

УДК 633.174:631.5:620.9

© 2021

## **ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРГО ЗЕРНОВОГО ТА ВИХІД БІОПАЛИВА**

*Л.А. Правдива*

*кандидат сільськогосподарських наук  
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН  
вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03141, Україна  
e-mail: bioplant\_@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-5510-3934*

Надійшла 28.02.2021

**Мета.** Визначити вплив способів сівби насіння сортів сорго зернового на енергетичну продуктивність посівів в умовах Правобережного Лісостепу. **Методи.** Польовий — для вивчення біологічних, екологічних особливостей росту і розвитку продуктивності та якості культури (спостереження, одержання кореляцій, дотримання обліку зміни умов та обліку результатів); лабораторний — для виявлення взаємозв'язку між рослиною і середовищем (аналізи рослин і ґрунту); узагальнювальний — для встановлення загальних властивостей та ознак об'єктів; математико-статистичний — для опрацювання експериментальних даних з метою підвищення обґрунтованості висновків. **Результати.** На основі проведених досліджень встановлено, що найбільша врожайність зерна і біомаси спостерігалася за сівби насіння сорго зернового сортів Дніпровський 39 та Вінець із шириною міжрядь 45 см і густотою стояння рослин 200 тис. шт./га. Так, у сортів Дніпровський 39 урожайність зерна та біомаси становила відповідно 7,4 т/га і 44,6 т/га, Вінець — 5,1 т/га та 36,9 т/га. За інших способів сівби, а саме: ширини міжрядь 15 та 70 см і густоти стояння рослин 150 та 250 тис. шт./га урожайність була дещо нижчою. Вихід біоетанолу та твердого біопалива в цьому варіанті досліджування був найвищим і становив у сортів Дніпровський 39 — 2,44 та 10,30 т/га, Вінець — 1,68 та 8,52 т/га. Високий загальний вихід енергії з рідкого та твердого біопалива, отриманий з 1 га сорго зернового сортів Дніпровський 39 та Вінець, забезпечується за густоти стояння рослин 200 тис. шт./га та ширини міжрядь 45 см. **Висновки.** Уперше в умовах Правобережного Лісостепу встановлено енергетичну продуктивність сорго зернового залежно від способів сівби насіння. Досліджено, що найкраще розвивалися та формували енергетичну продуктивність рослини сорго зернового за сівби насіння із шириною міжрядь 45 см і густотою стояння рослин 200 тис. шт./га, які нами рекомендовано для вирощування в Правобережному Лісостепу. За цього способу сівби отримано високу продуктивність зерна й надземної маси досліджуваних сортів сорго зернового та найвищий вихід біопалива і загальний вихід енергії з нього.

**Ключові слова:** сорти, ширина міжрядь, густина стояння, урожайність, вихід енергії.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202105-03>

Останніми роками біомаса за значенням посідає 4-е місце серед палива і забезпечує близько 2 млрд т умовного палива (у.п.) на рік, або 14 % від загального споживання первинних енергоносіїв у світі (у країнах, що розвиваються, — понад 30 %, іноді до 50–80 %) [1, 2].

Згідно з енергетичною стратегією України до 2030 р. (затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 р. №145-р) очікується, що енергетичне використання всіх видів біомаси здатне щороку забезпечувати заміщення 9,2 млн т у.п. викопного палива, у тому числі за рахунок енергетичного використання залишків сільськогосподарських культур, зокрема соломи — 2,9 млн т у.п., дров та відходів деревини — 1,6, торфу — 0,6, твердих побутових відходів — 1,1, одержання та використання біогазу — 1,3, виробництва паливного етанолу та біодизеля — 1,8 млн т у.п. [3].

Світовий ринок біопалива розвивається швидкими темпами, що пов'язано з проблемами екології і підвищенням цін на традиційні види палива (нафту, газ). Тому значну увагу надають переробці біомаси рослинного походження на біопаливо.

Біомаса рослин є відновлюваним, екологічно чистим паливом за умови екологічно раціонального виробництва та використання [4].

Україна належить до енергодефіцитних країн, оскільки щороку споживає близько 200 млн т у.п., з якого лише 53 % власного виробництва. Її сучасний паливно-енергетичний комплекс базується на імпорті енергетичної сировини, ціна на яку постійно зростає. Тому для України актуальним є пошук альтернативних джерел енергії з постійним зменшенням частки викопних видів палива [5].

Однією з енергетичних і високопродуктивних культур у світі є сорго зернове — посухостійка й невибаглива до умов вирощування, крохмалемістка, з високим потенціалом біомаси злакова культура, яка адаптована для вирощування в Україні.

Сорго зернове — рослина типу  $C_4$ , має значну фотосинтетичну ефективність і може за короткий термін сформувати високу врожайність зерна та потужну біомасу, багату на енергію, що дає можливість використовувати його майже в усіх схемах від-

новлювальних джерел, які пропонуються для відновлювальних видів палива та екологічних технологій [6–8].

Дослідження з розроблення та вдосконалення елементів технології вирощування сорго зернового як енергетичної культури проводять науковці багатьох країн світу, зокрема й України [9–14].

Автори [15] зазначають, що в умовах Східного Лісостепу України найвищу врожайність гібридів сорго зернового отримали у варіанті з нормою висіву насіння 200 тис. шт./га і шириною міжрядь 45 см.

За даними досліджень [16], проведених у Лісостепу, рекомендовано висівати сорго зернове з шириною міжрядь 45 см і нормою висіву 300–400 тис. шт./га.

Автори [17] відзначають, що максимальна врожайність досліджуваних гібридів сорго зернового формувалася за ширини міжрядь 50 см.

Способи сівби насіння сорго зернового в зоні Правобережного Лісостепу досконало не вивчені, тому їх розроблення і вдосконалення є актуальним.

**Мета досліджень** — визначили вплив способів сівби насіння сортів сорго зернового на енергетичну продуктивність посівів в умовах Правобережного Лісостепу.

**Матеріали та методи досліджень.** Дослідження проводили впродовж 2016–2020 рр. в умовах Білоцерківської ДСС Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (Правобережний Лісостеп України).

У досліді вивчали сорти (фактор А): Дніпровський 39, Вінець; ширину міжрядь (фактор В): 15 см; 45; 70 см; густоту стояння рослин (фактор С): 150 тис. шт./га; 200; 250 тис. шт./га.

Площа посівної ділянки — 50 м<sup>2</sup>, облікової — 25 м<sup>2</sup>. Дослід закладали за методом систематичних повторень: у кожному повторенні варіанти дослідів розміщували по ділянках послідовно. Повторність дослідів — 4-разова.

