

Оцінювання посухостійкості селекційного матеріалу люцерни за показниками водного режиму в умовах Півдня України

Р. А. Вожегова¹, А. В. Тищенко^{1*}, О. Д. Тищенко¹, О. М. Димов¹, О. О. Пілярська¹, І. В. Смульська²

¹Інститут зрошуваного землеробства НААН України, с. Наддніпрянське, м. Херсон, 73483, Україна,

*e-mail: tischenko_andriy@ukr.net

²Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна

Мета. Оцінити селекційний матеріал люцерни за показниками водного обміну в різних умовах зволоження, установити закономірності їхнього вияву, взаємозв'язок між ними та посухостійкістю. Виділити кращі для включення в селекційний процес. **Методи.** Польовий, лабораторний, статистичний. **Результати.** Упродовж 2017–2020 рр. досліджено дев'ять популяцій люцерни за показниками водного режиму: обводненню тканин, водного дефіциту та водоутримувальної здатності листків в умовах зрошення та природного зволоження. Установлено закономірності їхнього прояву. За даними по обводненню листя, тобто показнику вмісту води, він є високим за зрошення (81,88; 79,63; 78,42%) і низьким без зрошення (69,20; 70,81; 71,84%). З обводненням листків тісно пов'язаний водний дефіцит, але вони знаходяться в зворотній залежності один з одним ($r = -0,986$ при зрошенні і $r = -0,863$ в умовах природного зволоження). Максимальним водний дефіцит у популяції був у стресовій ситуації (без поливу) – 50,28; 29,96; 33,0% і знижувався в рослин за зрошення до 12,64; 17,37; 22,04%. Водний дефіцит пов'язаний з водоутримувальною здатністю листя: чим він більший, тим нижче водоутримувальна здатність, що визначається здатністю утримувати воду. В умовах зрошення втрачалось від 13,9 до 17,3% за 2 години в'янення листків та 30,3–34,6% після 8 годин, а за 1 годину – 3,78–4,31%. Водоутримувальна здатність коливалася в межах 82,7–85,9% через 2 години в'янення листя та 61,6 до 69,7% через 8 годин. В умовах природного зволоження в перші 2 години після в'янення вміст води зменшився на 8,5–11,7%, через 8 годин – на 16,5–22,6%. За 1 годину втрата води коливалася від 1,78 до 2,84%, у 1,5–2,0 рази менше, ніж у рослин, що вирощувалися в умовах зрошення. Водоутримувальна здатність становила 82,3–91,5 та 77,0–91,5% через 2 та 8 годин відповідно. Високою (90,3–91,5 і 83,4–91,5%) вона була в популяції LRH, M.g./M.agr., A.r.d. і M.agr.C. за втрати води 1,78–2,15%. Установлено середній та сильний обернений зв'язок втрати води з водоутримувальною здатністю через 2 і 8 годин: $r = -0,652$ та $r = -0,963$ відповідно. Визначено середній позитивний зв'язок між водоутримувальною здатністю й посухостійкістю ($r = 0,597–0,696$). Високу посухостійкість (56,9–58,2%) проявили популяції M.agr.C., M.g./M.agr., LRH і Ram.d. **Висновки.** Установлено закономірності зміни обводнення тканин, дефіциту й водоутримувальної здатності листя люцерни за зрошення та в умовах природного зволоження. Визначено взаємозв'язки між водним дефіцитом і водоутримувальною здатністю; втратою води і водоутримувальною здатністю; водоутримувальною здатністю та посухостійкістю. Виділені кращі популяції з високою посухостійкістю, які будуть включені в селекційний процес.

Ключові слова: люцерна; популяція; обводнення тканин; водний дефіцит; водоутримувальна здатність; посухостійкість; зрошення; природне зволоження.

Вступ

Люцерна нині вирощується в усьому світі та характеризується серед кормових бобових культур високою продуктивністю біомаси,

поживною цінністю з високим вмістом білка. Однак, нестача вологи в ґрунті й часті посухи на півдні є основними обмежувальними факторами для вирощування й стабільної продуктивності люцерни, а з метою її

Raisa Vozhehova
<https://orcid.org/0000-0002-3895-5633>

Andrii Tyshchenko
<https://orcid.org/0000-0003-1918-6223>

Olena Tyshchenko
<https://orcid.org/0000-0002-8095-9195>

Alexander Dymov
<https://orcid.org/0000-0002-7839-0956>

Olena Piliarska
<https://orcid.org/0000-0001-8649-0618>

Ivanna Smul'ska
<https://orcid.org/0000-0001-9675-0620>

підвищення потрібно збільшити посухостійкість рослин люцерни. Тому дослідження цієї ознаки є важливим етапом у селекційних програмах [1].

Згідно з численними прогнозами глобальної зміни клімату призведе до підвищення температури, зміни географічної структури опадів і в майбутньому до збільшення частоти екстремальних кліматичних явищ [2]. Пагубні наслідки абіотичного стресу є серйозним обмеженням для вирощування цієї культури [3, 4]. Хоча люцерна вважається культурою з високою посухостійкістю та її можна вирощувати в широкому діапазоні кліматичних умов [5, 6], проте як і будь-яка інша культура вона негативно реагує на посуху, тому це необхідно враховувати при створенні посухостійких сортів з одночасним підвищенням урожайності.

Добір природно стійких, краще пристосованих до стресових умов генотипів серед різних сортів, є багатонадійною перспективою, і найбільш дешевшим і ефективнішим методом селекції рослин. Відкриття генетичних, фізіологічних і молекулярних основ механізмів стресостійкості – незамінний інструмент для створення сортів, стійких до посухи [7, 8]. Тепер у довгострокові селекційні програми включають питання підвищення люцерни до стресу та підвищення врожайності в умовах періодичної посухи [9].

