

Seed heterogeneity, fractional composition and thousand seed weight of soybean depending on varietal composition

V. Kravchenko✉ | N. Poltoretska | L. Kononenko | L. Vyshnevskaya | N. Klymovych

Article info

Correspondence Author

V. Kravchenko

E-mail:

vtaliikrav12@gmail.comUman National University,
Instytutska Str., 1, Uman,
Cherkasy Region, 20300,
Ukraine

Citation: Kravchenko, V., Poltoretska, N., Kononenko, L., Vyshnevskaya, L., & Klymovych, N. (2025). Seed heterogeneity, fractional composition and thousand seed weight of soybean depending on varietal composition. *Scientific Progress & Innovations*, 28(3), 98–102. doi: 10.31210/spi2025.28.03.16

The article presents the results of a field study conducted under the agro-climatic conditions of the Uman district, Cherkasy region, aimed at assessing seed heterogeneity, fractional composition, and thousand-seed weight of soybean depending on varietal composition. The study included five soybean varieties: ES Mentor, Halleck, OAC Brook, OAC Strive, and OAC Lakeview. Fractional composition was determined by dividing seeds into large (>6.5 mm), medium (5.0–6.5 mm), and small (<5.0 mm) fractions using the sieving method. Thousand-seed weight was determined according to standard procedures, and protein content was measured using near-infrared spectroscopy (NIRS). The results revealed pronounced varietal differences. ES Mentor and OAC Lakeview were characterized by a predominance of the large seed fraction (>6.5 mm) exceeding 55 %, which indicates their suitability for large-seeded soybean production. Halleck and OAC Strive demonstrated a more uniform distribution of seeds across fractions, making them versatile for various uses. OAC Brook had the lowest proportion of large seeds (>6.5 mm) and the highest proportion of small ones (<5.0 mm), up to 28 %, indicating its distinct morphometric differentiation. The thousand-seed weight ranged from 131.2 g in OAC Brook to 168.4 g in ES Mentor, reflecting a significant influence of genetic factors. Protein content varied from 36.5 % in ES Mentor to 40.8 % in OAC Brook, confirming an inverse relationship between seed weight and protein accumulation. Additionally, significant correlations were established between thousand-seed weight, protein content, and fractional composition, allowing prediction of seed quality traits based on varietal characteristics. Thus, it was determined that the qualitative and biochemical characteristics of soybean seeds are largely defined by varietal features, and the obtained results can be applied to optimize breeding programs and cultivation technologies.

Keywords: soybean, varietal composition, fractional composition, mass of 1000 seeds, protein content, seed quality.

Різноманітність насіння, оцінка фракційного складу та маси тисячі насінин сої залежно від сортового складу

В. С. Кравченко | Н. М. Полторецька | Л. М. Кононенко | Л. В. Вишневецька | Н. М. Климович

Уманський національний
університет,
м. Умань, Україна

У статті наведено результати польового дослідження, проведеного в агрокліматичних умовах Уманського району Черкаської області, з метою оцінки різноманітності, фракційного складу та маси 1000 насінин сої залежно від сортового складу. Дослідження охоплювало п'ять сортів сої: ЕС Ментор, Галлек, ОАЦ Брук, ОАЦ Страйв та ОАЦ Лейкв'ю. Фракційний склад визначали шляхом поділу насіння на великі (>6,5 мм), середні (5,0–6,5 мм) та дрібні (<5,0 мм) фракції методом просіювання. Маса 1000 насінин встановлювалася за стандартними методиками, а вміст білка – за допомогою ближньої інфрачервоної спектроскопії (NIRS). Отримані результати засвідчили виражені відмінності між сортами. Сорти ЕС Ментор та ОАЦ Лейкв'ю характеризувалися переважанням великої фракції насіння (>6,5 мм) понад 55 %, що свідчить про їхню придатність для використання у виробництві крупнонасінневої сої. У сортів Галлек та ОАЦ Страйв спостерігався більш рівномірний розподіл насіння між фракціями, що робить їх універсальними для різних напрямів використання. Сорт ОАЦ Брук мав найменшу частку насіння великої фракції (>6,5 мм) і найбільшу кількість дрібного (<5,0 мм) – до 28 %, що вказує на його специфічну морфометричну диференціацію. Маса 1000 насінин варіювала від 131,2 г у сорту ОАЦ Брук до 168,4 г у сорту ЕС Ментор, що вказує на значний вплив генетичних факторів. Вміст білка змінювався від 36,5 % (ЕС Ментор) до 40,8 % (ОАЦ Брук), що підтверджує тенденцію оберненої залежності між масою насіння та його білковістю. Додатково встановлено достовірні кореляційні зв'язки між масою 1000 насінин, вмістом білка та фракційним складом, що дозволяє прогнозувати якісні показники насіння залежно від сортових особливостей. Таким чином, встановлено, що якісні та біохімічні характеристики насіння сої значною мірою визначаються сортовими особливостями, а отримані результати можуть бути використані для оптимізації селекційних програм і технологій вирощування.