Енергетичну продуктивність, зокрема вихід біоетанолу, твердого біопалива та енергії, визначали за методикою, розробленою в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. Вихід біоетанолу обчислювали з урахуванням урожайності зерна

сорго, яке при збиранні містить у середньому близько 86 % сухої речовини і 75 % крохмалю; вихід твердого палива — з урахуванням урожайності біомаси, її сухої речовини та вологості твердого біопалива — 10 % [18].

Ґрунт дослідної ділянки — чорнозем типовий малогумусний крупнопилувато-середньосуглинкового гранулометричного складу. У роки проведення досліджень метеорологічні умови в Правобережному Лісостепу були сприятливими для вирощування сорго зернового.

Досліджувані сорти — посухостійкі, слабо пошкоджуються злаковими попелицями, добре реагують на зрошення та високий агрофон.

Сорт Дніпровський 39 — оригінатор: Синельниківська селекційно-дослідна станція Державної установи Інститут зернових культур НААН. Ранньостиглий, занесений до Реєстру сортів рослин України з 2000 року, рекомендований для вирощування на зерно, потенційна врожайність — 6–7 т/га.

Сорт Вінець — оригінатор: Генічеська дослідна станція Державної установи Інститут зернових культур НААН, ранньостиглий, занесений до Реєстру сортів рослин України з 2004 року. Напрямок використання — на зерно, зернокармівий. Урожайність зерна — до 4–6 т/га на незрошуваних землях.

**Результати досліджень.** Одним із факторів, що регулює поглинання рослинами поживних речовин, використання вологи, світла та інтенсивність асиміляційного про-

цесу, формування врожаю, є кількість рослин на одиниці площі. Тому густина стояння рослин — важливий елемент технології вирощування сільськогосподарських культур. Максимальної врожайності зі збереженням високих якісних показників зерна і біомаси можна досягти за оптимального розміщення рослин по площі [19].

За різної густоти стояння сорго зернового в посівах створюються неоднакові умови живлення та освітлення рослин, що впливає на інтенсивність процесів фотосинтезу, продуктивність зерна та надземної маси. У загущених посівах спостерігається підвищення відносної і абсолютної вологості повітря й зменшення концентрації вуглекислого газу, що пов'язано з погіршенням повітряного обміну [20].

Отримані результати свідчать про те, що за досліджуваних способів сівби, а саме за певної ширини міжрядь і густоти стояння рослин, змінювалися врожайність зерна та надземної маси, вихід біоетанолу із зерна, вихід твердого палива з надземної маси і вихід енергії.

Найбільша врожайність зерна сорго в обох сортів спостерігалася за сівби насіння з шириною міжрядь 45 см і густрою стояння 200 тис. шт./га. У сортів Дніпровський 39 урожайність зерна була 7,4 т/га, Вінець — 5,1 т/га. За густоти стояння 150 та 250 тис. шт./га урожайність зерна в сортів Дніпровський 39 становила 6,9 та 7,4 т/га, Вінець — 4,2 та 4,5 т/га (рис. 1).



**Рис. 1.** Урожайність зерна сорго зернового сортів Дніпровський 39 та Вінець залежно від ширини міжрядь і густоти стояння рослин (середнє за 2016–2020 рр.); ширина міжрядь, см: □ — 15; ▒ — 45; ■ — 70 (для рис. 1, 2)

Зменшення ширини міжрядь до 15 см і її збільшення до 70 см зумовлювало зниження врожайності зерна сорго в середньому у сортів Дніпровський 39 на 1,5–3,3 т/га, Вінець — на 1,4–1,0 т/га. Відхилення від оптимальної густоти стояння рослин також призводило до зниження врожайності сорго зернового.

Максимальна врожайність надземної маси сорго зернового спостерігалася за ширини міжрядь 45 см і густоти стояння рослин 200 тис. шт./га (рис. 2). У сортів Дніпровський 39 і Вінець за густоти стояння рослин 150 тис. шт./га урожайність біомаси залежно від ширини міжрядь була в межах 34,2–40,1 т/га та 28,6–33,7 т/га відповідно. За густоти 200 тис. шт./га вона становила 36,7–44,6 т/га у сортів Дніпровський 39 і 31,5–36,9 т/га — Вінець. За густоти 250 тис. шт./га урожайність біомаси у сортів Дніпровський 39 була 38,4–43,1 т/га, Вінець — 30,2–35,4 т/га.

Відхилення від оптимальної ширини міжрядь (45 см) призводить до зниження врожайності біомаси.

Щодо виходу біопалива з одиниці площі, то найбільший вихід біоетанолу отримано за сівби насіння сорго зернового з шириною міжрядь 45 см і густотою стояння рослин 200 тис. шт./га. При цьому за вирощування сортів Дніпровський 39 можна отримати 2,44 т/га біоетанолу, Вінець — 1,68 т/га. За густоти стояння рослин 150 та 250 тис. шт./га вихід біоетанолу зменшувався

і становив 2,21 та 2,37 т/га для сортів Дніпровський 39 та 1,38 і 1,48 — Вінець (таблиця). Зменшувався вихід біоетанолу також за вирощування сорго зернового з шириною міжрядь 15 і 70 см.

Зі стебел і листя сорго зернового можна виготовляти тверде біопаливо (паливні гранули, брикети). Так, з 1 га сорго зернового сорту Дніпровський 39 за густоти 200 тис. шт./га та ширини міжрядь 45 см можна отримати 10,3 т/га твердого палива. Для сорту Вінець максимальний вихід твердого біопалива становив 8,52 т/га.

Зі зменшенням густоти стояння рослин сорго зернового до 150 тис. шт./га або збільшенням до 250 тис. шт./га зменшувалася кількість твердого біопалива, яке можна отримати з одиниці площі.

За вирощування сорго зернового з шириною міжрядь 15 та 70 см також зменшувався вихід твердого біопалива порівняно з оптимальною (45 см) шириною міжрядь. Так, за густоти стояння рослин 200 тис. шт./га вихід твердого біопалива із сировини зі зменшенням ширини міжрядь до 15 см зменшувався до 8,48 т/га у сортів Дніпровський 39 та до 7,28 т/га — Вінець. Зі збільшенням ширини міжрядь до 70 см вихід твердого біопалива також зменшувався із зазначених сортів до 9,49 та 7,48 т/га відповідно.