Проте, варто зазначити, що про посухостійкість люцерни у вчених немає єдиної думки. Одні дослідники вважають її мезофітом [10], інші відносять до посухостійких культур [11], треті відводять їй проміжну роль – ксеромезофітів [12]. Як відмічають Л. Вербицька [13] та О. Іванов [14], по відношенню до вологості в люцерни поєднується висока посухостійкість із винятковою чутливістю до зволоження. Під час сильної й тривалої посухи, за якої гинуть деякі культури, рослини люцерни припиняють ріст і скидають листя, але не гинуть, а після дощів знову починають ріст. Таким чином, люцерна надзвичайно лабільна до водного режиму: з одного боку, вона посухостійка, а з другого – вологолюбна і здатна переносити тривале зневоднення. На думку О. Іванова посухостійкість видів і сортів люцерни значною мірою визначається їх походженням. Але вчені, вивчаючи різні популяції, обмежувалися лише результатами польових експериментів і не застосовували глибоких фізіологічних та анатомо-морфологічних методів дослідження. Крім того, говорити про справжню посухостійкість люцерни слід лише відносно, тільки при порівнянні дослідного зразка з рослинами інших сортів,

видів, популяцій. І як вважає автор, синьоквіткові та негібридні форми люцерни не слід відносити до групи посухостійких [14].

У зв'язку з цим, важливого значення набувають методи діагностування функціонального стану рослин, які найточніше відображають їхню стійкість. Тому для прискорення селекційного процесу останнім часом все частіше вдаються до побічної оцінки посухостійкості за допомогою фізіологічних методів.

Найінформативнішими є методи вивчення водного режиму листя: визначення обводнення тканин, водного дефіциту та водоутримувальної здатності листя. Зміни водного режиму можуть спричиняти важливі захисно-приспосувальні реакції рослин до умов середовища. Як правило, у стресових умовах істотно знижується обводнення тканин рослин та відбувається перерозподіл води в клітині. При цьому зростає кількість води, що важко вилучається, і різко знижується кількість слабкозв'язаної води. У результаті знижується рухливість води й активність метаболічних процесів, але зростає водоутримувальна здатність тканин та стійкість рослин до екстремальних умов [15, 16]. Тому стійкість до посухи залежить від неоднакової здатності клітин чинити опір поступленню води, звідси й відмінності в стійкості рослин до в'янення листя. Отже, діагностувати посухостійкість рослин можливо за втратою води зрізаним листям і гілочками. Втрата води листям відображає водний статус рослин і вона є ключем до виживання рослин в умовах стресу посухи [14, 17, 18]. Таким чином, водоутримувальна здатність характеризує властивість рослин накопичувати й утримувати вологу в рослині протягом більш-менш тривалого часу. Чим повільніше рослина втрачає воду, тим вища її водоутримувальна здатність і, отже, вона може довше витримувати зневоднення, що є показником адаптивності рослин [19–21].

Важливим показником посухостійкості є водний дефіцит, який визначає водний статус рослини. Під ним розуміють відношення кількості відсутньої води, що потрібна для повного насичення клітин, до загального її вмісту при повному насиченні тканин, що виражається у відсотках. Водний дефіцит виникає в рослині під час спекотного дня і за ніч відновлюється повністю або частково, тобто залишковий водний дефіцит свідчить про порушення балансу між надходженням і витратою води. Водний дефіцит добре корелює з вологозабезпеченням рослин і використовується для характеристики водного режиму як критерій оцінки рівня посухо-

стійкості. Цей показник у рослинах призводить, насамперед, до зниження вмісту вільної води, одночасного зростання концентрації клітинного соку, внаслідок чого відбуваються глибокі зміни в цитоплазмі, збільшується її в'язкість, зростає проникність мембран, а клітини втрачають здатність до вбирання поживних речовин [21].

Виходячи з аналізу матеріалів досліджень вітчизняних і зарубіжних науковців, ми вважаємо за необхідне провести вивчення впливу водного стресу на хід фізіологічних процесів у різні періоди росту й розвитку рослин люцерни.

Мета досліджень – оцінити селекційний матеріал люцерни за показниками водного обміну в різних умовах зволоження, установити закономірності їхнього вияву, взаємозв'язок між ними та посухостійкістю. Виділити кращі для включення в селекційний процес.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в Інституті зрошувального землеробства НААН протягом 2017–2020 рр. у польових умовах. Об'єктом вивчення були сорти 'Унітро', 'Елегія' та популяції Приморка, LRH, AN.d-15, Ram. d, M.g.C., A.r.d, M.g./M.agr. за кормового використання на двох фонах зволоження: за краплинного зрошення та природного зволоження.

Для визначення обводнення тканин, водоутримувальної здатності й водного дефіциту у фазі бутонізації з рослин люцерни в середньому ярусі відбирали по 30 листків у ранковій годині, у період з 8 до 10 години для кожного показника у дворазовій повторності. Зрізане листя було покладене в поліетиленові пакети, а потім перенесене в лабораторію. Відбір проб проводили в період найбільшої напруженості стресових факторів (спекотна й посушлива погода) – це липень, серпень і вересень (2-й укіс першого року життя люцерни, 3-й та 4-й укуси другого року).

Загальне обводнення рослин установлювали за вмістом води, вираженим у відсотках до сирої маси [22]. Водний дефіцит листя визначали за методикою J. Čatský [23] у модифікації [24]. Листки люцерни (30 шт.) після зважування клали в колби з водою для насичення. Колби ставили в посудину з водою і накривали такою ж посудиною для створення вологої камери. Після 24-годинного насичення листя просушували фільтрувальним папером і зважували. Водний дефіцит у листі (відношення кількості води, що надійшла, до загального вмісту води в стані повного насичення, виражене у відсотках) обчислювали за формулою:

$$ВД = 100 \times \frac{M_2 - M_1}{M_2 - M_3}, \quad (1)$$

де ВД – водний дефіцит, %; M_1 – маса листків до 24-годинного насичення, г; M_2 – маса листя після 24-годинного насичення, г; M_3 – суха маса листків, г.

Водоутримувальну здатність листя розраховували за [25]. Листки (30 шт.) зважували, потім клали на решітках у термостат з постійною температурою (25 °С) і вологістю повітря. Через 2 і 8 годин проводили повторні зважування для визначення втрати води. Втрата води за час в'янення пов'язана з водоутримувальною здатністю, тобто зі здатністю тканин листя утримувати певну кількість води.

