

Уміст проліну та активність лектинів у різних сортів сої в репродуктивних фазах розвитку

О. О. Молодченкова*, В. І. Січкарь, Г. Д. Лаврова, Л. Я. Безкровна, Я. С. Фанін

Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннізнавства та сортовивчення,
Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса, 65036, Україна, *e-mail: olgamolod@ukr.net

Мета. Дослідити вміст вільного проліну та активність лектинів у рослинах сої (*Glycine max* L.) різних сортів протягом найбільш чутливих до дефіциту вологи фаз – початку й повного цвітіння та формування й наливу бобів. **Методи.** Об'єктом досліджень слугували листки двох верхніх ярусів рослин 17 сортів сої вітчизняної та іноземної селекції. Уміст вільного проліну визначали спектрофотометричним методом, активність лектинів – методом гемаглютинації трипсинізованих еритроцитів крові. Статистичний аналіз результатів досліджень проводили за допомогою програми Libre Office Calc (GNU Lesser General Public License v3). **Результати.** Скринінг сортів сої на вміст проліну та активність лектинів у листках рослин дав змогу виявити сортові відмінності в репродуктивних фазах розвитку за цими показниками. Вони були достовірно більшими у стадії формування й наливу бобів, як порівняти з початком і повним цвітінням. Встановлено високий коефіцієнт кореляції ($r = 0,72$ за $P = 0,05$) між кількістю вологи та активністю лектинів у фазі формування й наливу бобів. **Висновки.** Виявлено зміни вмісту проліну й активності лектинів упродовж трьох фаз розвитку рослин із найбільшими їхніми значеннями у стадії формування й наливу бобів. Це свідчить про активацію адаптивних реакцій сої за несприятливих умов вирощування, зокрема посухи. Отримані результати дають змогу рекомендувати показники активності лектинів і вмісту проліну в листках рослин у фазі формування й наливу бобів як додаткові критерії для дослідження адаптаційного потенціалу сортів сої.

Ключові слова: соя; лектини; вільний пролін; адаптаційний потенціал.

Вступ

Соя [*Glycine max* (L.) Merr.] відіграє ключову роль у глобальній продовольчій безпеці, адже є джерелом рослинного білка, олії та біологічно активних речовин. Соевий білок за амінокислотним складом набагато збалансованіший, ніж велика кількість тваринних білків [1].

Глобальні зміни клімату, які останніми роками спостерігаються у світі, зокрема й в Україні, вимагають якісно нових підходів до

створення сортів сільськогосподарських культур. Одним із найважливіших завдань сучасної селекції сої є виведення культиварів із підвищеними адаптивними властивостями, здатних формувати стабільні врожаї високоякісного насіння за екстремальних умов вирощування. Серед таких на Півдні України найрозповсюдженішим нині є метеокомплекс «Посуха південна», який поєднує водний дефіцит із підвищеною температурою [2]. Чутливість сої до нестачі вологи пов'язана зі стадією її росту. Короткочасний і помірний дефіцит за початкових фаз розвитку зазвичай не впливає на продуктивність та якість продукції [3], а от під час подальшої вегетації соя більш вразлива до впливу посухи [4]. Від початку цвітіння через інтенсивний розвиток зеленої маси та збільшення поверхні випаровування стрімко зростає споживання води. Її недостатня кількість протягом стадій цвітіння, утворення та наливу бобів різко знижує продуктивність сої.

Olga Molodchenkova
<https://orcid.org/0000-0003-2511-0866>
Viacheslav Sichkar
<https://orcid.org/0000-0003-0581-5068>
Halyna Lavrova
<https://orcid.org/0000-0002-3086-6572>
Lidiia Bezкровna
<https://orcid.org/0000-0003-2227-1541>
Yaroslav Fanin
<https://orcid.org/0000-0003-3129-7583>



© The Author(s) 2025. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination.
This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Також ця культура негативно реагує на повітряну посуху, особливо в період цвітіння та утворення бобів, коли через дуже низьку вологість повітря не формуються нові та скидаються наявні квітки і плоди [5].