Загальний вихід енергії від спалювання твердого палива і біоетанолу, який отримали з одиниці площі посівів сорго зернового

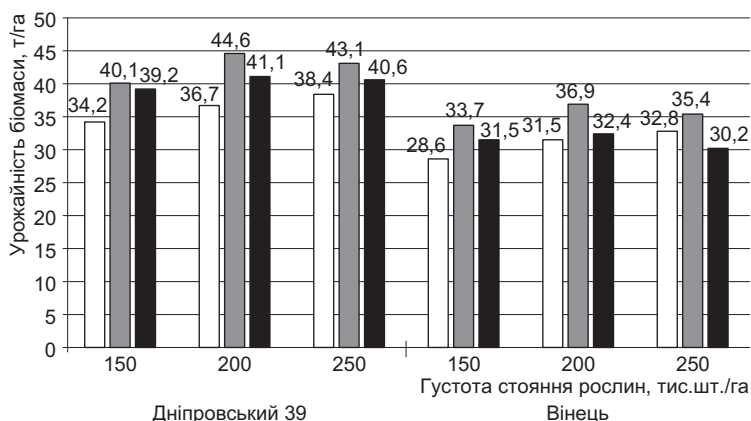


Рис. 2. Урожайність біомаси сорго зернового сортів Дніпровський 39 і Вінець залежно від ширини міжрядь та густоти стояння рослин (середнє за 2016–2020 рр.)

**Розрахунковий вихід біопалива та енергії з нього залежно від способу сівби насіння сорго зернового (середнє за 2016–2020 рр.)**

Сорт	Ширина міжрядь, см	Густота стояння рослин, тис. шт./га	Вихід				Загальний вихід енергії
			біоетанолу	твердого палива	енергії з біоетанолу	енергії з твердого палива	
			т/га		ГДж/га		
Дніпровський 39	15	150	2,04	7,90	51,1	128,8	179,9
		200	2,21	8,48	55,2	138,2	193,4
		250	2,27	8,87	56,9	144,6	201,5
	45	150	2,21	9,26	55,2	150,9	206,1
		200	2,44	10,30	60,9	167,9	228,8
		250	2,37	9,96	59,3	162,3	221,6
	70	150	1,88	9,06	46,9	147,6	194,5
		200	2,08	9,49	51,9	154,7	206,6
		250	2,01	9,38	50,3	152,9	203,2
Вінець	15	150	1,25	6,61	31,3	107,7	139,0
		200	1,38	7,28	34,6	118,6	153,2
		250	1,45	7,58	36,3	123,5	159,8
	45	150	1,38	7,78	34,6	126,9	161,5
		200	1,68	8,52	42,0	138,9	180,9
		250	1,48	8,18	37,1	133,3	170,4
	70	150	1,19	7,28	29,7	118,6	148,3
		200	1,38	7,48	35,0	122,0	157,0
		250	1,38	6,98	34,6	113,7	148,3

НІР<sub>05</sub> (для врожайності зерна): А (сорт) — 0,12; В (ширина міжрядь) — 0,12; С (густота стояння рослин) — 0,08; НІР<sub>05</sub> АВС (загальний) — 0,18.  
НІР<sub>05</sub> (для врожайності біомаси): А (сорт) — 0,97; В (ширина міжрядь) — 0,97; С (густота стояння рослин) — 0,65; НІР<sub>05</sub> АВС (загальний) — 1,46.

сорту Дніпровський 39 у всіх варіантах дослідів, дещо перевищував вихід енергії, отриманої із сорту Вінець.

Найбільший вихід енергії за вирощування сорту Дніпровський 39 становив 228,8 ГДж/га за ширини міжрядь 45 см і густоти стояння рослин 200 тис. шт./га. Понад 73 % цієї енергії зосереджено в твердому біопаливі (167,9 ГДж/га) і лише 27 % — у біоетанолі (60,9 ГДж/га). Із сорту Вінець найвищий вихід енергії отримано

у цьому самому варіанті дослідів — 180,9 ГДж/га. У твердому біопаливі її — 77 % (138,9 ГДж/га), біоетанолі — 23 % (42,0 ГДж/га).

У досліді спостерігається закономірність, що відхилення від оптимальної ширини міжрядь і густоти стояння рослин призводить до зниження врожайності сорго зернового і зменшення виходу біопалива та загальної енергії з нього, що пояснюється зміною площі живлення рослин.

### Висновки

Уперше в умовах Правобережного Лісо- степу встановлено енергетичну про-

дуктивність сорго зернового залежно від способів сівби насіння. Досліджено,

що найкраще розвивалися та формували енергетичну продуктивність рослини сорго зернового за сівби насіння з шириною міжрядь 45 см і густиною стояння рослин 200 тис. шт./га, які нами рекомендовано для вирощування в Право-

бережному Лісостепу. За цього способу сівби отримано високу продуктивність зерна й надземної маси досліджуваних сортів сорго зернового та найвищий вихід біопалива і загальний вихід енергії з нього.

#### Pravdyva L.

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS, 25, Klinichna Str., Kyiv, 03141, Ukraine; e-mail: bioplant\_@ukr.net; ORCID: 0000-0002-5510-3934*

#### **Influence of elements of growing technology on productivity of sorghum and biofuel output**

**Goal.** To determine the influence of methods of sowing seeds of sorghum varieties on energy productivity of crops in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe. **Methods.** Field — to study the biological, ecological features of growth and development of productivity and quality of culture (observation, obtaining correlations, compliance with changes in conditions and accounting for results); laboratory — to identify the relationship between plant and the environment (analysis of plants and soil); generalization — to establish the general properties and characteristics of objects; mathematical and statistical — to process experimental data to increase the validity of conclusions. **Results.** Based on the research, it was found that the highest grain and biomass yields were observed when sowing sorghum seeds of grain varieties Dniprovskiy 39 and Vinets with a row spacing of 45 cm and a plant density of 200 thousand pieces/ha. Thus, in the variety Dniprovskiy 39 the grain and biomass yields

were 7.4 t/ha and 44.6 t/ha, respectively, Vinets — 5.1 t/ha and 36.9 t/ha. With other methods of sowing, namely: row spacing of 15 and 70 cm and plant density of 150 and 250 thousand pieces/ha, the yield was slightly lower. The yield of bioethanol and solid biofuel in this version of the experiment was the highest and was in the variety Dniprovskiy 39 — 2.44 and 10.30 t/ha, in the variety Vinets — 1.68 and 8.52 t/ha. High total energy yield from liquid and solid biofuels, obtained from 1 ha of grain sorghum varieties Dniprovskiy 39 and Vinets, is provided at a plant density of 200 thousand pieces/ha and the row spacing of 45 cm. **Conclusions.** For the first time in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe, the energy productivity of grain sorghum depending on the methods of sowing seeds has been determined. The best developed and formed energy productivity of grain sorghum plants was fixed for sowing seeds with a row spacing of 45 cm and a plant density of 200 thousand pieces/ha, which could be recommended for cultivation in the Right-Bank Forest-Steppe. This method of sowing secured high grain productivity and aboveground mass of the studied varieties of grain sorghum, as well as the highest biofuel yield and total energy yield.