Водоутримувальну здатність визначали за формулою:

$$B_3 = 100 \times \frac{M_2}{M_1}, \quad (2)$$

де B_3 – водоутримувальна здатність, або втрата води, %; M_1 – маса листя до в'янення, г; M_2 – маса листя після певного проміжку часу, г.

Після цього розраховували середню втрату води за 1 годину в'янення.

Посухостійкість визначали як відношення продуктивності за умов дефіциту вологи до відповідних показників при зрошенні, виражений у відсотках [26].

Статистичну обробку експериментальних даних проводили методом дисперсійного аналізу за В. О. Ушкаренко та ін. [27].

Результати досліджень

Обводнення рослин є показником забезпеченості їх водою, необхідною для протікання біохімічних реакцій (тобто для життєдіяльності) і є одним з важливих показників водного режиму рослин. За вмістом води в листі можна судити про відношення рослин до дефіциту вологи. Сорти, що знаходяться в ідентичних умовах посухи і зберігають більш високе обводнення тканин, мають кращі умови для проходження всіх фізіологічних процесів у рослинах [28].

Проведені дослідження показали, що величина обводнення листя рослин, які вирощувались при зрошенні, у досліджуваних популяцій люцерни вища і коливається в межах від 80,73 до 82,90% (2-й укіс); 75,27–83,02 (3-й укіс) і 77,57–79,69% – у четвертому укусі. В умовах природного зволоження виявлено значне зниження обводнення листя, а саме величина обводнення становила 68,28–70,11%; 69,89–74,01 і 71,16–72,63% відповідно (табл. 1).

Таблиця 1

Обводнення листків у популяції люцерни за роками життя травостою за різного вологозабезпечення (середнє за 2017–2020 рр.)

№ діл.	Назва сорту / популяції	Роки життя / укоси					
		перший / другий укіс		другий / третій укіс		другий / четвертий укіс	
		зрошення	без зрошення	зрошення	без зрошення	зрошення	без зрошення
12/1	‘Унітро’	81,55	69,42	79,21	70,00	77,35	71,96
13/2	‘Елегія’	81,95	69,28	78,37	72,25	79,54	72,30
14/3	‘Приморка’	81,74	69,74	81,46	69,89	79,48	72,35
17/6	LRH	82,21	68,28	75,27	70,05	79,69	71,39
20/9	AN.d-15	82,53	70,11	82,91	70,69	78,26	71,23
24/13	Ram. d	81,41	68,48	80,57	70,21	77,91	71,49
29/18	M.g.C.	80,73	68,31	79,78	70,06	77,70	72,63
30/19	A.r.d.	82,90	69,49	76,12	70,17	77,57	72,04
31/20	M.g./M.agr.	81,86	69,65	83,02	74,01	78,30	71,16
Середньопопуляційна		81,88	69,20	79,63	70,81	78,42	71,84
HIP _{0,05}		0,49	0,51	2,08	1,07	0,70	0,41
V, %		0,78	0,97	3,43	1,98	1,16	0,75
S _x		0,21	0,22	0,91	0,47	0,30	0,18

Аналіз отриманих даних показує, що достовірно перевищують середньопопуляційну дві-три популяції в кожному укосі, незалежно від умов вирощування. Наприклад, популяція AN.d-15 характеризується високими показниками обводнення – 82,53–82,91% при зрошенні та 70,11% в умовах стресу (2-й укіс, перший рік життя і 3-й укіс – другий рік). Сорт ‘Елегія’ зберігав високе значення обводнення листків (72,25–72,30% – 3-й і 4-й укоси) навіть у стресових умовах (без зрошення).

Середньопопуляційне значення обводнення листя, тобто показник вмісту води, є високим при зрошенні (81,88; 79,63; 78,42%) і низьким (69,20; 70,81; 71,84%) в умовах природного зволоження. Високі показники обводнення тканин рослин при зрошенні можна пояснити менш жорсткими умовами, за яких відбувався розвиток рослин. Коефіці-

енти варіації обводнення листя за популяціями в усі терміни проведення спостережень були незначними й становили 0,75–3,43%.

З обводненням листків тісно пов’язаний водний дефіцит, але вони знаходяться в оберненій залежності один з одним ($r = -0,986$ при зрошенні і $r = -0,863$ в умовах природного зволоження).

Водний дефіцит – це показник, що визначається кількістю води, якої бракує до повного насичення тканин листя [29]. Отримані експериментальні дані показують, що за середньопопуляційною водного дефіциту можна судити про закономірності його прояву в різних умовах вирощування люцерни. Так, водний дефіцит у популяції був максимальним (50,28–29,96–33,0%) у стресовій ситуації (без поливу) і знижувався у рослин при зрошенні до 12,64–17,37–22,04% (табл. 2).

Таблиця 2

Водний дефіцит у листках популяції люцерни за різного зволоження (середнє за 2017–2020 рр.)

№ діл.	Назва сорту / популяції	Роки життя / укоси					
		перший / другий укіс		другий / третій укіс		другий / четвертий укіс	
		зрошення	без зрошення	зрошення	без зрошення	зрошення	без зрошення
12/1	‘Унітро’	14,44	58,24	17,81	36,85	19,76	37,12
13/2	‘Елегія’	14,20	40,85	18,49	38,44	22,25	42,25
14/3	‘Приморка’	11,23	49,41	20,64	25,49	23,79	26,14
17/6	LRH	11,86	47,19	15,37	31,23	22,82	30,73
20/9	AN.d-15	10,82	52,24	17,59	25,12	24,14	33,43
24/13	Ram. d	16,12	50,40	15,33	31,11	22,37	35,32
29/18	M.g.C.	10,57	51,09	18,83	25,15	20,97	29,41
30/19	A.r.d.	13,44	53,62	17,78	31,06	22,19	36,09
31/20	M.g./M.agr.	11,06	49,53	14,51	25,21	20,04	26,52
Середньопопуляційна		12,64	50,28	17,37	29,96	22,04	33,00
HIP _{0,05}		1,50	5,57	1,50	3,94	1,16	4,04
V, %		15,60	14,21	11,30	17,21	6,92	16,06
S _x		0,66	2,43	0,65	1,72	0,51	1,77

В умовах природного зволоження відбувається збільшення водного дефіциту з широкими коливаннями по сортах. Наприклад, значний водний дефіцит виявлено в листках люцерни сорту 'Унітро' з мінливістю: 58,24% (2-й укіс); 36,85 (3-й укіс) і 37,12% – у четвертому укосі. Під впливом посухи водний потенціал зростає і в сорту 'Елегія' – 38,44 і 42,25%. Найнижчими показниками водного дефіциту (25,21–25,49 і 26,52–26,14%) характеризувалися популяції M.g./M.agr. і Приморка в третьому й четвертому укосах другого року життя травостою порівняно із середньопопуляційною.