Реакція рослин сільськогосподарських культур на несприятливі умови вирощування, зокрема посуху та підвищену температуру, включає взаємодію між різноманітними молекулярними та фізіолого-біохімічними процесами. Розуміння механізмів впливу негативних чинників довкілля на метаболізм рослин важливе для зменшення наслідків їхньої дії, а також для поліпшення якості врожаю. За несприятливих факторів разом із синтезом стресових білків посилюється й синтез тих, що присутні в нормальних умовах, наприклад, лектину [6]. Про це свідчать дані щодо суттєвого накопичення вказаного білка в коренях проростків пшениці за впливу осмотичного шоку та посухи, в культурі клітин – за теплового шоку, в зернівках – у процесі проростання за дефіциту вологи, загартування до холоду та через дію біотичних чинників [7]. Згідно з наведеною інформацією, лектин зі специфічністю до N-ацетилгалактозаміну можна розглядати як учасника неспецифічних пристосувально-захисних реакцій рослин, оскільки його вміст у *Dolichos biflorus* (родина бобових) зростає за теплового стресу [8].

Однією з важливих адаптивних реакцій рослин є накопичення низькомолекулярних поліфункціональних протекторів. До таких сполук належить пролін, що виконує осморегуляторну, протекторну, антиоксидантну, енергетичну та інші функції в клітині, сприяючи підтриманню клітинного гомеостазу. Вважається, що ця амінокислота також реалізує шаперонну та сигнально-регуляторну функції в рослинах [9]. Продemonстровано подвійну роль проліну як у видаленні активних форм кисню (АФК), так і в передачі сигналів, що можна пояснити його участю в розвитку рослин та захистові їх від стресу [10]. Згідно з [11, 12], максимальний вміст вільного проліну для сої за посухи та засолення становив від 0,05 до 0,5% на суху речовину, що у 2–20 разів вище, ніж за оптимальних умов (контролю).

Результати цього дослідження, проведеного в камерах штучного клімату (контрольовані умови), показали, що після періоду водного дефіциту вміст вільного проліну в деяких сортів сої збільшувався в 5,6–7,8 раза. Якщо в контрольному варіанті він у середньому для дев'яти сортів становив 69 мг%, то після посухи зростає до 320 мг% [13].

Не виключено, що адаптивна роль лектинів і проліну в різні періоди розвитку рослин

неоднакова. Тому мета дослідження полягала у визначенні вмісту вологи, вільного проліну та активності лектинів у листках двох верхніх ярусів рослин різних сортів сої в найбільш уразливі до дефіциту вологи фази вегетації – початку та повного цвітіння, формування й наливу бобів.

Матеріали та методика досліджень

Об'єктом досліджень слугували листки двох верхніх ярусів рослин сортів сої української та іноземної селекції у трьох найбільш уразливих до дефіциту вологи фазах вегетації – початку та повного цвітіння й формування та наливу бобів. Аналізували такі культури: 'Аметист' (Красноградська дослідна станція Інституту зернового господарства НААН), 'Медея', 'Знахідка', 'Валюта' (Інститут сільськогосподарства Степу НААН), 'Романтика' (Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН), 'Спринт' (Інститут олійних культур НААН), 'Вільшанка' (ННЦ «Інститут землеробства НААН»), 'Кент' («SAATBAU LINZ eGen», Австрія), 'Танаїс' (ТОВ «Науково-дослідний інститут сої», «Семенсес Прогрейн Інк.»), 'КиВін' (Інститут кормів НААН, ННЦ «Інститут землеробства НААН»), 'Білявка' (Приватне підприємство «Наукова селекційно-насінницька фірма "Соевий вік"»), 'Терек' (ТОВ «Прогрейн Евразія», Канада), 'Альтаір', 'Фарватер', 'Сяйво', 'Мельпомена', 'Ятрань' (Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення НААН). Усі вони створені для вирощування у відмітних екологічних умовах, а тому характеризуються неоднаковою тривалістю вегетаційного періоду. Також у них різняться відношення до температурного режиму, врожайність за оптимальних умов, адаптаційний потенціал і рівень посухостійкості [14–16].