**Key words:** varieties, row spacing, standing density, yield, energy yield.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202105-03>

## Бібліографія

1. Бузовський Є.А. Нетрадиційні поновлювальні джерела енергії. Навчально-методичний посібник. Київ: ННІ ПО НАУ, 2007. С. 21.
2. Горпиниченко С.И., Ковтунов В.В. Перспективы производства биоэтанола из сорго. *Зерновое хозяйство России*. 2009. № 4. С. 27–33.
3. Гелетуа Г.Г., Железная Т.А. Анализ основных положений «энергетической стратегии Украины на период до 2030 года». *Промышленная теплотехника*. 2006. №5. С. 82–92.
4. Семенов В. Біодизельне паливо для України. *Вісник Національної академії наук України*. 2007. № 4. С. 18–22.
5. Роїк М.В., Курило В.Л., Гумендик М.Я., Ганженко О.М. Роль і місце фітоенергетики в паливно-енергетичному комплексі України. *Цукрові буряки*. 2011. №1. С. 6–7.
6. Anami S.E., Zhang L.M., Xia Y. et al. Sweet sorghum ideotypes: genetic improvement of the biofuel syndrome. *Food Energy Secur.* № 4. 2015. P. 159–177.
7. Dahlberg J. The Role of Sorghum in Renewables and Biofuels. *Sorghum. Methods in Molecular Biology*. 2019. V. 1931. P. 269–277. doi :10.1007/978-1-4939-9039-9\_19
8. Mullet J., Morishige D., McCormick R. et al. Energy Sorghum — a genetic model for the design of C<sub>4</sub> grass bioenergy crops, *Journal of Experimental Botany*. 2014 July. V. 65. Is. 13. P. 3479–3489. doi:10.1093/jxb/eru229
9. Kalenska S., Rakhmetov J., Kalenskiy V. et al. Prospects of sorghum (Sorghum Moench) bioenergetic potential in Ukraine. *In Rural Development 2013: Innovations and Sustainability: Proceedings*



of the sixth Int. Sci. Conf. Nov. 28–29, 2013. V. 6. P. 60–64.

10. Zand N., Shakiba M. R. Effect of plant density and nitrogen fertilizer on some attribute of grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Int. J. Adv. Biol. Biom. Res.* 2013. V. 1. Is. 12. P. 1577–1582.

11. Stamenkovi O.S., Siliveru K., Veljkovi V.B. et al. Production of biofuels from sorghum. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* May 2020. V. 124, doi: 10.1016/j.rser.2020.109769

12. Nanjundaswamy Ananda, Praveen V. Vadlani, P.V. Vara Prasad. Evaluation of drought and heat stressed grain sorghum (*Sorghum bicolor*) for ethanol production. *Industrial Crops and Products.* May 2011. V. 33, Is. 3. P. 779–782.

13. Zhang K., Zheng G., Saul K. et al. Evaluation of the multiseeded (msd) mutant of sorghum for ethanol production. *Industrial Crops Prod.* 2017. Is. 97. P. 345–353 p.

14. Boiko M.O. The impact of crop density and sowing time on the yield structure of grain sorghum hybrids. *Sciences of Europe: Global science center LP.* 2016. V. 4. № 5. P. 62–65.

15. Рожков А.О., Свиридова Л. А. Вплив норм висіву, способів сівби та погодних умов вегетації на врожайність зерна гібридів сорго зернового. *Селекція і насінництво.* 2017. Вип. 112. С. 193–204.

16. Овсієнко І.А. Формування зернової продуктивності сорго залежно від агротехнічних заходів. *Корми і кормовиробництво.* 2015. Вип. 1. С. 146–151.

17. Каленська С.М., Найденко В.М. Урожайність сорго зернового залежно від ширини міжрядь та системи удобрення. *Наукові праці Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН.* 2018. Вип. 26. С. 67–75.

18. Роїк М.В., Правдива Л.А., Ганженко О.М. та ін. Методичні рекомендації з вирощування сорго зернового як сировини для харчової промисловості та виробництва біопалива. Київ: Компринт, 2020. 21 с.

19. Шекун Г.М. Культура сорго в СССР и ее биологические особенности. Москва: Колос, 1964. 139 с.

20. Карпенко А.П. Оптимальная густота стояния растений. *Кукуруза и сорго.* 1986. № 3. С. 24–26.

УДК 633.16:631.559:632.11

© 2021

## **ПРОДУКТИВНІСТЬ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ПОГОДНИХ УМОВ І РІВНЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ**

*В.В. Камінська<sup>1</sup>, Н.Г. Буслаєва<sup>2</sup>*

*кандидати сільськогосподарських наук  
ННЦ «Інститут землеробства НААН»*

*вул. Машинобудівників, 26, смт Чабани Фастівського р-ну Київської обл., 08162, Україна*

*e-mail: <sup>1</sup>kamin.59@ukr.net, <sup>2</sup>nataliyabuslaeva@ukr.net*

*ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-0549-6581, <sup>2</sup>0000-0003-4956-7801*

Надійшла 11.04.2021

**Мета.** Провести оцінку погодних умов і встановити закономірності їхнього впливу на урожайність ячменю ярого за різних за енергонасиченістю технологій його вирощування в умовах північної частини Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Польовий — для закладання багаторічного досліді у 4-разовому повторенні, вимірювально-ваговий — для обліку врожаю культури, порівняльний — для підрахунку залежності врожаю культури від погодних чинників, статистичний і кореляційний. **Результати.** Проаналізовано тенденції зміни погодних умов за 1999–2018 рр. і встановлено закономірності їхнього впливу на урожайність ячменю ярого в умовах північної частини Правобережного Лісостепу. За результатами 20-річних експериментальних даних на основі кореляційно-регресійного аналізу створено математичні моделі, що відтворюють залежність урожайності ячменю ярого, який вирощували за технологій різної інтенсивності, від комплексу погодних умов вегетаційного періоду. Показано найбільшу залежність продуктивності культури від умов зволоження квітня місяця і температурного режиму травня. **Висновки.** У північній частині Правобережного Лісостепу відбувається істотне коливання погодних умов, а саме: зростання показників температурного режиму та зменшення кількості опадів впродовж вегетаційного періоду і їхня нестабільність за роками. Аналіз кореляційних зв'язків урожайності ячменю ярого з погодними умовами за різних технологій вирощування свідчить, що найбільше впливали на формування врожаю умови зволоження квітня і температурний режим травня.

**Ключові слова:** *врожайність, температура повітря, кількість опадів, статистичний аналіз, кореляційно-регресійний аналіз.*

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202105-04>

Сучасний клімат України формується під впливом глобальних погодних процесів і нині характеризується тенденцією до потепління, що супроводжується відповідною зміною температурного режиму, умов зволоження та збільшенням частоти погодних аномалій.