Водний дефіцит, як правило, пов'язаний з водоутримувальною здатністю листя: чим він більший, тим нижча водоутримувальна здатність. Вона є основним показником посухостій-

кості й водного режиму та функціонального стану рослин: чим вища водоутримувальна здатність, тим краще рослина протистоїть зневодненню та в стресових умовах дозволяє відносно слабо знижувати обводнення тканин. Здатність утримувати й економно витрачати воду в умовах посухи – захисно-приспосувальна реакція стійких рослин. Як правило, вони адаптивніші до посухи та втрачають менше води при в'яненні [21].

Визначення водоутримувальної здатності популяцій люцерни в наших дослідженнях показало незначне її коливання – від 82,7 до 85,9% через 2 години в'янення листя, і суттєве зменшення водоутримувальної здатності через 8 годин, з коливаннями від 61,6 до 69,7% при середньопопуляційній 84,0 і 67,3% відповідно (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристика листків люцерни за водоутримувальною здатністю (V_x) при зрошенні (3-й укіс, другий рік життя, середнє за 2018–2020 рр.)

№ діл.	Назва сорту / популяції	Маса листків до в'янення, г	Кількість води, утраченої при в'яненні, %, через			V_x , %, через	
			2 години	8 годин	1 годину	2 години	8 годин
12	'Унітро'	4,36	16,1	30,3	3,78	83,5	69,7
13	'Елегія'	4,21	15,9	33,0	4,12	83,8	67,0
14	Приморка	4,28	17,1	34,6	4,31	82,9	65,4
17	LRH	4,17	17,3	34,1	4,26	82,7	65,9
20	AN.d-15	3,83	14,4	33,7	4,20	85,6	66,3
24	Ram. d	4,47	15,7	31,5	3,94	84,3	68,4
29	M.g.C.	4,21	15,9	34,0	4,24	84,3	61,6
30	A.g.d.	4,73	16,6	33,0	4,13	82,5	62,7
31	M.g./M.agr.	4,53	13,9	31,6	3,93	85,9	68,4
Середньопопуляційна		4,31	15,88	32,87	4,10	84,0	67,3
HIP _{0,05}		0,20	0,86	1,10	0,14	0,93	2,03
V, %		5,90	7,12	4,38	4,37	1,44	4,02
S _x		0,08	0,38	0,48	0,06	0,40	0,88

Стійкість листя до посухи визначається здатністю втримувати воду. Наші спостереження за зміною вмісту води в листі у більшості рослин показали, що після 2 години в'янення втрачається від 13,9 до 17,3% води, за 8 годин – 30,3–34,6%, а за 1 годину – 3,78 – 4,31%, тобто швидкість втрати вологи листям в популяції люцерни була різною. Максимальна кількість її втрачалася за перші 2 години, потім інтенсивність втрати зменшувалася. Швидка та велика втрата вологи призводить до низьких показників водоутримувальної здатності. Серед досліджуваних популяцій люцерни добрими показниками водоутримувальної здатності листя люцерни (85,9 і 68,4%) виділяється популяція M.g./M.agr., яка характеризується мінімальними втратами (13,9% – за 2 години; 31,6 – за 8 годин; 3,93% – за 1 годину) порівняно з іншими популяціями. Сорт 'Унітро' можна віднести до сорту з високою водоутриму-

вальною здатністю (83,5 і 69,7%), попри те, що за перші 2 години він втрачає багато вологи (16,1%).

Як зазначає О. Іванов [14], посуха підвищує водоутримувальну здатність рослин, оскільки рослини люцерни втрачають менше води, ніж у зрошуваних умовах.

Отримані результати показали, що в стресових умовах популяції продемонстрували вищу здатність утримувати вологу, водоутримувальна здатність води у них коливалася від 82,3 до 91,5% і від 77,0 до 91,5 через 2 і 8 годин в'янення відповідно (табл. 4).

У відповідь на стрес посухи в популяції люцерни зменшувалася втрата води, але й знижувалася швидкість втрати. Так, у перші 2 години після в'янення вміст води зменшився на 8,5–11,7%, а через 8 годин він становив 16,5–22,6% при середньопопуляційній 10,7 і 17,9%. За 1 годину втрата води коливалася від 1,78 до 2,84%, що майже в 1,5–2,0 раза

Таблиця 4

Характеристика листків люцерни за водоутримувальною здатністю (V_3) без зрошення (3-й укіс, другий рік життя, середнє за 2018–2020 рр.)

№ діл.	Назва сорту / популяції	Маса листків до в'янення, г	Кількість води, утраченої при в'яненні, %, через			V_3 , %, через	
			2 години	8 годин	1 годину	2 години	8 годин
1	'Унітро'	2,89	10,7	17,3	2,17	89,3	82,7
2	'Елегія'	2,99	10,7	20,0	2,51	82,3	79,9
3	Приморка	3,05	11,5	18,4	2,29	88,5	81,6
6	LRH	2,79	9,3	14,3	1,78	90,3	85,7
9	AN.d-15	2,96	15,2	22,6	2,84	84,8	77,0
13	Ram. d	3,28	11,6	17,7	2,25	88,4	82,0
18	M.g.C.	2,90	9,0	16,6	2,08	91,0	83,4
19	A.r.d.	2,84	8,5	16,5	2,06	91,5	83,5
20	M.g./M.agr.	2,72	9,6	17,3	2,15	90,4	91,5
Середньопопуляційна		2,94	10,7	17,9	2,24	89,1	82,0
HIP _{0,05}		0,13	1,54	1,79	0,23	2,29	2,29
V, %		5,60	18,90	18,15	13,39	3,50	4,80
S _x		0,05	0,67	0,78	0,10	1,15	1,34

менше, ніж у рослин, які вирощувалися в умовах зрошення. Високою водоутримувальною здатністю (90,3–91,5 і 83,4–91,5%) характеризувалися популяції LRH, M.g./M.agr., A.r.d. і M.agr.C. при втраті води 1,78–2,15%.