Дослідження проводили впродовж 2018–2024 рр. на полях державної установи «Центр наукових досліджень сільськогосподарських культур "Дачна"» Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення, розташованої на території південної частини Причорноморської низовини, у степовій зоні Одеської області. Рельєф – майже ідеальна рівнина. Ґрунтовий покрив – південні середньогумусні важкосуглинкові чорноземи на лесових відкладеннях. Товщина гумусового шару становила 40–50 см, вміст гумусу – 3,5–4,5%. Сума поглинутих основ була на рівні 40–45 мг-екв на 100 г ґрунту. Кількість доступних форм елементів живлення (мг-екв на 100 г ґрунту): азоту – 3–4, P_2O_5 – 10–15, K_2O – 20–30. Реакція

ґрунтового розчину нейтральна або слабко-лужна (рН сольової витяжки 6,0–7,2).

Листки сої для дослідження відбирали з 20 рослин кожного сорту, культивованого на посівах розсадника екологічного сортовипробування. На дослідних ділянках площею 12 м² за допомогою селекційної сівалки висівали 900 насінин трьома рядками з міжряддями 45 см. Повторність для вивчення кожного сорту чотириразова. Перед сівбою вносили суміш ґрунтових гербіцидів: прометрин із розрахунку 3 л/га та кломазин у концентрації 150 мг/га. У фазі одного-трьох трійчастих листків посіви обробляли баковою сумішшю страхових гербіцидів Базагран (діюча речовина – бентазон, 480 г/л) з розрахунку 1,5 л/га та Хармоні (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг) з розрахунку 8 г/га. Протягом вегетації здійснювали міжрядний обробіток ґрунту.

Зона, де проводили дослідження, за метеорологічними умовами належить до Степу [гідротермічний коефіцієнт (ГТК) – 0,7–1,0] та сухого Степу (ГТК – 0,4–0,7). В окремі посушливі роки ГТК опускався навіть нижче за 0,4. 2024 рік характеризувався одним із найбільших дефіцитів вологи. ГТК дорівнював 0,26, що відповідає зоні напівпустелі та пустелі.

Уміст вологи визначали термостатно-ваговим методом. На основі гемаглютинації еритроцитів крові білих щурів оцінювали активність лектинів [17]. Для їх виділення 0,3 г рослинного матеріалу розтирали з піском до гомогенного стану в 0,9 мл розчину «А», який містив 20 мМ калій-фосфатний буфер (рН 7,4), 0,05 мМ фенілметилсульфонілфторид (ФМСО), 0,5 мМ дитіотрейтол (ДТТ), 10 мМ етилендіамінтетраоцтову кислоту (ЕДТА) та 0,36 М сахарозу. Гомогенат центрифугували протягом 10 хв за 10000 g. Отриманий гомогенат фільтрували через два шари бавовняної тканини. Осад на тканинному фільтрі, що містив клітинні стінки, тричі промивали 20 мМ калій-фосфатним буфером (рН 7,4), потім ресуспендували в 0,9 мл того самого буфера та центрифугували за 10 000 g. Надосадової рідини позбувалися, а з осаду (клітинні стінки) екстрагували лектини розчином «Б», який містив 20 мМ калій-фосфатний буфер (рН 7,4), 0,05 мМ ФМСО, 0,5 мМ ДТТ, 10 мМ ЕДТА, 0,36 М сахарозу та 0,05 %-й Тритон X-100, настоюючи протягом чотирьох годин і постійно помішуючи за температури +40 °С. Після цього екстракт центрифугували впродовж 30 хв за 20 000 g, осад відкидали, а в надосадовій рідині визначали активність лектинів – величину, зворотну до мінімальної концентрації білка, за якої відбувається аглютинація еритроцитів 1/(мкг білка/мл). Уміст білка встановлювали методом Лоурі [18].