Ключові слова: соя, сортовий склад, фракційний склад, маса 1000 насінин, вміст білка, якість насіння.

Бібліографічний опис для цитування: Кравченко В. С., Полторецька Н. М., Кононенко Л. М., Вишневецька Л. В., Климович Н. М. Різноманітність насіння, оцінка фракційного складу та маси тисячі насінин сої залежно від сортового складу. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (3). С. 98–102.

Вступ

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) є стратегічною культурою для України, яка активно впроваджується у структуру посівів завдяки високій харчовій та економічній цінності. Проте, незважаючи на щорічне зростання площ вирощування, урожайність і якість насіння сої залишаються нестабільними, особливо в умовах Степу та Лісостепу, де вирішальну роль відіграють гідротермічні показники. У регіональних умовах Уманського району Черкаської області, як і в багатьох інших регіонах, відсутність зрошення, дефіцит вологи у критичні фази розвитку рослин призводять до зниження врожайності, погіршення фракційного складу насіння та зменшення маси 1000 насінин [9].

Згідно з даними міжнародних досліджень, водозабезпечення суттєво впливає на формування якісних показників сої – вмісту білка, олії, мінералів та однорідності насіння. Проте, результати щодо впливу водного режиму на хімічний склад сої є суперечливими, що вказує на необхідність проведення регіональних досліджень. У багатьох випадках саме сортова специфіка визначає адаптивні реакції культури на стресові фактори середовища, впливаючи на пластичність, стабільність врожаю та однорідність фракційного складу [4, 12].

На сьогодні особливої уваги потребує дослідження різноякісності насіння сої за фракційним складом та масою 1000 насінин залежно від сортових особливостей, що є ключовими показниками якості та технологічної придатності врожаю. Водночас, наявна наукова література практично не охоплює дослідження цих параметрів у контексті регіональних кліматичних умов Черкаської області. Це створює суттєву прогалину у науковому забезпеченні виробництва високоякісного насіння, що відповідає вимогам сучасного ринку [6, 11].

Упродовж останніх десятиліть науковці приділяють значну увагу дослідженню якісних і кількісних показників насіння сої, зокрема вмісту білка, олії, мінералів, маси 1000 насінин та фракційного складу. У працях закордонних дослідників висвітлено вплив гідротермічних умов, сортових особливостей та агротехнічних прийомів на продуктивність і якість сої. Наприклад, у дослідженнях, проведених у Войводині (Сербія), встановлено, що зрошення істотно знижує міжрічну варіабельність урожайності, а також впливає на хімічний склад насіння – вміст білка, олії, цукрів і макро- та мікроелементів [8, 10, 11, 17]. Водночас, результати щодо зв'язку водного дефіциту з вмістом білка й олії є суперечливими [15, 18], що свідчить про складність цієї взаємодії та її залежність від сортових особливостей.

Сучасні дослідження акцентують увагу на важливості вивчення G×E×M взаємодій (генотип–середовище–менеджмент) для оцінки хімічного складу насіння сої. Особливої уваги набувають підходи, що дають змогу врахувати фракційний склад насіння і стабільність маси 1000 насінин як індикатори сортової пластичності [9, 13, 16].