Обчислені коефіцієнти кореляції показали середній та сильний обернений зв'язок втрати води з водоутримувальною здатністю через 2 і 8 годин: $r = -0,652$ та $r = -0,963$ відповідно.

На думку Г. Я. Кривошеєва та ін. [30], найоб'єктивнішу оцінку стійкості генотипів можливо отримати лише в польових умовах, проте, при всій її об'єктивності вона потребує багаторічних спостережень. Визнаним

ефективним способом визначення посухостійкості вважається метод, заснований на оцінюванні ступеня зниження врожайності за посушливих умов порівняно зі зволеним фоном – індекс посухостійкості. Він характеризує відношення продуктивності рослин за стресу до їх продуктивності в разі відсутності стресового тиску.

Наші дослідження основних показників водного режиму та оцінка популяцій за кормовою продуктивністю на різних фонах зволення дали змогу виділити посухостійкі популяції люцерни з коливаннями від 41,6 до 58,2% залежно від генотипу (табл. 5).

Таблиця 5

Посухостійкість популяцій люцерни (середнє за 2018–2020 рр., другий рік життя травостою, без зрошення)

№ з/п	Назва сорту / популяції	Урожайність зеленої маси, кг/м ²	Водоутримувальна здатність листків, % через		Посухостійкість, %
			2 години	8 годин	
1	'Унітро'	5,91	87,8	78,6	48,5
2	'Елегія'	5,98	81,9	74,7	41,6
3	Приморка	5,52	84,8	75,4	46,0
4	LRH	7,23	87,2	80,7	57,1
5	AN.d-15	6,50	84,4	77,7	50,5
6	Ram. d	7,23	85,5	77,9	58,2
7	M.g.C.	6,85	87,3	80,3	57,2
8	A.r.d.	5,54	87,8	80,4	48,8
9	M.g./M.agr.	6,39	87,6	85,1	56,9
Середньопопуляційна		6,35	86,0	79,0	51,6
HIP _{0,05}		0,50	1,56	2,40	4,50
V, %		10,40	2,40	4,00	11,50
S _x		0,22	0,68	1,04	1,90

Примітка. За водоутримувальною здатністю наведені дані, отримані в умовах природного зволення в середньому за 3-й та 4-й укоси.

Аналіз таблиці показує, що високу посухостійкість (56,9–58,2%) демонструють популяції M.agr.C., M.g./M.agr., LRH і Ram. d. Хоча остання популяція не виділялася за по-

казниками водного режиму, але відзначалася найвищою посухостійкістю (58,2%), а генотип A.r.d. серед кращих за водоутримувальною здатністю, але не виділяється за

посухостійкістю. Мабуть, як зазначає О. Іванов [16], дуже важко й не завжди можливо встановити закономірності, пов'язані з водним режимом, оскільки люцерна – багаторічна рослина, куцц її складається з численних різноякісних за віком пагонів і листків, які, як об'єкт досліджень, мають невеликий розмір.

Кореляційний аналіз вказує на середній позитивний зв'язок між водоутримувальною здатністю і посухостійкістю ($r = 0,597-0,696$).

Висновки

Результати наших досліджень показали складність об'єднання деяких ознак, що мають адаптивну цінність для зрошуваних і посушливих умов, проте виявили закономірності прояву водного режиму листя люцерни: обводнення тканин, водного дефіциту та водоутримувальної здатності в стресових і в оптимальних умовах. Так, обводнення листя є високим при зрошенні (81,88; 79,63; 78,42%) і низьким (69,20; 70,81; 71,84%) – в умовах природного зволоження. Водний дефіцит у популяції був максимальним (50,28–29,96–33,0%) у стресовій ситуації (без поливу) і знижувався у рослин при зрошенні до 12,64–17,37–22,04%. Водоутримувальна здатність, яка пов'язана зі втратою води, показує, що при зрошенні після 2 годин в'янення втрачається від 13,9 до 17,3% води, надалі, за 8 годин втрати зростають до 30,3–34,6%, а за 1 годину – 3,78–4,31%. Швидка та велика втрата вологи призводить до низьких показників водоутримувальної здатності. В умовах природного зволоження за 1 годину втрата води коливалася від 1,78 до 2,84%, що майже в 1,5–2,0 раза менше, ніж у рослин, які вирощувалися в умовах зрошення.