Кількість проліну визначали колориметричним методом, застосовуючи нінгідрин [19]. Наважку рослинного матеріалу гомогенізували в дистильованій воді, після чого гомогенат одразу кип'ятили на водній бані протягом 10 хв. Проби охолоджували, екстракт фільтрували. У реакційних пробірках змішували по 1 мл екстракту, льодяної оцтової кислоти та нінгідринового реактиву. Закриті ковпачками з фольги пробірки нагрівали на киплячій водяній бані впродовж 1 год. Оптичну густину встановлювали за довжини хвилі 520 нм. Як стандарт використовували L-пролін.

Досліди проводили у триразовій біологічній та аналітичній повторності. Статистичний аналіз результатів досліджень виконували за допомогою програми Libre Office Calc (GNU Lesser General Public License v3).

Результати досліджень

Установлено, що впродовж фази початку цвітіння вміст вільного проліну в досліджуваних сортах сої варіював від 0,019 до 0,03%. Найвищі його показники продемонстрували 'Знахідка' та 'Кивін'. Активність лектинів змінювалася в межах 1,54–9,08 (мкг/мл)⁻¹ та була максимальною в культивару 'Фарватер'. Кількість вологи становила 51,85–88,67%. Найбільше її накопичив сорт 'Аметист'.

У фазі цвітіння, як порівняти з початком цвітіння, усереднені показники за сортами знизилися: вмісту проліну – в 1,9 раза, активності лектинів і кількості вологи – на 13 і 3,4% відповідно. Найбільше проліну синтезувалося в листках культивару 'Спринт'. Також він відзначився максимальною активністю лектинів.

У фазі формування та наливу бобів спостерігали зменшення середнього рівня вологи в листках на 3,9 і 0,5%, порівнюючи з початком та повним цвітінням відповідно. Інші показники, навпаки, були достовірно більшими, ніж у попередніх стадіях (відмінності між середніми показниками вмісту вільного проліну та активності лектинів є достовірними за $P < 0,05$) (табл.). Зокрема, підвищений уміст проліну виявлено в сортів 'Медея', 'Спринт', 'Альтаір' та 'Ятрань', а значну лектинову активність – у 'Романтики', 'Вільшанки' й 'Знахідки'. У наших попередніх дослідженнях [14] ці культивари характеризувалися підвищеною врожайністю як у посушливі, так і в більш сприятливі роки.

Метаболічною реакцією рослин на вплив стресових факторів є накопичення проліну. Збільшення його вмісту в листках усіх сортів, що вивчали в цьому дослідженні, відбувалося у фазі формування й наливу бобів. Зазначений показник розглядають як осмотичний

Уміст вологи, проліну та активність лектинів у рослинах сої за різних фаз онтогенезу (середні показники за 2018–2024 рр.)