Підвищення температури повітря зумовило зміни в розвитку природних процесів — настання часу формування й руйнування снігового покриву, періоду фізичної стиглості ґрунту, переходу середньодобових температур через 0, 5 та 10°C, тобто призвело до зміни тривалості вегетаційних



періодів сільськогосподарських культур. Стийке зростання середньодобової температури повітря насамперед відбувається в холодний період року [1].

Нині переважають м'які, теплі та мало-сніжні зими. Внаслідок зміни температурних показників холодного періоду весняні процеси дедалі частіше розпочинаються на 2–3 тижні раніше. Характерним для останніх років є також підвищений температурний режим упродовж весняних і літніх місяців, за якого розвиток зернових культур починається раніше у середньому на 7–10 днів. Улітку збільшилася повторюваність і тривалість періодів з високими та надто високими температурами повітря (вище 25–30 і 35°C). Водночас зберігається ймовірність прояву холодних періодів в окремі проміжки вегетації культур [1, 2].

Характерною особливістю погодних умов останніх років також є зростаюча нерівномірність розподілу опадів за порами року, тенденція до збільшення їх екстремального характеру (сильні зливи в межах однієї або кількох місячних норм за короткий проміжок часу та їхня відсутність протягом тривалого періоду). Практично по всій території України спостерігається зменшення кількості опадів у зимові місяці, збільшення у червні, вересні і жовтні. Особливо негативним є зменшення кількості опадів у липні–серпні. Зростає частота такого негативного кліматичного явища як посухи, які спостерігаються навіть у районах достатнього зволоження [3].

Саме ці явища потребують постійного уточнення оптимуму показників кількості вологи і тепла для формування врожаю зернових культур, зокрема ячменю ярого, у зв'язку зі зміною метеорологічних умов і залежністю їхнього кількісного рівня під впливом останніх [4, 5].

Вплив метеорологічних чинників, а також різних технологічних процесів може бути врахований за допомогою математичного аналізу і методів математичного моделювання. Математичне моделювання процесів, біологічних або інших систем, впливу різних чинників на продуктивність культур дає змогу аналізувати значну кількість завдань, дослідити велику кількість варіацій їх дії і визначити найоптимальніші [6–10].

**Мета досліджень** — провести оцінку погодно-кліматичних умов за період 1999–2018 рр., розробити комплексну модель максимальної реалізації потенціалу продуктивності ячменю ярого за наявних агрометеорологічних ризиків і встановити закономірності їхнього впливу на урожайність ячменю ярого за різних за енергонасиченістю технологій його вирощування в умовах Північного Лісостепу.

Цю мету реалізовано способом створення математичних моделей на основі кореляційно-регресійного аналізу залежності урожайності ячменю ярого від метеорологічних умов за різних проєктів технологій вирощування.

**Матеріали і методи досліджень.** Залежність урожайності ячменю ярого за різних технологій його вирощування в Північному Лісостепу від впливу метеорологічних чинників визначали за допомогою кореляційно-регресійного аналізу [11]. Вивчали вплив середньомісячних показників температури повітря та кількості опадів за вегетаційний період культури.

Аналіз погодних умов і рівень їхньої мінливості за період 1999–2018 рр. проводився на основі критеріїв коефіцієнта суттєвості (істотності) відхилень ( $K_c$ ) елементів агрометеорологічного режиму кожного з досліджуваних років від середніх багаторічних згідно з формулою:

$$K_c = \frac{(X_i - \bar{X})}{S},$$

де  $K_c$  — коефіцієнт суттєвості відхилень;  $X_i$  — елемент поточної погоди;  $\bar{X}$  — показник середньої багаторічної величини;  $S$  — середнє квадратичне відхилення;  $i$  — порядковий номер року.

Рівень коефіцієнта суттєвості (істотності) відхилень відповідає градації:  $K_c = 0 \div 1$  — умови, близькі до звичайних;  $K_c = 1 \div 2$  — умови істотно відрізняються від середніх багаторічних;  $K_c > 2$  — умови, наближені до екстремальних.

Показники врожайності ячменю ярого отримано під час його вирощування за варіантів спрощеної, ресурсозберігальної, інтенсивної та інтенсивної енергонасиченої технології за період 1999–2018 рр. у довготривалому стаціонарному досліді відділу технологій вирощування зернових

колосових культур ННЦ «Інститут землеробства НААН». Варіант спрощеної технології передбачав вирощування ячменю ярого без застосування мінеральних добрив. За ресурсозберігальної технології доза мінеральних добрив становила  $P_{30}K_{30}N_{30}$ , за інтенсивної —  $P_{60}K_{60}N_{30} + N_{30IV}$ . При вирощуванні культури за інтенсивної енергонасиченої технології доза добрив становила  $P_{90}K_{90}N_{45} + N_{45IV}$ . Усі варіанти технологій мали інтегровану систему захисту: протруювання насіння, внесення гербіцидів і фунгіцидів.

Дослідження проводили на базі стаціонарного досліді, закладеного на темно-сірому опідзоленому крупнопилуватому легкосуглинковому ґрунті. Ґрунт характеризувався низьким вмістом гумусу, дуже низьким рівнем забезпеченості лужногідролізованим азотом, високим вмістом рухомих форм фосфору, середнім — обмінного калію.

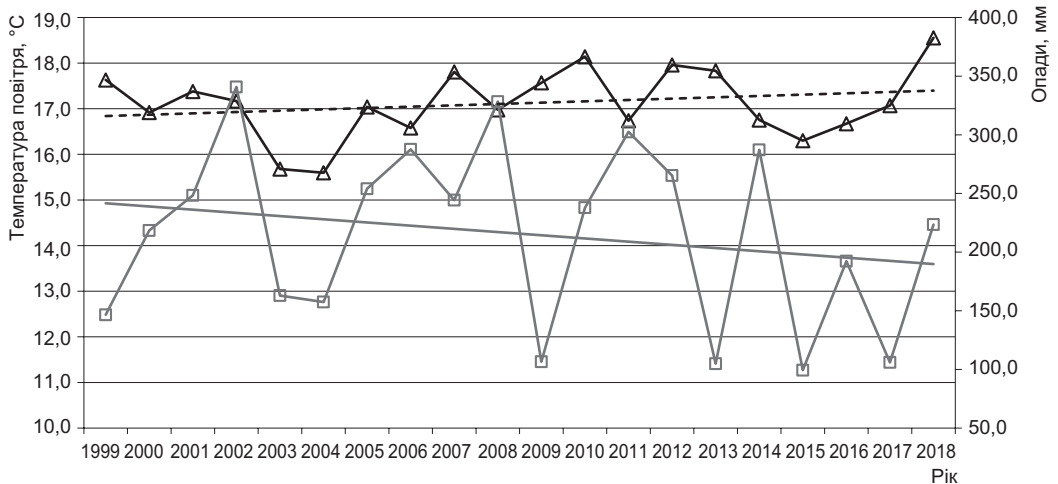
**Результати досліджень.** Аналіз показників середньомісячної температури повітря і суми опадів, які є основними складовими теплового та водного балансів і головними кліматоформульними чинниками, за період квітень–липень 1999–2018 рр. свідчить, що їхній рівень і часовий розподіл у більшості років змінювалися за відповідними тенденціями і закономірностями та мали певні відхилення порівняно з багаторічними.