Використана література

- 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. 1152. doi: 10.3389/fpls.2017.01152
- Harrison M. T., Tardieu F., Dong Z. et al. Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. *Glob. Change Biol.* 2014. Vol. 20, Iss. 3. P. 867–878. doi: 10.1111/gcb.12381
- Wang Z., Ke Q., Kim M. D. et al. Transgenic alfalfa plants expressing the sweet potato *orange* gene exhibit enhanced abiotic stress tolerance. *PLoS ONE.* 2015. Vol. 10, Iss. 5. e0126050. doi: 10.1371/journal.pone.0126050
- Vasconcelos E. S. D., Barioni W. J., Cruz C. D. et al. Seleção de genótipos de alfafa pela adaptabilidade e estabilidade da e estabilidade da produção de matéria seca [Alfalfa genotype selection for adaptability and stability of dry matter production]. *Acta Sci. Agron.* 2008. Vol. 30, No 3. P. 339–343. doi: 10.4025/actasciagron.v30i3.3511
- Li S., Wan L., Nie Z., Li X. Fractal and topological analyses and antioxidant defense systems of alfalfa (*Medicago sativa* L.) root system under drought and rehydration regimes. *Agronomy.* 2020. Vol. 10, Iss. 6. 805. doi: 10.3390/agronomy10060805
- Bagavathiannan M., Acker R. C. van. The biology and ecology of feral alfalfa (*Medicago sativa* L.) and its implications for novel trait confinement in North America. *Crit. Rev. Plant. Sci.* 2009. Vol. 28, Iss. 1–2. P. 69–87. doi: 10.1080/07352680902753613
- Luo N., Liu J., Yu X., Jiang Y. Natural variation of drought response in *Brachypodium distachyon*. *Physiol. Plant.* 2011. Vol. 141, Iss. 1. P. 19–29. doi: 10.1111/j.1399-3054.2010.01413.x
- Shi S., Liu Z., Yang F., Yin G. Drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties is associated with enhanced antioxidative protection and declined lipid peroxidation. *J. Plant Physiol.* 2019. Vol. 232, Iss. 1. P. 226–240. doi: 10.1016/j.jplph.2018.10.023
- Li G. D., Nie Z. N., Boschma S. P. et al. Persistence and productivity of *Medicago sativa* subspecies *sativa*, *caerulea*, *falcata* and *varia* accessions at three intermittently dry sites in south-eastern Australia. *Crop Pasture Sci.* 2010. Vol. 61, Iss. 8. P. 645–658. doi: 10.1071/CP09360
- Тарковский М. И. Константинова А. М., Шаин С. С. и др. Люцерна. Москва: Колос, 1964. 391 с.
- Познохиринов Ф. Л. Культура люцерны в Степи УССР. Киев: УАСХН, 1961. 242 с.
- Культиасов М. С. Экогенетический анализ многолетних люцерн. *Люцерна Тяньшанская и опыт ее интродукции.* Москва: Наука, 1967. С. 7–140.
- Вербицкая Л. П. Люцерна на корм и семена в Краснодарском крае. Краснодар: КубГАУ, 2007. 238 с.
- Иванов А. И. Особенности водного режима люцерны на орошаемых и богарных землях Казахстана. *Тр. по прикл. бот., генетике и селекции.* 1972. Т. 47, Вып. 3. С. 98–138.
- Гончарова Э. А., Чесноков Ю. В., Ситников М. Н. Ретроспектива исследований водного статуса культурных растений на базе коллекции генетических ресурсов ВИР. *Труды КарНЦ РАН.* 2013. № 3. С. 10–13.
- Жидехина Т. В. Водоудерживающая способность 5 однолетних приростов у смородины черной в осенне-зимний период. *Матер. Всерос. науч.-метод. конф. «Проблемы агроэкологии и адаптивность сортов в современном садоводстве России»* (г. Орел, 1–4 июля 2008 г.). Орел: ВНИИСПК, 2008. С. 81–86.
- Hu L., Li H., Pang H., Fu J. Responses of antioxidant gene, protein and enzymes to salinity stress in two genotypes of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) differing in salt tolerance. *J. Plant Physiol.* 2012. Vol. 169, Iss. 2. P. 146–156. doi: 10.1016/j.jplph.2011.08.020
- Shi H., Wang Y., Cheng Z. et al. Analysis of natural variation in bermudagrass (*Cynodon dactylon*) reveals physiological responses underlying drought tolerance. *PLoS ONE.* 2012. Vol. 7, Iss. 12. e53422. doi: 10.1371/journal.pone.0053422
- Кротова Л. А., Трипутин В. М. Связь водоудерживающей способности с хозяйственно-ценными признаками у озимого тритикале. *Вестник ОмГАУ.* 2017. № 4. С. 38–42.
- Боме Н. А., Ушакова Т. Ф., Моденова Е. А., Боме А. Я. Изучение зависимости водоудерживающей способности листьев *Triticum aestivum* L. от их линейных размеров и площади. *Международ. научно-исслед. журнал.* 2016. № 4, Ч. 6. С. 13–16. doi: 10.18454/IRJ.2227-6017
- Хаустович И. П., Пугачев Г. Н. Водоудерживающая способность как показатель адаптивности растений. *Доклады РАХН.* 2009. № 4. С. 17–19.
- Викторов Д. П. Малый практикум по физиологии растений. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Высш. школа, 1983. 135 с.
- Čatský J. Determination of water deficit in disks cut out from leaf blades. *Biol. Plant.* 1960. Vol. 2, No. 1. P. 76–78. doi: 10.1007/BF02920701
- Горышина Т. К., Самсонова А. И. Водный дефицит в листьях травянистых растений разных сезонных групп. *Бот. журн.* 1966. Т. 51, № 5. С. 670–677.