Сорт	Фаза розвитку рослини									
	Початок цвітіння			Повне цвітіння			Формування і налив бобів			
	Уміст вологи, %	Уміст проліну, %	Активність лектинів, (мкг/мл) ⁻¹	Уміст вологи, %	Уміст проліну, %	Активність лектинів, (мкг/мл) ⁻¹	Уміст вологи, %	Уміст проліну, %	Активність лектинів, (мкг/мл) ⁻¹	
‘Аметист’	88,67 ± 2,2	0,025 ± 0,003	4,04 ± 0,05	75,70 ± 2,1	0,017 ± 0,001	3,36 ± 0,03	74,20 ± 3,2	0,077 ± 0,005	10,69 ± 0,11	
‘Медя’	51,85 ± 1,6	0,028 ± 0,005	2,42 ± 0,01	72,50 ± 2,0	0,021 ± 0,002	2,48 ± 0,02	73,43 ± 2,4	0,106 ± 0,008	12,60 ± 0,12	
‘Романтика’	79,15 ± 2,5	0,025 ± 0,002	6,84 ± 0,04	73,10 ± 1,3	0,016 ± 0,001	3,39 ± 0,05	75,42 ± 2,8	0,099 ± 0,007	18,63 ± 0,14	
‘Спринт’	77,11 ± 3,8	0,027 ± 0,004	5,78 ± 0,05	73,30 ± 2,2	0,027 ± 0,003	11,12 ± 0,09	72,80 ± 1,7	0,107 ± 0,013	14,06 ± 0,13	
‘Альтаір’	77,33 ± 2,5	0,027 ± 0,006	5,59 ± 0,03	71,05 ± 1,5	0,019 ± 0,002	1,49 ± 0,01	72,45 ± 2,3	0,130 ± 0,007	14,71 ± 0,11	
‘Фарватер’	75,69 ± 3,4	0,027 ± 0,002	9,08 ± 0,06	71,49 ± 1,6	0,017 ± 0,003	6,38 ± 0,05	70,45 ± 2,5	0,100 ± 0,009	14,39 ± 0,09	
‘Сяйво’	76,24 ± 1,6	0,021 ± 0,004	5,59 ± 0,04	69,52 ± 1,1	0,016 ± 0,002	3,14 ± 0,04	72,67 ± 2,1	0,102 ± 0,011	10,79 ± 0,05	
‘Знахідка’	77,45 ± 2,5	0,030 ± 0,006	3,37 ± 0,02	71,60 ± 2,2	0,012 ± 0,001	5,22 ± 0,05	75,54 ± 3,1	0,073 ± 0,003	24,55 ± 0,15	
‘Мельпомена’	76,53 ± 1,4	0,025 ± 0,004	1,54 ± 0,01	71,30 ± 1,8	0,010 ± 0,002	4,85 ± 0,03	72,45 ± 2,5	0,059 ± 0,002	10,42 ± 0,04	
‘Вальота’	73,62 ± 2,5	0,025 ± 0,002	4,15 ± 0,02	69,90 ± 1,7	0,023 ± 0,003	9,76 ± 0,09	76,45 ± 3,2	0,082 ± 0,005	15,35 ± 0,16	
‘Вільшанка’	78,09 ± 3,8	0,023 ± 0,003	4,82 ± 0,03	74,13 ± 2,1	0,017 ± 0,002	1,52 ± 0,01	72,67 ± 2,2	0,066 ± 0,005	23,58 ± 0,15	
‘Ягрань’	56,06 ± 1,7	0,019 ± 0,001	4,08 ± 0,02	74,00 ± 2,2	0,020 ± 0,001	2,46 ± 0,03	70,45 ± 1,5	0,110 ± 0,008	11,72 ± 0,06	
‘Кент’	76,11 ± 3,6	0,025 ± 0,005	3,21 ± 0,02	72,00 ± 1,5	0,017 ± 0,002	5,55 ± 0,07	69,33 ± 1,4	0,062 ± 0,004	4,31 ± 0,02	
‘Танатис’	75,16 ± 3,5	0,030 ± 0,006	5,31 ± 0,04	71,40 ± 1,6	0,018 ± 0,003	1,64 ± 0,01	68,45 ± 1,2	0,072 ± 0,006	15,04 ± 0,11	
‘Терек’	77,24 ± 4,6	0,020 ± 0,001	3,29 ± 0,02	72,60 ± 2,0	0,013 ± 0,002	1,38 ± 0,02	67,56 ± 1,6	0,079 ± 0,008	5,54 ± 0,05	
‘Київ’	75,13 ± 2,4	0,030 ± 0,003	6,19 ± 0,05	70,29 ± 1,9	0,017 ± 0,003	3,55 ± 0,03	67,43 ± 1,5	0,070 ± 0,005	3,72 ± 0,02	
‘Білявка’	75,60 ± 1,6	0,028 ± 0,005	3,25 ± 0,02	70,10 ± 1,6	0,021 ± 0,002	1,34 ± 0,01	65,87 ± 1,4	0,051 ± 0,003	2,01 ± 0,01	
max	88,67 ± 4,7	0,030	9,08	75,70	0,027	11,12	76,45	0,130	24,55	
min	51,85	0,019	1,54	69,52	0,010	1,34	65,87	0,051	2,01	
V, %	11,29	13,11	39,54	2,33	23,01	71,28	4,32	25,49	50,88	
Δ	74,52 ± 2,0	0,026 ± 0,0008	4,62 ± 0,44	71,99 ± 0,41	0,017 ± 0,0009	4,04 ± 0,69	71,62 ± 0,75	0,085 ± 0,005	12,47 ± 1,54	

регулятор, що зменшує спричинені несприятливими умовами негативні ефекти в рослин. Накопичення проліну також сприяє підвищенню резистентності клітин завдяки збільшенню осмотичного потенціалу. Ця амінокислота синтезується з глутамату та орнітину, тому за дефіциту води вона утворюється, найімовірніше, переважно з глутамату [9].