У статтях останніх років також підкреслюється, що соя (*Glycine max* L.) посідає ключове місце серед сільськогосподарських культур як основне джерело рослинного білка та олії. Насіння сої містить 30–45 % білка з високою біологічною цінністю та 15–22 % олії з оптимальним співвідношенням лінолевої і ліноленової кислот. Зростання площ під соєю у країнах Європи частково зумовлене змінами клімату, які розширюють зони придатності до її вирощування, а також успішними результатами селекції ранньостиглих сортів [1, 14].

Поряд із цим, численні дослідження вказують на залежність врожайності та якісних показників насіння сої від агротехнічних прийомів, зокрема способу сівби, норми висіву, ширини міжрядь тощо. Встановлено, що рівномірна глибина загортання насіння, однакова відстань між рослинами в рядку та оптимальна густина стояння є критичними факторами для формування однорідного насіння з високими показниками маси 1000 насінин. Дослідження, проведені в умовах Німеччини, показали, що спосіб сівби та густина стояння рослин істотно впливають як на кількісні, так і на якісні параметри врожаю. Подібні результати отримано й у дослідженнях, проведених в інших країнах світу, що свідчить про загальну тенденцію впливу густоти стояння та способу сівби на продуктивність сої [3, 4].

Мета дослідження

Метою статті є з'ясування впливу сортових особливостей на фракційний склад та масу 1000 насінин сої в агроекологічних умовах Уманського району Черкаської області, а також виявлення сортів, здатних формувати стабільні показники якості насіння в умовах нестійкого водного режиму.

Матеріали і методи

Дослідження з оцінки різноякісності насіння, фракційного складу та маси тисячі насінин сої залежно від сортового складу проводилися у 2023–2024 роках на дослідному полі кафедри рослинництва Уманського НУ в Уманському районі Черкаської області. Кліматичні умови регіону характеризуються помірно-континентальним кліматом з достатнім зволоженням у весняно-літній період, що є сприятливим для вирощування сої.

Польові досліді були закладені методом розщеплених ділянок у чотириразовій повторності відповідно до рекомендацій методики проведення польових дослідів [7]. Для дослідження було використано сорти сої, які різняться за морфологічними ознаками, строками дозрівання та потенціалом урожайності.

Усі агротехнічні заходи (обробіток ґрунту, сівба, догляд за посівами, збирання) здійснювалися згідно з загальноприйнятими у регіоні рекомендаціями для вирощування сої. Сівбу проводили з урахуванням оптимальних строків для умов Правобережного Лісостепу.

Оцінку різноякісності насіння здійснювали шляхом визначення фракційного складу (крупна, середня, дрібна фракції), який визначали за допомогою калібрування насіння через сита з відповідними діаметрами отворів. Вміст фракцій виражали у відсотках до загальної маси насіння. Визначення маси тисячі насінин (МТН) проводили згідно з ДСТУ 4138:2002 шляхом трикратного зважування 1000 насінин кожної фракції з наступним розрахунком середнього значення [2].

Статистичну обробку результатів здійснювали методами дисперсійного аналізу з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel та Statistica 10.0, що дало змогу встановити достовірність впливу сортових особливостей на фракційний склад та масу тисячі насінин.

Результати та їх обговорення

У дослідженнях, проведених у ґрунтово-кліматичних умовах Уманського району Черкаської області, оцінювалися показники різноякісності насіння сої залежно від сортових особливостей. Кліматичні умови досліджуваного регіону були сприятливими для формування високоякісного насіннєвого матеріалу: середньодобові температури у вегетаційний період перевищували багаторічну норму на 1,2–1,8 °С, а кількість опадів була нерівномірною, з дефіцитом в критичні періоди формування бобів. Це, своєю чергою, вплинуло на розмір насіння, його масу та вирівняність.

Аналіз фракційного складу насіння сої показав істотні відмінності між сортами за співвідношенням крупної (>5,0 мм), середньої (4,0–5,0 мм) та дрібної (<4,0 мм) фракцій. Найвищу частку крупної фракції встановлено у сорту Галлек – 64,1 %, що свідчить про значну вирівняність і потенціал для товарного використання. Сорт ЕС Ментор мав дещо нижчий

показник – 58,7 %, однак також відзначався доброю однорідністю насіння (*табл. 1*).