25. Ничипорович А. А. О потере воды срезанными растениями в процессе завядания. *Журн. опыт. агр. Юго-Востока*. 1926. Т. 3, Вып. 1. С. 79–92.
 26. Орлюк А. П., Гончарова К. В. Адаптивный і продуктивний потенціали пшениці. Херсон : Айлант, 2002. 275 с.
 27. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві. Херсон : Айлант, 2013. 381 с.
 28. Курьянович А. А., Тоибова А. А. Динамика показателей водного режима при формировании урожая маша (*Vigna radiata* (L.) R.Wilczek). *Матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Роль современной селекции и агротехники в мерах борьбы с засухой»* (г. Кинель, Самарская обл., 11–13 июля 2017 г.). Казань : Бук, 2017. С. 53–57.
 29. Omprakash Gobu R., Bisen P., Baghe M., Chourasia K. N. Resistance/tolerance mechanism under water deficit (drought) condition in plants. *Int J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2017. Vol. 6, Iss. 4. P. 66–78. doi: 10.20546/ijcmas.2017.604.009
 30. Кривошеев Г. Я., Горбачева А. Г., Ветошкина И. Ф. Реакция родительских форм гибридов кукурузы на засушливые и влагообеспеченные условия выращивания. *Кукуруза и сорго*. 2013. № 3. С. 1–7.
- ## References
1. Yu, L.-X. (2017). Identification of single-nucleotide polymorphic loci associated with biomass yield under water deficit in alfalfa (*Medicago sativa* L.) using genome-wide sequencing and association mapping. *Front. Plant Sci.*, 8, 1152. doi: 10.3389/fpls.2017.01152
 2. Harrison, M. T., Tardieu, F., Dong, Z., Messina, C. D., & Hammer, G. L. (2014). Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. *Glob. Change Biol.*, 20(3), 867–878. doi:10.1111/gcb.12381
 3. Wang, Z., Ke, Q., Kim, M. D., Kim, S. H., Ji, C. Y., Jeong, J. C., ... Kwak, S.-S. (2015). Transgenic alfalfa plants expressing the sweet potato orange gene exhibit enhanced abiotic stress tolerance. *PLoS ONE*, 10(5), e0126050. doi: 10.1371/journal.pone.0126050
 4. Vasconcelos, E. S. de., Barioni Júnior, W., Cruz, C. D., Ferreira, R. D. P., Rassini, J. B., & Vilela, D. (2008). Seleção de genótipos de alfafa pela adaptabilidade e estabilidade da e estabilidade de produção de matéria seca [Alfalfa genotype selection for adaptability and stability of dry matter production]. *Acta Sci. Agron.*, 30(3), 339–343. doi: 10.4025/actasciagron.v30i3.3511
 5. Li, S., Wan, L., Nie, Z., & Li, X. (2020). Fractal and topological analyses and antioxidant defense systems of alfalfa (*Medicago sativa* L.) root system under drought and rehydration regimes. *Agronomy*, 10(6), 805. doi: 10.3390/agronomy10060805
 6. Bagavathiannan, M., & Acker, R. C. van. (2009). The biology and ecology of feral alfalfa (*Medicago sativa* L.) and its implications for novel trait confinement in North America. *Crit. Rev. Plant. Sci.*, 28(1–2), 69–87. doi: 10.1080/07352680902753613
 7. Luo, N., Liu, J., Yu, X., & Jiang, Y. (2011). Natural variation of drought response in *Brachypodium distachyon*. *Physiol. Plant.*, 141(1), 19–29. doi: 10.1111/j.1399-3054.2010.01413.x
 8. Shi, S., Liu, Z., Yang, F., & Yin, G. (2019). Drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties is associated with enhanced antioxidative protection and declined lipid peroxidation. *J. Plant Physiol.*, 232(1), 226–240. doi: 10.1016/j.jplph.2018.10.023
 9. Li, G. D., Nie, Z. N., Boschma, S. P., Dear, B. S., Lodge, G. M., Hayes, R. C., ... Humphries, A. W. (2010). Persistence and productivity of *Medicago sativa* subspecies sativa, caerulea, falcata and varia accessions at three intermittently dry sites in south-eastern Australia. *Crop Pasture Sci.*, 61(8), 645–658. doi: 10.1071/CP09360
 10. Tarkovskiy, M. I., Konstantinova, A. M., Shain, S. S., Gladkiy, M. F., Gerasimova, A. I., & Minyaeva, O. M. (1964). *Lyutserna* [Alfalfa]. Moscow: Kolos. [in Russian]
 11. Poznokhirin, F. L. (1961). *Kul'tura lyutserny v Stepi USSR* [Culture of alfalfa in the Steppe of the Ukrainian SSR]. Kyiv: UASKhN. [in Russian]
 12. Kul'tiasov, M. S. (1967). Ecogenetic analysis of perennial lucerne. In *Lyutserna tyan'shanskaya i opyt yeye introduktsii* [Medicago tianschanica and the experience of its introduction] (pp. 7–140). Moscow: Nauka. [in Russian]
 13. Verbitskaya, L. P. (2007). *Lyutserna na korm i semena v Krasnodarskom kraye* [Alfalfa for feed and seeds in the Krasnodar Territory]. Krasnodar: KubGAU. [in Russian]
 14. Ivanov, A. I. (1972). Osobennosti vodnogo rezhima lyutserny na oroshayemykh i bogarnykh zemlyakh Kazakhstana [Features of the water regime of alfalfa on irrigated and rainfed lands in Kazakhstan]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* [Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding], 47(3), 98–138. [in Russian]
 15. Goncharova, E. A., Chesnokov, Yu. V., & Sitnikov, M. N. (2013). A retrospective review of research into the water status of cultivated plants based on the genetic resources collection of the All-Russian Research Institute of Plant Industry *Trudy Karelskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences], 3, 10–13. [in Russian]
 16. Zhidekhina, T. V. (2008, July). Water-holding capacity of 5 annual increments in black currant in the autumn-winter period. In *Mater. Vseros. nauchno-metod. konf. "Problemy agroekologii i adaptivnost sortov v sovremennom sadovodstve Rossii"* [Materials of the All-Russian scientific and methodological conference "Problems of agroecology and adaptability of varieties in modern horticulture in Russia"] (pp. 81–86). Orel: VNIISP. [in Russian]
 17. Hu, L., Li, H., Pang, H., & Fu, J. (2012). Responses of antioxidant gene, protein and enzymes to salinity stress in two genotypes of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) differing in salt tolerance. *J. Plant Physiol.*, 169(2), 146–156. doi: 10.1016/j.jplph.2011.08.020
 18. Shi, H., Wang, Y., Cheng, Z., Ye, T., & Chan, Z. (2012). Analysis of natural variation in bermudagrass (*Cynodon dactylon*) reveals physiological responses underlying drought tolerance. *PLoS ONE*, 7(12), e53422. doi: 10.1371/journal.pone.0053422
 19. Krotova, L. A., & Triputin, V. M. (2017). The correlation between water-holding capacity and economically valuable traits in winter triticale. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Omsk State Agrarian University], 4(28), 38–42. [in Russian]
 20. Bome, N. A., Ushakova, T. F., Modenova, Ye. A., & Bome, A. Ya. (2016). Study of the dependence of the water-holding capacity of leaves of *Triticum aestivum* L. on their linear size and area. *Mezhdunar. naučno-issled. ž.* [Int. Res. J.], 4(6), 13–16. doi: 10.18454/IRJ.2227-6017. [in Russian]
 21. Khaustovich, I. P., & Pugachev, G. N. (2009). Water-holding capacity as an indicator of plant adaptability. *Doklady Rossijskoj akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 4, 17–19. [in Russian]
 22. Viktorov, D. P. (1983). *Malyy praktikum po fiziologii rasteniy* [Small workshop on plant physiology]. (3rd ed., rev. & enl.). Moscow: Vysshaya shkola. [in Russian]
 23. Čatský, J. (1960). Determination of water deficit in disks cut out from leaf blades. *Biol. Plant.*, 2(1), 76–78. doi: 10.1007/BF02920701
 24. Goryshina, T. K., & Samsonova, A. I. (1966). Water deficit in the leaves of herbaceous plants of different seasonal groups. *Bot. Zhurn.*, 51(5), 670–677. [in Russian]
 25. Nichiporovich, A. A. (1926). On water loss from excised plants during wilting. *Zhurnal opytной agronomii Yugo-Vostoka* [Journal of Experimental Agronomy of the South-East], 3(1), 79–92. [in Russian]
 26. Orliuk, A. P., & Honcharova, K. V. (2002). *Adaptivnyi i produktivnyi potentsialy pshenitsy* [Adaptive and productive potentials of wheat]. Kherson: Ailant. [in Ukrainian]