У фазі формування та наливу бобів, як порівняти зі стадіями початку та повного цвітіння, в усіх досліджених сортів спостерігали підвищення активності лектинів. Між цим показником та вмістом вологи в листках на вказаному етапі розвитку встановлено високий коефіцієнт кореляції ($r = 0,72$ за $P = 0,05$). Зміна активності лектинів може відбуватися через індукування їхніх нових ізоформ, накопичення яких сприяє підтриманню метаболізму клітини на оптимальному рівні. Також вона, як і зміна вмісту проліну, можливо пов'язана з активізацією адаптивних реакцій рослин за дії посухи та гіпертермії, якими характеризувалися умови цього року.

Підвищення стійкості рослин проти складних екологічних ситуацій відбувається завдяки активації багатьма захисними системами численних стресових реакцій. Робота з їхнього вивчення полягає передусім у встановленні способів сигналізації стресу та послідовних молекулярних, фізіологічних і біохімічних реакцій, що виникають за стресових факторів [20]. Виявлено, що в реакції рослин сої на негативні чинники довкілля бере участь значна кількість білків, зокрема й лектини. Вважається, що в основі їхніх захисних функцій лежить передавання сигналів ззовні в середину клітини або органел, що пов'язано з іонними потоками, викликаними зміною проникності мембран внаслідок взаємодії мембранних лектинів із певними глікокон'югатами [21]. Зміна активності та вуглеводної специфічності лектинів може слугувати сигналом для запуску інших захисних реакцій і формування мультикомпонентної біохімічної відповіді на несприятливі умови вирощування. Важливу роль в адаптивних реакціях рослин відіграють їхні антиоксидантні системи, низькомолекулярні поліфункціональні протектори, до яких належить і пролін. Так, у листках сої через вплив посухи підвищувалася активність глутатіонредуктази та глутатіонпероксидази, супероксиддисмутази й пероксидази [22]. Збільшення вмісту проліну в рослинах досліджуваної культури та гороху спостерігали за умов водного дефіциту [11–13, 23, 24]. Останній разом із гіпертермією спричинили також підвищення активності лектинів у посухостійких гено-

типів кукурудзи, що встановлено нашими попередніми дослідженнями [25].

Отримані у цій роботі результати продемонстрували зміни вивчених показників протягом трьох фаз розвитку рослин із найбільшими їхніми значеннями в період формування та наливу бобів. Це свідчить про активацію адаптивних реакцій сої за несприятливих умов вирощування, зокрема посухи. Як додаткові експресні методи дослідження адаптаційного потенціалу сортів цієї культури можна розглядати установлені між ними відмінності за вмістом проліну та активністю лектинів у вказаних фазах розвитку, особливо під час формування та наливу бобів.

Висновки

Визначено вміст вологи й проліну, а також активність лектинів у листках двох верхніх ярусів рослин сої впродовж трьох найбільш уразливих до дефіциту води репродуктивних фаз вегетації. Так, у фазі формування й наливу бобів, як порівняти з двома попередніми – початком і повним цвітінням, зафіксовано достовірно більші показники вмісту проліну з їхніми максимальними значеннями в сортів 'Медея', 'Альтаір', 'Спринт' і 'Ятрань' та активності лектинів. Остання була найвищою у культиварів 'Знахідка', 'Альтаір', 'Спринт', 'Вільшанка', 'Танаїс' і 'Валюта'. Також у цій стадії встановлено високий коефіцієнт кореляції ($r = 0,72$ за $P = 0,05$) між кількістю вологи та активністю лектинів. Отримані результати дають змогу рекомендувати показники вмісту проліну та активності лектинів у листках рослин у фазі формування й наливу бобів як додаткові критерії адаптаційного потенціалу сортів сої.