Аналіз отриманих результатів свідчить, що сорти Кобза та ОАЦ Брук вирізнялися підвищеним вмістом середньої фракції насіння – 45,2 % та 48,5 % відповідно, що є позитивною ознакою для подальшого насіннєвого використання, хоча у них дещо нижчою була частка крупного насіння. Найменший вміст крупної фракції (>5,0 мм) виявлено у сорту Сигалія – 43,8 %, проте він мав найбільшу частку дрібної фракції (<4,0 мм) – 17,5 %. Така особливість може обмежувати його застосування у класичному насіннєвому виробництві, однак сорт може бути рекомендований для спеціалізованого використання (наприклад, на корм або для переробки), що пояснює його впровадження у виробництво. Сорти Галлек та ЕС Ментор демонстрували перевагу за крупною фракцією (64,1 % та 58,7 % відповідно) при помірному вмісті середньої та мінімальній частці дрібної фракції, що свідчить про їх потенційно високу господарську придатність.

Таблиця 1

Фракційний склад насіння сої залежно від сорту, %

Сорт	Фракції насіння		
	крупна (>5,0 мм)	середня (4,0–5,0 мм)	дрібна (<4,0 мм)
Галлек	64,1	31,2	4,7
ЕС Ментор	58,7	36,5	4,8
ОАЦ Брук	49,2	48,5	2,3
Сигалія	43,8	38,7	17,5
Кобза	46,4	45,2	8,4
НІР (p<0,05)	4,50	4,05	3,37

Отримані результати графічно ілюструють відмінності між сортами у розподілі фракцій (*рис. 1*), що дає змогу наочно визначити сорти з найкращим поєднанням крупної та середньої фракцій для комерційного вирощування та репродукції.

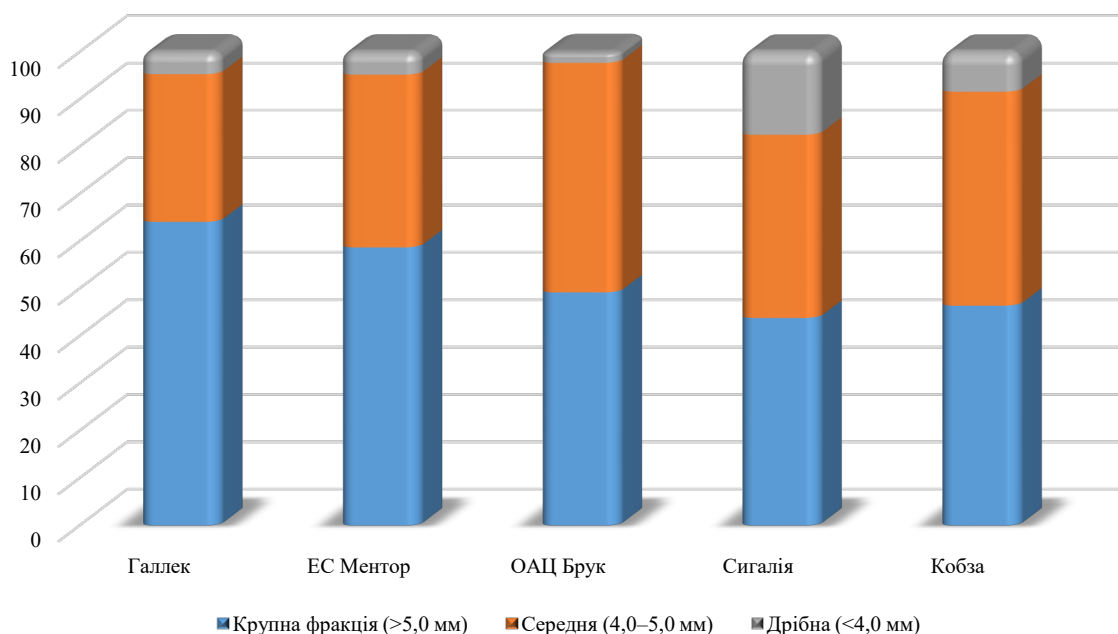


Рис. 1. Фракційний склад насіння сої залежно від сорту

Також важливим показником господарської цінності сої є маса 1000 насінин, яка визначає рівень виповненості зерна, а також вміст білка, що має ключове значення для харчового та кормового використання культури.