27. Ushkarenko, V. O., Vozhehova, R. A., Holoborodko, S. P., & Koko-vikhin, S. V. (2013). *Statystychni analiz rezultativ polovoykh doslidiv u zemlerobstvi* [Statistical analysis of the results of field experiments in agriculture]. Kherson: Ailant. [in Ukrainian]
28. Kur'yanovich, A. A., & Toibova, A. A. (2017, July). Dynamics of water regime indicators during the formation of mung bean yield (*Vigna radiata* (L.) R.Wilczek). In *Mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Rol' sovremennoy selektsii i agrotekhniki v merakh bor'by s zasukhoi"* [Proc. Int. sci.-pract. Conf. «The role of modern breeding and agricultural technology in measures to combat drought»] (pp. 53–57). Kazan: Buk. [in Russian]
29. Omprakash, Gobu R., Bisen, P., Baghe, M., & Chourasia, K. N. (2017). Resistance/tolerance mechanism under water deficit (drought) condition in plants. *Int J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 6(4), 66–78. doi: 10.20546/ijcmas.2017.604.009
30. Krivosheyev, G. Ya., Gorbacheva, A. G., & Vetoshkina, I. F. (2013). Reaction of parental forms of maize hybrids to dry and moisture-secure growing conditions. *Kukuruz i sorgo* [Corn and Sorghum], 3, 1–7. [in Russian]

UDC 633.31:631.67:631.559(477.7)

Vozhehova, R. A.¹, Tyshchenko, A. V.^{1*}, Tyshchenko, O. D.¹, Dymov, O. M.¹, Piliarska, O. O.¹, & Smulka, I. V.² (2021). Assessment of drought resistance of alfalfa breeding material according to water regime indicators in the South of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 17(1), 21–29. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.1.2021.228204>

¹Institute of Irrigated Agriculture of NAAS of Ukraine, Naddniprianske village, Kherson, 73483, Ukraine, *e-mail: tischenko_andriy@ukr.net

²Ukrainian Institute of Plant Variety Examination, 15 Heneralna Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine

Purpose is to evaluate the plant breeding material of alfalfa by the indices of water metabolism in different conditions of humidification, to determine the patterns of their manifestation, correlation ties between them and drought tolerance, to point out the best material for introduction into the plant breeding process. **Methods.** Field, laboratory, statistical. **Results.** During 2017–2020, 9 populations of alfalfa were studied by the indices of water regime: water content in the tissues, water deficit and water holding capacity of the leaves in the conditions of irrigation and natural humidification. The regularities of their manifestation were determined. By the data on the water content in leaves it was found out that it is high at irrigation (81.88; 79.63; 78.42%) and low (69.20; 70.81; 71.84%) without irrigation. Water content in leaves is closely related with water deficit, but the connection is inverse ($r = -0.986$ at irrigation and $r = -0.863$ at natural humidification). Water deficit in the populations was the highest (50.28–29.96–33.0%) in the stress conditions (without irrigation) and decreased in the plants at irrigation to 12.64–17.37–22.04%. Water deficit relates to *water holding capacity* of leaves: the greater water deficit, the lower *water holding capacity*. In the irrigated conditions, 13.9 to 17.3% was lost in 2 hours of the leaves wilting and 30.3–34.6% after 8 hours, and 3.78–4.31% in 1 hour. Water holding capacity ranged from 82.7 to 85.9% after 2 hours of the leaves wilting, and 61.6 to 69.7% af-

ter 8 hours. In the conditions of natural humidification, in the first 2 hours after wilting, the water content decreased by 8.5–11.7%, after 8 hours – by 16.5–22.6%. Water loss per one hour ranged from 1.78 to 2.84%, 1.5–2.0 times less than in irrigated plants. Water holding capacity was 82.3–91.5 and 77.0–91.5% after 2 and 8 hours, respectively. It was high (90.3–91.5 and 83.4–91.5%) in the following populations: LRH, M.q./M.agr., A.r.d. and M.agr.C. at water loss of 1.78–2.15%. A high inverse connection was found between water loss and water holding capacity after 2 and 8 hours: $r = -0.652$ and $r = -0.963$, respectively. There was a significant positive relationship between water holding capacity and drought tolerance ($r = 0.597–0.696$). High drought tolerance (56.9–58.2%) was recorded in the populations: M.agr.C., M.q./M.agr., LRH and Ram. D. **Conclusions.** Regularities of changes in tissue water content, deficit and water holding capacity of alfalfa leaves during irrigation and in conditions of natural humidification were revealed. The relationships between water deficit and water holding capacity, water loss and water holding capacity, water holding capacity and drought tolerance were determined. The best populations with high drought tolerance were selected to be introduced into the plant breeding process.

Keywords: alfalfa; population; water content in tissues; water deficit; water holding capacity; drought tolerance; irrigation; natural humidification.

Надійшла / Received 14.01.2021
Погоджено до друку / Accepted 22.02.2021