірших умов 250,0–285,7 кг/га та висока за кращих – 407,1–452,4 кг/га;
- (Емерауде /Т.)², у якої індекс DI – 0,80, але висока врожайність за гірших умов (261,9 кг/га) і середня за кращих (381,0 кг/га);
- М.г.д., у якої індекс DI – 0,68, але середня врожайність за гірших умов (214,3 кг/га) і низька за кращих (299,5 кг/га)

Вивчаючи модифіковані індекси толерантності до стресу (M₁STI, M₂STI і MSTI) виділилися дві популяції (Син (с) / Приморка і А.-Н.д. №15) з індексом M₁STI рівному 1,32–1,36, LR/Н з індексом M₂STI – 1,36 та дві популяції люцерни (Син (с) / Приморка і LR/Н) з індексом MSTI – 1,50–1,57.

Індекс абіотичної толерантності (АТІ) коливається від 12194 до 51198, у нашому разі він не придатний для характеристики стійкості популяцій люцерни до стресу, оскільки, використовуючи цей показник, було виділено дві популяції (А.-Н. д. №15 та Добір за к.с.), у яких була висока врожайність за кращих умов (488,1–500,0 кг/га), але висока або середня – за гірших (238,1–250,0). Тобто цей індекс характеризує популяції з більшою врожайністю за кращих умов.

Виходячи з результатів дослідження та їх аналізу, нами запропоновано індекс стійкості до стресу ISR, який, на нашу думку, характеризує генотипи за стійкістю до стресу не лише за меншою різницею врожайності за гірших та кращих умов, а й ураховує високу продуктивність під час стресу (рис. 1).

Індекс стійкості до стресу ISR визначається за формулою:

$$ISR = \frac{Y_p \times Y_s}{(Y_p - Y_s) \times \left(1 - \frac{Y_s}{Y_p}\right)} \quad (15)$$

За індексом стійкості до стресу (ISR) було виділено дев'ять популяцій, що істотно перевищували середньопопуляційну, проте їх можна розділити на чотири групи:

- LR/Н, Ram.d., Приморка / Син(с), А.-Н.d. №114 та М. g./ ЦП-11 – індекс ISR варіює у межах 1679–2104 та вони характеризуються високою врожайністю як за гірших умов 250,0–285,7 кг/га, так і за кращих – 407,1–452,4 кг/га;
- (Емерауде /Т.)², у якої індекс ISR дорівнює 2680, але середня врожайність за кращих умов (381,0 кг/га) і висока – під час стресу (261,9 кг/га);
- Т./ Емерауде, М.agr/С. та Сибір. 8, d., у яких індекс ISR варіює у межах 1681–1930, і вони характеризуються середньою врожайністю як за гірших умов 214,3 кг/га, так і за кращих – 321,4–333,3 кг/га;
- М.g. d., у якої індекс ISR дорівнює 2648, але низька врожайність за кращих умов (299,5 кг/га) і середня – під час стресу (214,3 кг/га).

Насіннева продуктивність популяцій люцерни за стресових умов (Y_s) має високий позитивний кореляційний зв'язок ($r = 0,798-1,000$) з індексами MP, YI, STI, GMP, DI, M₁STI, M₂STI, MSTI та HMP. Середній зв'язок ($r = 0,332-0,589$) спостерігався між урожайністю за стресових умов та індексами TOL, SSPI, ATI та ISR і низький ($r = 0,287$) з індексами YSI й RDI. Низька від'ємна кореляційна залежність ($r = -0,872$) спостерігалася між урожайністю насіння, вирощеного в гірших умовах, та індексом чутливості до посухи (SSI). На другому році життя рослин між урожайністю насіння за різних умов зволоження (кращий та гірший роки) має місце висока позитивна кореляційна залежність ($r = 0,768$).

За результатами GGE біплот-аналізу на травостої другого року життя виділилася популяція G6 – LR/ Н, що мала найбільший урожай насіння за гірших умов зволоження та знаходиться в одній чверті з вектором урожайності в стресових умовах (Y_s) і є найближчою до його вершини (рис. 1).

Популяції G5 – Син (с)/Приморка, G9 – А.-Н.d. № 15 та G11 – Добір за к.с., що перебувають в одній чверті з вектором урожайності за кращих умов (Y_p), утворюючи тупий кут, та є найближчими до його вершини, найкраще відкликаються на поліпшення умов зволоження.

Увагу слід приділити генотипам G18 – А.g. d. та G20 – М.g. d., що знаходяться в IV чверті та характеризуються найменшим зниженням урожайності насіння від погіршення умов вирощування і можуть уважатися найбільш стабільними популяціями.