За результатами вимірювань встановлено, що найбільшу масу 1000 насінин мав сорт Галлек – 160 г, що свідчить про високу виповненість зерна. Дещо нижчі значення продемонстрували сорти ЕС Ментор – 156 г та ОАЦ Брук – 152 г. Найменшу масу 1000 насінин зафіксовано у сорту Сигалія – 146 г.

За вмістом білка перевагу мав сорт Галлек (34,2 %), незначно поступався йому сорт Кобза (33,8 %), тоді як найнижчий показник відзначено у сорту Сигалія (32,0 %). Це підтверджує, що між масою насіння та його білковістю простежується тенденція до оберненої залежності: сорти з більшою масою насіння не завжди характеризуються підвищеним умістом білка (*табл. 2*).

Отримані результати вказують, що сорт Галлек поєднує у собі високі показники маси 1000 насінин та вмісту білка, що робить його перспективним для вирощування в умовах Лісостепу України. Сорт

ЕС Ментор вирізняється стабільністю продуктивних ознак, тоді як Сигалія, попри нижчу масу насіння та вміст білка, може бути цікавою для господарств завдяки відносно раннім строкам досягання та потенціалу для використання у спеціалізованих технологіях (наприклад, для кормових цілей чи в умовах скороченого вегетаційного періоду).

Таблиця 2

Маса 1000 насінин та вміст білка у сортів сої в умовах Уманського району Черкаської області

Сорт	Маса 1000 насінин, г ($\pm\sigma$)	CV% маси	Вміст білка, % ($\pm\sigma$)	CV% білка
Галлек	160 $\pm$ 3,0	1,9	34,2 $\pm$ 0,6	1,8
ЕС Ментор	156 $\pm$ 3,0	1,9	33,5 $\pm$ 0,6	1,8
ОАЦ Брук	152 $\pm$ 3,0	2,0	32,5 $\pm$ 0,6	1,8
Сигалія	146 $\pm$ 3,0	2,1	32,0 $\pm$ 0,6	1,9
Кобза	151 $\pm$ 3,0	2,0	33,8 $\pm$ 0,6	1,8
НР ($p<0,05$)	6,74	–	1,8	–

На графіку відображено співвідношення маси насіння та вмісту білка, що дає змогу візуально оцінити відмінності між сортами за цими показниками (*рис. 2*).

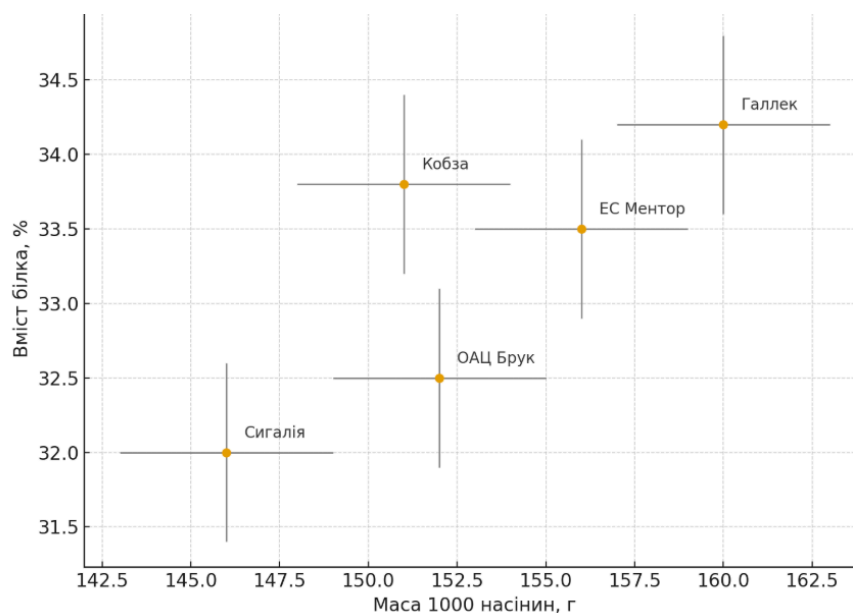


Рис. 2. Співвідношення маси 1000 насінин та вмісту білка у сортів сої в умовах Уманського району Черкаської області