References

1. Zhao, J., Wang, Y., Zhao, M., Rodriguez, D., de Voil, P., Tan, Z., & Chu, Q. (2025). Anticipated changes in soybean drought stress and yield stability under future climates in Northeast China. *Npj Sustainable Agriculture*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s44264-025-00053-5>
2. Pysarenko, V. M., Pysarenko, P. V., Pysarenko, V. V., Gorb, O. O., & Chaika, T. O. (2019). Droughts in the context of climate changes in Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 134–146 [In Ukrainian]
3. Vaghar, M. S., Sayfzadeh, S., Zakerin, H. R., Kobraee, S., & Valadabadi, S. A. (2020). Foliar application of iron, zinc, and manganese nano-chelates improves physiological indicators and soybean yield under water deficit stress. *Journal of Plant Nutrition*, 43(18), 2740–2756. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1793180>
4. Zhang, Y., Zhang, H., Fu, J., Du, Y., Qu, J., Song, Y., & Wang, P. (2021). The *GmXTH1* gene improves drought stress resistance of soybean seedlings. *Molecular Breeding*, 42(1). <https://doi.org/10.1007/s11032-021-01258-5>
5. Belyavskaya, L. G., Belyavsky, Y. V., & Dianova, A. A. (2018). Assessment of ecological stability and plasticity of soybean varieties. *Leguminous and Cereal Crops*, 4, 42–49. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11048>
6. Osman, M. E. M., Osman, R. S. H., Gharthey-Kwansah, G., & Konozy, E. H. E. (2023). Plant Lectins: Implications in Tolerance and

- Resistance. In *Annual Plant Reviews online* (pp. 31–55). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0804>
7. Molodchenkova, O. O., & Ryshchakova, O. V. (2019). Participation of lectins in the formation of plant protective reaction of cereals. *New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries* (pp. 205–230). Baltija Publishing.
 8. Spadaro-Tank, J. P., & Etzler, M. E. (1988). Heat shock enhances the synthesis of a lectin-related protein in *Dolichos biflorus* cell suspension cultures. *Plant Physiology*, 88(4), 1131–1135. <https://doi.org/10.1104/pp.88.4.1131>
 9. Kaur, G., & Asthir, B. (2015). Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia Plantarum*, 59(4), 609–619. <https://doi.org/10.1007/s10535-015-0549-3>
 10. Renzetti, M., Funck, D., & Trovato, M. (2024). Proline and ROS: A Unified Mechanism in Plant Development and Stress Response? *Plants*, 14(1), Article 2. <https://doi.org/10.3390/plants14010002>
 11. Hossain, M. M., Liu, X., Qi, X., Lam, H.-M., & Zhang, J. (2014). Differences between soybean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. *The Crop Journal*, 2(6), 366–380. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.08.001>
 12. Sarkar, K., Mannan, M., Haque, M., & Ahmed, J. (2016). Physiological Basis of Water Stress Tolerance in Soybean. *Bangladesh Agronomy Journal*, 18(2), 71–78. <https://doi.org/10.3329/baj.v18i2.28908>
 13. Sichkar, V. I., Lyashok, A. K., & Musych, V. M. (2001). Physiological response of soybean varieties to drought and elevated temperature. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 33(6), 497–503. [In Ukrainian]
 14. Sichkar, V., Ganzhelo, O., & Lavrova, G. (2013). Increasing adaptability under the drought is the main direction of modern soybean breeding in the South of Ukraine. *Journal of Lviv National Agrarian University. Agronomy*, 17(2), 187–195. [In Ukrainian]
 15. Mursakaev, E. S., Lavrova, G. D., Ganzhelo, O. I., & Bushulian, O. V. (2018). Estimation of parameters of environmental stability and plasticity of soybean varieties in the southern Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Center for Science Provision of Agribusiness in the Kharkiv region*, 24, 173–180. [In Ukrainian]
 16. Sichkar, V., & Lavrova, H. (2024). Breeding pulses to improve adaptive traits under conditions of general warming. *Proceeding VIII International Scientific Conference "Genetics, Physiology and Plant Breeding"* (pp. 201–207). Chisinau, Republic of Moldova. <https://doi.org/10.53040/gppb8.2024.34>
 17. Lutsyk, M. F., Panasyuk, E. N., & Lutsyk, A. D. (1981). *Lectins*. Vyscha Shkola.
 18. Lowry, O. H., Rozebrough, N. I., Farr, F. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1), 265–275.
 19. Bates, L. S., Walden, R. P., & Tear, G. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205–210. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
 20. Rasheed, A., Mahmood, A., Maqbool, R., Alabaqami, M., Sher, A., Sattar, A., Bakhsh, G., Nawaz, M., Hassan, M. U., Al-Yahyai, R., Aamer, M., Li, H., & Wu, Z. (2022). Key insights to develop drought-resilient soybean: A review. *Journal of King Saud University - Science*, 34(5), Article 102089. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102089>
 21. Naithani, S., Komath, S. S., Nonomura, A., & Govindjee, G. (2021). Plant lectins and their many roles: Carbohydrate-binding and beyond. *Journal of Plant Physiology*, 266, Article 153531. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153531>
 22. Zhou, Q., Song, S., Wang, X., Yan, C., Ma, C., & Dong, S. (2022). Effects of drought stress on flowering soybean physiology under different soil conditions. *Plant, Soil and Environment*, 68(10), 487–498. <https://doi.org/10.17221/237/2022-pse>
 23. Tian, Y., Li, X., Zhou, X., Qu, Z., Wang, X., & Dong, S. (2023). Effects of drought Stress on SOD activity and pro content in different parts of soybean leaves. *Legume Research*, 46(8), 995–1000. <https://doi.org/10.18805/lrf-750>
 24. Masheva, V., Spasova-Apostolova, V., Aziz, S., & Tomlekova, N. (2022). Variations in proline accumulation and relative water content under water stress characterize bean mutant lines (*P. vulgaris* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 28(3), 430–436.
 25. Ryshchakova, O. V., Molodchenkova, O. O., & Petrov, S. A. (2020). Biochemical adaptive plant response of corn lines with different drought tolerance. *Journal of Integrated OMICS*, 10(1), 26–30. <https://doi.org/10.5584/jiomics.v10i1.309>