Популяції G21 – ФХНВ², що знаходяться в III чверті, характеризуються найменшою врожайністю насіння за різних умов.

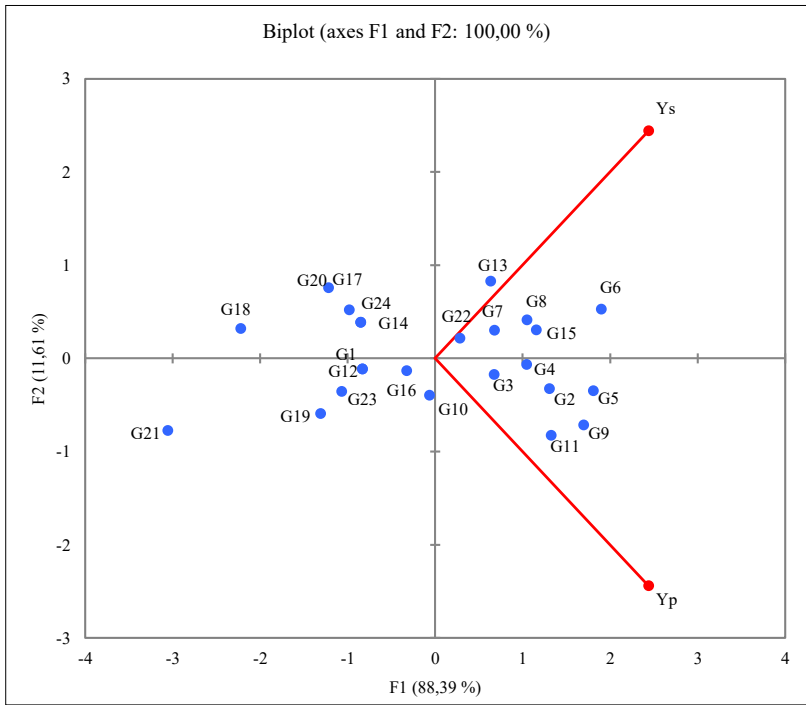


Рис. 1. Генотип-середовищна взаємодія популяцій люцерни і середовищ (метод біплот-аналіз). Лініями показано власні вектори провідних факторних навантажень для середовищ: ● – умови зволоження; ● – генотипи

Висновки. Аналізуючи отримані дані за індексами посухостійкості та біплот-аналізом у популяції люцерни другого року життя за насінневою продуктивністю, нами виділено п'ять генотипів, що були розділені на три групи:

- популяція LR/ Н, що формує високу врожайність (285,7 кг/га) за погіршення умов зволоження;
- популяції Син (с)/Приморка, А.-Н.д. № 15 та Добір за к.с. вибагливі до умов зволоження, тому найбільшу врожайність насіння формують за більш сприятливих погодних умов;
- популяції М.г. д. формують невисокі, але стабільні врожаї насіння як за кращих (299,5 кг/га), так і за гірших умов (214,3 кг/га).

Відібрано шість основних індексів YI, GMP, HMP, SSI, STI, DI і запропонований індекс стійкості до стресу ISR, що характеризують популяцію не лише за посухостійкістю, а й за продуктивністю в умовах стресу. Індекси YSI, RDI, TOL, SSPI та модифіковані M_2STI і $MSTI$ можуть використовуватися як допоміжні до основних. Індекси ATI і M_1STI не можуть використовуватися для аналізу генотипів на посухостійкість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Abdelguerfi, A., M. Abdelguerfi-Laouar. Forage and pasture species: The uses in Maghreb (Algeria, Morocco, and Tunisia). FAO, Rome, Italy. 2002.
2. Aleksandrov V. Climate change on the Balkan Peninsula. *Ecology and future*. 2002. Vol. I, № 2–4. P. 26–30.