За роки багаторічних досліджень (1999–2018) у північній частині Правобережного Лісостепу (Київщина) спостерігається значне коливання та ріст показників температурного режиму впродовж вегетаційного періоду. Встановлено, що середня температура повітря за вегетацію ячменю ярого коливалася за роками досліджень від +15,6 у 2004 р. до +18,6°C — у 2018-му. При цьому у більшості років середні багаторічні значення температури повітря були перевищеними (рисунок).

Максимальні відхилення від середніх багаторічних у бік зниження виявлено впродовж вегетаційних періодів 2003, 2004 і 2015 рр.

Вищою від середньої багаторічної температурою повітря за вегетацію характеризувалися 1999, 2001, 2002, 2007–2013, 2018 рр., з максимальними показниками +18,1°C у 2010 і +18,6°C — 2018 рр. Близькими за величиною показника, що характеризується, були 2000 і 2005, 2008 рр. Розрахована лінія тренду температури повітря за вегетацію рослин мала тенденцію до зростання.

Характеризуючи умови зволоження, які визначаються кількістю опадів і рівномірністю їхнього випадання, слід зазначити, що закономірність їхнього розподілення за 20 років у більшості випадків відповідала тенденціям зміни температурного режиму



Річні коливання температури повітря та кількості опадів за вегетацію ячменю ярого (квітень–липень, 1999–2018 рр.):  $\triangle$  — температура повітря;  $\square$  — опади; --- — тренд температури повітря; — — тренд опадів

(див. рисунок). Зокрема, у 2002, 2005–2012, 2014 і 2018 рр. кількість опадів порівняно з багаторічною нормою була надмірною. При цьому найбільша їхня кількість, яка формувала умови, що істотно відрізняються від багаторічних, випала у червні 2002 р. (167,3 проти 66 мм). Близьким до екстремальних був і 2008 р. коли кількість опадів у квітні місяці становила 125,5 проти 35,8 мм.

У протипагу зазначеному вище у вегетаційні періоди 1999, 2000, 2003, 2004, 2009, 2013, 2015 і 2017 рр. спостерігалася нестача опадів, що зумовлювало несприятливі умови для росту і розвитку рослин ячменю ярого.

Мінімальний рівень місячної суми опадів був у квітні 2009 р. — 0,8 мм, червні 2004 р. — 3,5 мм, квітні 2015 р. — 5,6 мм і липні 2013 р. — 10,0 мм за середніх багаторічних показників у ці місяці відповідно 35,8, 66,0, 35,8 і 57,2 мм. За кількістю опадів за вегетаційний період ячменю ярого 2001 і 2016 рр. виявилися близькими до середніх багаторічних.

Отже, показники суми опадів упродовж вегетаційного періоду у різні роки свідчать про зменшення їхньої кількості та нестачу

більшості надходження вологи в ґрунт. За лінією тренду, яка проходить крізь усі роки досліджень, можна спрогнозувати подальше зменшення річної кількості опадів.

Детальніший статистичний аналіз показників температури повітря та суми опадів за величиною коефіцієнта суттєвості відхилень свідчить, що практично у кожному з досліджуваних років упродовж вегетаційного періоду були місяці, коли вони істотно відрізнялися від середніх величин.

Зокрема, найістотніші коливання середньомісячної температури повітря були у квітні впродовж усіх років досліджень (табл. 1). Винятком виявилися умови температурного режиму квітня 2000, 2016 і 2018 рр., коли вони були близькими до середніх багаторічних.

У 2003 р. квітень характеризувався умовами, які були наближені до екстремальних ( $K_c = 2$ ), коли середньомісячна температура повітря становила лише  $+5,9^\circ\text{C}$ . У травні і червні істотних відхилень температурного режиму, коли коефіцієнт суттєвості відхилень дорівнював 1 або перевищував її, не виявлено. І лише температурний режим червня 1999 р. мав істотне відхилення від середньобагаторічного показника.

**1. Кратність прояву несприятливих погодних умов протягом вегетаційного періоду за величиною середньомісячної температури повітря і кількості опадів за 1999–2018 рр.**

Характеристика показників	Місяць			
	квітень	травень	червень	липень
<i>Температура повітря</i>				
Істотно відрізняються від середньобагаторічних значень	16	–	1	12
%	80,0	–	5,0	60,0
Наближені до екстремальних	1	–	–	–
%	5,0	–	–	–
Разом	17	–	1	12
%	85,0	–	5,0	60,0
<i>Опади</i>				
Істотно відрізняються від середньобагаторічних значень	5	–	3	3
%	25,0	–	15,0	15,0
Наближені до екстремальних	12	16	16	17
%	60,0	80,0	80,0	85,0
Разом	17	16	19	20
%	85,0	80,0	95,0	100,0

З усіх досліджуваних років лише у 2000, 2003, 2004, 2013–2016 і 2018 рр. умови температурного режиму липня мали істотні відхилення від багаторічних, а у решти були близькими до них.

У значної кількості років (2001, 2002, 2005–2012 і 2017) умови температурного режиму, які істотно відрізнялися від багаторічних, були впродовж двох місяців вегетаційного періоду (квітень і липень), а в 1999 р. це явище спостерігалось у квітні, червні і липні.

Розрахунки показників коефіцієнта суттєвості відхилень кількості опадів за окремі місяці вегетаційного періоду впродовж 1999–2018 рр. свідчать, що умови вологозабезпеченості у квітні були близькими до багаторічних лише у 1999, 2003 і 2013 рр. Істотно відрізнялися 5 років ( $K_C = 1$ ) (2004, 2006, 2007, 2011, 2017). У решті років умови вологозабезпечення, які склалися у квітні, були наближені до екстремальних ( $K_C = 2$ ).