Проведені дослідження показали, що фракційний склад насіння сої, маса 1000 насінин та вміст білка суттєво варіювали залежно від сортових особливостей. Найбільшу масу 1000 насінин мали сорти Галлек (160 г) та ЕС Ментор (156 г), тоді як у сорту Сигалія цей показник був найнижчим (146 г) і поєднувався з підвищеною часткою дрібної фракції (<4,0 мм – 17,5 %). Вміст білка у досліджуваних сортів коливався від 32,0 % (Сигалія) до 34,2 % (Галлек), що свідчить про відносно невелику амплітуду змін та загальну стабільність цього показника. Водночас простежувалася тенденція до оберненої залежності між масою насіння та його білковістю, підтверджена результатами

кореляційного аналізу. Отримані дані можуть бути використані для добору сортів, оптимальних для вирощування в умовах Центрального Лісостепу України, з урахуванням їхньої технологічної придатності та харчової цінності.

Висновки

На основі проведених досліджень встановлено, що сорти сої достовірно відрізнялися за фракційним складом насіння, масою 1000 насінин та вмістом білка. Найвищий відсоток крупної фракції (>5,0 мм) було зафіксовано у сортів Галлек (64,1 %) та ЕС Ментор (58,7 %), що свідчить про їх потенційну

придатність для отримання високоякісного посівного матеріалу. Сорти Кобза та ОАЦ Брук характеризувалися підвищеним вмістом середньої фракції (45,2 % і 48,5 % відповідно), що супроводжувалося зменшенням частки великого насіння.

Сорт Сигалія вирізнявся найменшою часткою крупної фракції (43,8 %) та найбільшою кількістю дрібного насіння (17,5 %), що може обмежувати його застосування у насіннєвому виробництві. Водночас він мав відносно високий вміст білка (32,0 %), що робить його перспективним для використання у харчовій промисловості та кормовиробництві.

Отримані результати підтверджують значну роль сортових особливостей у формуванні якісних і біохімічних характеристик насіння сої. Вони можуть бути використані для оптимізації добору сортів відповідно до виробничих завдань та напрямів використання культури в умовах Центрального Лісостепу України.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