3. Annicchiarico P. et al. Adaptation of landrace and variety germplasm and selection strategies for lucerne in the Mediterranean basin. *Field Crops Research*. 2011. Vol. 120, Issue 2. P. 283–291. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.11.003.
4. Annicchiarico P., Pecetti L. and Tava A. Physiological and morphological traits associated with adaptation of lucerne (*Medicago sativa*) to severely drought-stressed and to irrigated environments. *Annals of Applied Biology*. 2013. Vol. 162, Issue 1. P. 27–40. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2012.00576.x.
5. Betran F.J., Beck D., Banziger M. and Edmeades G.O. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and non-stress environments in tropical maize. *CropSci*. 2003. Vol. 43. P. 807–817. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.8070>
6. Blum A. Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 1988.
7. Blum A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*. 2005. Vol. 56, № 11. P. 1159–1168. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR05069>.
8. 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.
9. Boussen H. et al. Evaluation of drought tolerance indices in durum wheat recombinant inbred lines. *Options Mediterraneennes*. 2010. Vol. 95. P. 79–83. URL: <http://om.ciheam.org/om/pdf/a95/00801329.pdf>.
10. Cattivelli L. et al. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*. 2008. Vol. 105. P. 1–14. DOI: 10.1016/j.fcr.2007.07.004.
11. Ceccarelli S. Yield potential and drought tolerance of segregating populations of barley in contrasting environments. *Euphytica*. 1987. Vol. 36, Issue 1. P. 265–273.
12. Ceccarelli S., Grandi S. Selection environment and environmental sensitivity in barley. *Euphytica*. 1991. Volume 57, Issue 2. P. 157–167.
13. Choukan R., Taherkhani T., Ghannadha M.R. and Khodarahmi M. Evaluation of drought tolerance in grain maize in bred lines using drought tolerance indices. *Iran. J. Agric. Sci*. 2006. Vol. 8, Issue 1, P. 79–89.
14. Clarke J.M., DePauw R.M., Townley-Smith T.M. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *CropSci*. 1992. Vol. 32, Issue 3. P. 728–732. URL: <https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183X003200030029x>.
15. Djamel Bellague, Mahfoud M’Hammedi-Bouzina, Aïssa Abdelguerfi. Measuring the performance of perennial alfalfa with drought tolerance indices. *Chilean journal of agricultural*. 2016. Vol.76, Issue 3. P. 273–284. DOI: 10.4067/S0718-58392016000300003.
16. Durand J.L. Les effets du stress hydrique sur la plante: The effects of water stress on the plant: Physiological aspects. *Fourrages*. 2007. Vol. 190. P. 181–195.
17. Farshadfar E, Sutka J. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Res Commun*. 2002. Vol. 31. P. 33–40. URL: <https://www.jstor.org/stable/23787201>.
18. Fernandez C.J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Aug. 13–16. Shanhua, Taiwan, 1992. P. 257–270.
19. 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](https://doi.org/10.1071/AR9780897)
20. Gavuzzi P. 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.

21. Hao Z. et al. A proposed selection criterion for drought resistance a cross-multiple environments in maize. *Breeding Sci.* 2011. Vol. 61. P. 101–108. DOI: <https://doi.org/10.1270/jsbbs.61.101>
 22. Harrison M. T. et al. Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. *Glob. Change Biol.* 2014. Vol. 20, Issue 3, P. 867–878. DOI: 10.1111/gcb.12381.
 23. Hussain S.S., Raza H., Afzal I., and Kayani M.A. Transgenic plants for abiotic stress tolerance: Current status. *Archives of Agronomy and Soil Science.* 2012. Vol. 58, Issue 7, P. 693–721. DOI: 10.1080/03650340.2010.540010.
 24. Khalili M., Pour-Aboughadareh A., Naghavi M. R. Assessment of drought tolerance in barley: integrated selection criterion and drought tolerance indices. *Environmental and Experimental Biology.* 2016. Vol. 14. P. 33–41. DOI: 10.22364/eeb.14.06
 25. Kirigwi F.M. et al. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across waterregimes. *Euphytica.* 2004. Vol. 135, Issue 3. P. 361–371. DOI: 10.1023/B:EUPH.0000013375.66104.04.
 26. Koleva M., Dimitrova V. Evaluation of drought Tolerance in new cotton cultivars using stress tolerance indices. *Agrofor International Journal.* 2018. Vol. 3, Issue No. 1. P. 11–17. DOI: 10.7251/AGRENG1801011K
 27. Kristin A.S. et al. Improving common bean performance under drought stress. *CropSci.* 1997. Vol. 37. P. 43–50.
 28. Latrach L. et al. Growth and nodulation of alfalfa-rhizobia symbiosis under salinity: electrolyte leakage, stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry.* 2014. Vol. 38. P. 320–326. DOI: 10.3906/tar-1305-52.
 29. Lemaire G. 2006. La luzerne: Alfalfa. Productivity and quality. forage Fabaceae diversity and their symbionts: biotechnological, agronomic and environmental applications. / In Abdelguerfi A. (ed.). International Workshop, Algiers, Algeria. P. 174–182.
 30. 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. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>.
 31. Malek-Shahi F., Dehghani G.H., Alizadeh B. A. Study of Drought Tolerance Indices in Canola (*Brassica napus* L.) Genotypes. *JWSS Isfahan Univ. Technol.* 2009. Vol. 13, Issue 48. P. 77–90.
 32. Mitra J. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Sci.* 2001. Vol. 80. P. 758–762.
 33. Moghaddam A., Hadizadeh M.H. Response of corn (*Zea mays* L.). Hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *J. Seed and plant improvement.* 2002. Vol. 18, Issue 3. P. 255–275.
 34. Mollasadeghi V., Valizadeh M., Shahryari R. and Imani A.A. Evaluation of end drought tolerance of 12 wheat genotypes by stress indices. *World Applied Sciences Journal.* 2011. Vol. 13, Issue 3. P. 545–551.
 35. Moosavi S.S. et al. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. 2008. *Desert* 12. P. 165–178.
 36. Mustatea P. et al. Genotypic differences in wheat response to drought under conditions of the Year 2002. *Romanian Agricultural Research.* 2003. Vol. 19-20, P. 39–48.
 37. Muthukumar Bagavathiannan, Rene C Van Acker. The Biology and Ecology of Feral Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and Its Implications for Novel Trait Confinement in North America. *Critical Reviews in Plant Sciences.* 2009. Vol. 28, Issue 1–2. P. 69–87. DOI: 10.1080/07352680902753613.
 38. Naeemi M. et al. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. *Eelectronic Journal of Crop Production.* 2008. Vol. 1, Issue 3. P. 83–98.
-