Істотне відхилення місячної кількості опадів від середньої багаторічної величини за коефіцієнта суттєвості відхилень 1 спостерігалось у червні 1999, 2015 і 2017 рр. і в липні 2001, 2002 і 2013 рр., тоді як у травні впродовж усіх досліджуваних років цієї закономірності не виявлено. Водночас умови зволоження, що були наближеними до екстремальних, спостерігалися у травні і червні 16 років досліджень, а в липні — 17 років (див. табл. 1).

Близькими до багаторічних умови зволоження травня виявилися лише у 2003, 2009, 2017 і 2018 рр., червня — у 2016 р., а в липні вони взагалі не спостерігалися.

Статистичний аналіз метеорологічних показників за роками досліджень свідчить,

що найбільше стандартне відхилення (S) температури повітря спостерігалось у 1999 і 2003 рр., коли його показник становив  $S = 6,7$  з коефіцієнтом варіації  $V = 37,9$  і  $V = 42,5\%$  відповідно. Найменше стандартне відхилення ( $S = 3,2$  і  $S = 3,3$ ) було у 2000 і 2016 рр.

Аналіз метеорологічних даних за окремими місяцями свідчить, що найвищу мінливість температурні показники мали у квітні ( $V = 15,9\%$ ) та травні ( $V = 11,6\%$ ). В інші місяці їхнє варіювання було середнім ( $V = 7,9–8,4\%$ ) (табл. 2).

Статистичний аналіз показників суми опадів за вегетаційний період ячменю ярого у 1999–2018 рр. свідчить, що значне відхилення їхньої кількості від середніх багаторічних значень виявлено у 1999 р. ( $S = 18,4$ ) за середнього значення  $36,7 \pm 9,2$  мм, коефіцієнта варіації —  $50,3\%$ , у 2000 р. —  $X = 54,6 \pm 5,8$  за  $S = 11,5$ ,  $V = 21,1\%$ , у 2005 р. —  $X = 63,5 \pm 10,0$  за  $S = 19,9$ ,  $V = 31,4\%$ , у 2008 р. —  $X = 82,1 \pm 18,8$  за  $S = 37,7$ ,  $V = 45,9\%$  та у 2010 р. —  $X = 59,5 \pm 12,3$  за  $S = 24,6$ ,  $V = 41,3\%$ .

Щодо аналізу кількості опадів в окремі місяці вегетаційного періоду ячменю ярого слід зазначити, що в середньому за 1999–2018 рр. їх відхилення від середніх багаторічних значень було нормальним і субнормальним за винятком квітня 2008 р., травня 2014, червня 2002 та липня 2011 р. У ці періоди відхилення кількості опадів від середнього багаторічного значення більше ніж удвічі перевищило показник стандартного відхилення (S). Значне варіювання показників кількості опадів за роками підтверджується коефіцієнтами варіації, які коливалися в межах від  $54,1$  у липні до  $83,8\%$  — у квітні (табл. 3).

## 2. Статистичні характеристики середньомісячної температури повітря (середнє за 1999–2018 рр.)

Місяць	Статистичні показники				
	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Min, °C	Max, °C	Коефіцієнт варіації (V), %	Стандартне відхилення (S)
Квітень	$10,5 \pm 0,4$	5,9	13,3	15,9	1,7
Травень	$16,2 \pm 0,4$	12,5	19,5	11,6	1,9
Червень	$19,7 \pm 0,4$	17,4	23,6	8,4	1,7
Липень	$22,1 \pm 0,4$	19,0	26,1	7,9	1,7

**3. Статистичні характеристики місячної кількості опадів (середнє за 1999–2018 рр.)**

Місяць	Статистичні показники				
	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Min, °C	Max, °C	Коефіцієнт варіації (V), %	Стандартне відхилення (S)
Квітень	34,3±6,4	0,8	125,5	83,8	28,8
Травень	54,4±8,6	14,4	167,0	70,9	38,6
Червень	68,1±10,4	3,5	167,3	68,1	46,4
Липень	58,9±7,1	10,0	124,2	54,1	31,9

Дія та взаємодія різноманітних чинників, які є основою технологічного циклу вирощування, а також вплив погодних умов можуть бути враховані тільки за допомогою математичного аналізу і методів математичного моделювання.

Завдяки проведеному математичному аналізу залежності урожайності ячменю ярого від рівня тепло- і вологозабезпечення за різних проєктів технології вирощування

виявлено рівень щільності зв'язку між цими показниками. За результатами кореляційного аналізу встановлено, що найбільший вплив на формування продуктивності ячменю ярого за всіх технологій вирощування мала температура повітря травня, де коефіцієнт детермінації (D) становив 18,5–39,3%. При цьому найвищим цей коефіцієнт (D=37,3 і 39,3%) був за інтенсивних та інтенсивних енергонасичених технологій вирощування.

**4. Кореляційний зв'язок урожайності ячменю ярого з погодними умовами за різних технологій вирощування (1999–2018 рр.)**

Місяць	Температура		Опади	
	коефіцієнт кореляції, r	коефіцієнт детермінації, D, %	коефіцієнт кореляції, r	коефіцієнт детермінації, D, %
<i>Спрощена технологія вирощування</i>				
Квітень	-0,149	2,2	0,307	9,4
Травень	-0,430	18,5	-0,153	2,3
Червень	-0,351	12,3	-0,060	0,4
Липень	-0,054	0,3	-0,012	0,01
<i>Ресурсозберігальна технологія вирощування</i>				
Квітень	-0,058	0,3	0,270	7,3
Травень	-0,524	27,4	-0,014	0,02
Червень	-0,339	11,5	-0,089	0,80
Липень	-0,097	0,9	0,004	0,002
<i>Інтенсивна технологія вирощування</i>				
Квітень	-0,163	2,6	0,298	8,8
Травень	-0,611	37,3	-0,060	0,4
Червень	-0,268	7,2	-0,195	3,8
Липень	-0,073	0,5	0,027	0,1
<i>Інтенсивна енергонасичена технологія вирощування</i>				
Квітень	-0,033	0,1	0,267	7,1
Травень	-0,627	39,3	-0,080	0,6
Червень	-0,350	12,3	-0,293	8,6
Липень	-0,115	1,3	0,062	0,4

**5. Математичні моделі залежності урожайності ячменю ярого від комплексу погодних умов травня 1999–2018 рр.**

Технологія	Рівняння регресії	Множинний коефіцієнт кореляції, R	Коефіцієнт детермінації, D, %
Спрощена	$Y = 0,3701 + 0,4073X_1 - 0,0194X_1^2 - 0,0279X_2 + 0,3710\sqrt{X_2}$	0,498	24,8
Ресурсозберігальна	$Y = 1,6023 + 0,3345X_1 - 0,0192X_1^2 - 0,0423X_2 + 0,6646\sqrt{X_2}$	0,584	34,1
Інтенсивна	$Y = -5,9050 + 1,2446X_1 - 0,0469X_1^2 - 0,0628X_2 + 0,9673\sqrt{X_2}$	0,773	59,8
Інтенсивна енергонасичена	$Y = -2,4329 + 0,8776X_1 - 0,0369X_1^2 - 0,0690X_2 + 1,0615\sqrt{X_2}$	0,771	59,4

Примітка. Y — урожайність, т/га; X<sub>1</sub> — температура повітря середня за місяць, °C; X<sub>2</sub> — кількість опадів за місяць, мм.