- Biliavska, L. H., Biliavskiy, Y. V., Shapoval, O. S., & Panchenko, S. S. (2020). Current state and prospects of soybean seed breeding in the Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 4, 45–52. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.04.05>
- DSTU 4138-2002 *Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti*. Chynnyi vid 2004. (2004). Kyiv. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91465 [in Ukrainian]
- Kobak, S. Ya., Chorna, V. M., & Holovenko, Yu. O. (2024). The influence of retardants on the formation of soybean seed productivity. *Feeds and Feed Production*, 97, 40–50. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202497-04>
- Kokovikhina, O. S. (2022). The quality of soybean seeds and the mass of one thousand seeds depending on the variety composition, fertilization and plant protection under irrigation conditions in Southern Ukraine. *Interagency Thematic Scientific Collection «Irrigated Agriculture»*, 78, 57–62. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.78.9>
- Likhchvor, V., Protts, R., & Muhal, I. (2004). *Soia*. Lviv: Ukrainski tekhnolohii [in Ukrainian]
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Global Agro-Ecological Zones. *FAO*. Retrieved from: <http://www.fao.org/nr/gaez/en/>
- Ushkarenko, V. O., Vozhehova, R. A., Holoborodko, S. P., & Kokovikhin, S. V. (2014). *Metodyka polovoho doslidu (zroshuvane zemlerobstvo)*. Kherson: Hrin D. S. [in Ukrainian]
- Al-Tawaha, A. M., Seguin, P., Smith, D. L., & Bonnell, R. B. (2007). Irrigation level affects isoflavone concentrations of early maturing soya bean cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193 (4), 238–246. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2007.00263.x>
- Assefa, Y., Bajjalieh, N., Archontoulis, S., Casteel, S., Davidson, D., Kovács, P., Naeve, S., & Ciampitti, I. A. (2018). Spatial characterization of soybean yield and quality (Amino Acids, Oil, and Protein) for United States. *Scientific Reports*, 8 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32895-0>
- Bellaloui, N., Bruns, H. A., Gillen, Anne. M., Abbas, H. K., Zablutowicz, R. M., Mengistu, A., & Paris, R. L. (2010). Soybean seed protein, oil, fatty acids, and mineral composition as influenced by soybean-corn rotation. *Agricultural Sciences*, 1 (03), 102–109. <https://doi.org/10.4236/as.2010.13013>
- Bellaloui, N., Bruns, H. A., Abbas, H. K., Mengistu, A., Fisher, D. K., & Reddy, K. N. (2015). Effects of row-type, row-spacing, seeding rate, soil-type, and cultivar differences on soybean seed nutrition under US Mississippi delta conditions. *PLOS ONE*, 10 (6), e0129913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129913>
- Boydak, E., Alpaslan, M., Hayta, M., Gerçek, S., & Simsek, M. (2002). Seed composition of soybeans grown in the Harran Region of Turkey as affected by row spacing and irrigation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (16), 4718–4720. <https://doi.org/10.1021/jf0255331>
- Jiang, G.-L., Chen, P., Zhang, J., Florez-Palacios, L., Zeng, A., Wang, X., Bowen, R. A., Miller, A., & Berry, H. (2018). Genetic analysis of sugar composition and its relationship with protein, oil, and fiber in soybean. *Crop Science*, 58 (6), 2413–2421. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.03.0173>
- Masino, A., Rugeroni, P., Borrás, L., & Rotundo, J. L. (2018). Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield. *European Journal of Agronomy*, 98, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.02.006>
- Rotundo, J. L., & Westgate, M. E. (2010). Rate and duration of seed component accumulation in water-stressed soybean. *Crop Science*, 50 (2), 676–684. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.05.0240>
- Siamabele, B. (2021). The significance of soybean production in the face of changing climates in Africa. *Cogent Food & Agriculture*, 7 (1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1933745>
- Sincik, M., Candogan, B. N., Demirtas, C., Büyükcangaz, H., Yazgan, S., & Göksoy, A. T. (2008). Deficit irrigation of soya bean [*Glycine max* (L.) Merr.] in a sub-humid climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194 (3), 200–205. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2008.00307.x>
- Specht, J. E., Chase, K., Macrander, M., Graef, G. L., Chung, J., Markwell, J. P., Germann, M., Orf, J. H., & Lark, K. G. (2001). Soybean response to water: A QTL analysis of drought tolerance. *Crop Science*, 41 (2), 493–509. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412493x>
- Shanmugasundaram, S., & Yan, M. R. (2004). Global expansion of high value vegetable soybean. *World Soybean Research Conference, 7th*. (pp. 915–920). Londrina: Brazilian Agricultural Research Corporation, National Soybean Research Center.
- Velasquez, M. T., & Bhatena, S. J. (2007). Role of dietary soy protein in obesity. *International Journal of Medical Sciences*, 4, 72–82. <https://doi.org/10.7150/ijms.4.72>
- Zhang, Q. Y., Li, Y. S., & Liu, X. B. (2015). Edible quality and its regulation in vegetable soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). In *ASA, CSSA, SSSA International Annual Meetings Nov* (pp. 15–18). Retrieved from: file:///D:/download/2014%20ASA%20Qiyuying%20poster_42x42-1.pdf

ORCID

- | | | |
|-----------------|---|---|
| V. Kravchenko |  | https://orcid.org/0000-0003-4873-5367 |
| N. Poltoretska |  | https://orcid.org/0000-0001-9879-1872 |
| L. Kononenko |  | https://orcid.org/0000-0001-7037-2692 |
| L. Vyshnevskaya |  | https://orcid.org/0000-0001-9470-9050 |
| N. Klymovych |  | https://orcid.org/0000-0002-6373-8534 |



2025 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.