39. Ramirez P., Kelly J.D. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*. 1998. No. 99. P. 127–136. DOI: [org/10.1023/A:1018353200015](https://doi.org/10.1023/A:1018353200015).
 40. Richards R. Physiological traits used in breeding of new cultivars for water scarce. *Agricultural Water Manage.* 2006. Vol. 80. P. 197–211.
 41. Richards R.A., Rebetzke G.J., Condon A.G. and Herwaarden A.F. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*. 2002. No. 42. P. 111–121. DOI: [10.2135/cropsci2002.1110](https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1110).
 42. 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).
 43. Saba J., Moghaddam M., Ghassemi K. and Nishabouri M.R. Genetic properties of drought resistance indices. *J. Agric. Sci. Technol.* 2001. Vol. 3. P. 43–49.
 44. Shirani Rad A.H., Abbasian A. Evaluation of drought tolerance in winter rape seed cultivars based on tolerance and sensitivity indices. *Zemdirbyst. Agriculture*. 2011. Vol. 98, Issue 1. P. 41–48.
 45. Shuo Li, Liqiang Wan, Zhongnan Nie & Xianglin Li. Fractaland Topological Analyses and Antioxidant Defense Systems of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Root System under Drought and Rehydration Regimes. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Issue 6. P. 1–21. DOI: [10.3390/agronomy10060805](https://doi.org/10.3390/agronomy10060805).
 46. Sio-Se-Mardeh A., Ahmadi A., Poustini K. and Mohammadi V. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Res.* 2006. Vol. 98. P. 222–229. DOI: [10.1016/j.fcr.2006.02.001](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.001).
 47. Vasconcelos E.S.D. et al. Alfalfa genotype selection for adaptability and stability of dry matter production. *Acta Sci. Agron.* 2008. Vol. 30, № 3. P. 339–343. DOI: [10.4025/actasciagron.v30i3.3511](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i3.3511).
 48. Wang Z. et al. Transgenic alfalfa plants expressing the sweet potato orange gene exhibit enhanced abiotic stress tolerance. *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10. DOI: [10.1371/journal.pone.0126050](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126050).
 49. Yarnia M., Arabifard N., Khoei F.R. and Zandi P. Evaluation of drought tolerance indices among some winter rape seed cultivars. *African Journal of Biotechnology*. 2011. Vol. 10, № 53. P. 10914–10922. DOI: [10.5897/AJB11.1748](https://doi.org/10.5897/AJB11.1748).
 50. Yu L-X. Identification of Single-Nucleotide Polymorphic Loci Associated with Biomass Yield under Water Deficit in Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Using Genome-Wide Sequencing and Association Mapping. *Front. Plant Sci.* 2017. Vol. 8. P. 1152. DOI: [10.3389/fpls.2017.01152](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01152).
 51. Zou G.H. et al. Screening for Drought Resistance of Rice Recombinant Inbred Populations in the Field. *J. Integr. Plant Biol.* 2007. Vol. 49, № 10. P. 1508–1516.
-