Розрахунки свідчать, що урожайність зерна за цих технологій мала прямий середній зв'язок із температурою повітря травня. В інші місяці вегетаційного періоду вплив цього елемента погоди не перевищував 15% (D=0,1–12,3%). За інших технологій вирощування залежність урожайності від температури повітря була слабкою (табл. 4).

Розрахунки кореляційно-регресійного аналізу свідчать, що зв'язок залежності рівня урожайності від кількості опадів, які випали в травні, був незначним. Аналіз показників залежності свідчить про те, що рівень врожайності більшою мірою залежав від кількості опадів і режиму зволоження квітня (D=7,1–9,4%).

У процесі аналізу також встановлено, що залежність урожайності ячменю ярого від умов вологозабезпеченості початкового періоду вегетації була слабкою (R=0,267–0,307), а умови кінця вегетації взагалі не впливали на її величину.

Аналіз кореляційного зв'язку дав змогу визначити критичний період розвитку

рослин ячменю ярого та за допомогою регресійного аналізу побудувати математичні моделі (табл. 5). Створені моделі відтворюють залежність урожайності ячменю ярого від комплексу погодних умов травня та є достовірними на 95%-му рівні ймовірності за критеріями Фішера та Стьюдента.

Коефіцієнти множинної кореляції свідчать про щільний зв'язок рівня урожайності з комплексом погодних умов травня (R=0,771–0,773) за інтенсивної та інтенсивної енергонасиченої технологій вирощування та середній (R = 0,468–0,584) за спрощеної та ресурсозберігальної. Моделі підтверджують існування залежності урожайності ячменю ярого за різних технологій вирощування від погодних умов травня місяця, яка оцінюється величиною коефіцієнта детермінації, що є критерієм оцінки впливу погодних умов, на рівні 24,8 і 34,1% за спрощеної і ресурсозберігальної технологій та 59,8 і 59,4% — за інтенсивної та інтенсивної енергонасиченої технологій вирощування.

**Висновки**

У північній частині правобережного Лісостепу спостерігається істотне коливання показників погодних умов, а саме: зростання величин температурного режиму та зменшення кількості опадів упродовж вегетаційного періоду ячменю ярого і їх нестабільність за роками.

Вплив показників погодних умов, а також чинників інтенсифікації, які є основою технологічного циклу вирощування, на урожайність ячменю ярого можуть бути враховані тільки за допомогою математичного аналізу і методів математичного моделювання. Аналіз кореляцій-



них зв'язків урожайності ячменю ярого з погодними умовами за різних технологій вирощування свідчить, що найбільше

впливали на формування врожаю температурний режим травня і режим зволоження квітня.

Kaminska V.<sup>1</sup>, Buslayeva N.<sup>2</sup>

NSC «Institute of Agriculture of NAAS», 2b, Machynobudivnykiv Str., vil. Chabany, Fastiv region, Kiev oblast, 08162, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>kamin.59@ukr.net., <sup>2</sup>nataliyabuslaeva@ukr.net; ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-0549-6581, <sup>2</sup>0000-0003-4956-7801

### Productivity of spring barley depending on the weather conditions and the level of intensification of growing technology

**Goal.** To assess weather conditions and establish the patterns of their impact on the yield of spring barley for different energy saturation technologies for its cultivation in the Northern part of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** Field — to carry out long-term experiment in 4 repetitions; measuring and weighing — to account for crop yields; comparative — to calculate the dependence of crop yields on weather factors; statistical and correlation. **Results.** The tendencies of change of weather conditions for 1999–2018 were analyzed and the regularities of their influence on the yield of spring barley in the conditions of the Northern part

of the Right-Bank Forest-Steppe were established. According to the results of 20-year experimental data based on correlation regression analysis, mathematical models were created that reproduce the dependence of spring barley yield, which was grown by technologies of different intensity, on the complex weather conditions of the growing season. The greatest dependence of crop productivity on the conditions of April moistening and the temperature regime of May is shown. **Conclusions.** In the Northern part of the Right-Bank Forest-Steppe there is a significant fluctuation of weather conditions, namely: an increase in temperature and a decrease in rainfall during the growing season and their instability over the years. Analysis of correlations between spring barley yield and weather conditions under different cultivation technologies shows that the conditions of April moisture and temperature in May had the greatest influence on crop formation.

**Key words:** yield, air temperature, rainfall, statistical analysis, correlation regression analysis.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202105-04>

## Бібліографія

1. Дмитренко В.П. Погода, клімат і урожай польових культур. Київ: Ніка-Центр, 2010. 620 с.
2. Нечипоренко О.М. Управління ризиками глобальних змін клімату в агропромисловому комплексі України. *Економіка АПК*. 2020. № 4. С. 6–8. doi:10.32317/2221-1055.202004006
3. Савчук Д. Посуха в Україні 2007 року, її наслідки та виклики. *Пропозиція*. 2009. № 6. С. 14–19.
4. Польовий А.М., Барсукова О.А. Вплив змін клімату на темпи розвитку ярого ячменю в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2015. № 16. С. 113–119.
5. Yawson D.O., Adu M.O., Armah F.A. Impacts of climate change and mitigation policies on malt barley supplies and associated virtual water flows in the UK. *Scientific Reports*. 2020. V. 10. 376 p. doi:10.1038/s41598-019-57256-3
6. Вергунова І.М. Основи математичного моделювання. Київ: Нора-принт, 2000. 146 с.
7. Лаврик В.І. Методи математичного моделювання в екології. Київ: Фітосоціоцентр, 1998. 131 с.
8. Daničić M., Zekić V., Miroslavić M. et al. The response of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) to climate change in Northern Serbia. *Atmosphere*. 2019. V. 10(1). 14 p. doi:10.3390/atmos10010014
9. Огірко О.І., Галайко Н.В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб. Львів: ЛьвДУВС, 2017. 292 с.
10. Бишовець Н.Г., Кузьмичов А.І., Куценко Г.В. та ін. Ймовірнісне та статистичне моделювання в Excel для прийняття рішень: навч. посіб. Київ: Видавництво Ліра-К, 2019. 200 с.
11. Дослехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.