UDC 577.1

Molodchenkova, O. O.*, Sichkar, V. I., Lavrova, H. D., Bezukrovna, L. Ya., & Fanin, Ya. S. (2025). Proline content and lectin activity in different soybean varieties during reproductive phases of development. *Plant Varieties Studying and Protection*, 21(3), ---. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.3.2025.339314>

*Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, 3 Ovidiopol'ska Doroha St., Odesa, 65036, Ukraine, *e-mail: olgamolod@ukr.net*

Purpose. To investigate the content of free proline and lectin activity in soybean (*Glycine max* L.) of different varieties during the phases when they are most sensitive to moisture: the beginning and full flowering, and the formation and filling of beans. **Methods.** The research focused on the leaves from the two upper nodes of plants of 17 soybean varieties of domestic and foreign breeding. Free proline content was determined using a spectrophotometric method and lectin activity was determined using haemagglutination of trypsinised blood erythrocytes. The research results were statistically analysed using LibreOffice Calc (GNU Lesser General Public Licence v3). **Results.** Screening soybean varieties for proline content and lectin activity in plant leaves revealed varietal differences in reproductive phase development according to these indicators. These were significantly higher during the

bean formation and filling stage than at the beginning and full flowering stage. A high correlation coefficient ($r = 0.72$ at $P = 0.05$) was found between moisture content and lectin activity during the bean formation and filling phase. **Conclusions.** Changes in proline content and lectin activity were observed during the three phases of plant development. The highest values were recorded during the formation and filling stages of bean development. This suggests that soybeans activate adaptive responses under unfavourable growing conditions, particularly drought. The results obtained allow us to recommend measuring lectin activity and proline content in plant leaves during the formation and filling stages of beans as an additional way of studying the adaptive potential of soybean varieties.

Keywords: soybean; lectins; free proline; adaptive potential.

Надійшла / Received 28.07.2025
Погоджено до друку / Accepted 29.08.2025