



А. Л. Андрієнко

кандидат сільськогосподарських наук, с.н.с.,
завідувач лабораторії землеробства,
Інститут сільського господарства Степу
Національної академії аграрних наук
(с. Созонівка, Кропивницький район, Кіровоградська область, Україна)
E-mail: cornagroteh@ukr.net
orcid.org/0000-0002-2318-9454



О. О. Андрієнко

кандидат сільськогосподарських наук, с.н.с., доцент,
Центральноукраїнський національний технічний університет
(м. Кропивницький, Кіровоградська область, Україна)
E-mail: andrienko2277@gmail.com
orcid.org/0000-0003-1982-1151

ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ТА ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ПІД ВПЛИВОМ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ

Стаття присвячена розробці основних параметрів біоадаптивної технології вирощування кукурудзи (*Zea mays L.*), які регулюють урожайність та якість зерна в умовах Степу України. Використовували основний метод досліджень – польовий, а як додаткові – лабораторний і математичної статистики (дисперсійний і кореляційний аналізи). Дослідження проводили в умовах Степу України впродовж 2010–2017 рр. Встановлено, що попередники та система основного обробітку ґрунту істотно впливали на врожайність і біохімічний склад зерна. Найвищу продуктивність забезпечувала полицева оранка незалежно від попередника. Серед попередників найбільш ефективною була соя: за оранки урожайність становила 7,15 т/га, тоді як після соняшнику – 6,29 т/га. Мінімальний обробіток знижував урожайність на 0,31–0,46 т/га, а пряма сівба – до 4,17–5,61 т/га залежно від попередника. Вміст крохмалю зростав за мінімізації обробітку і досягав 72,3%, тоді як за оранки він був дещо нижчим (70,6–71,7%). Найвищий вміст білка (10,0%) отримано після сої за оранки. Мінімізація та нульовий обробіток знижували його на 0,3–0,9%. Вміст жиру був стабільним (7,1–7,3%). Виявлено зворотний кореляційний зв'язок між урожайністю та крохмалем ($r = -0,65$), а також між крохмалем і білком ($r = -0,82$); прямий – між урожайністю та білком ($r = 0,86$). Строки сівби суттєво впливали на продуктивність: найвищі показники забезпечувала сівба 15 квітня (8,21–8,71 т/га), тоді як перенесення до 15 травня знижувало урожайність на 0,52–1,08 т/га. Вміст крохмалю змінювався неістотно ($\pm 0,3$ –0,5%) і був дещо вищим за пізнішої сівби, тоді як вміст білку зменшувався. Густота стояння рослин визначалась біологічними особливостями гібридів. Оптимальною для більшості форм вона була 60 тис. рослин/га, що забезпечувало максимальну врожайність (до 8,47 т/га). Загущення до 75 тис./га підвищувало вміст крохмалю на 0,2–0,6%, але знижувало вміст білка. Отже, формування врожайності та якості зерна кукурудзи зумовлюється комплексною взаємодією генотипу й агротехнічних чинників, серед яких визначальними є попередник, система обробітку ґрунту, строки сівби та густота посіву.

Ключові слова: обробіток ґрунту, попередники, біохімічний склад зерна, строки сівби, густота стояння.

A. L. Andriienko

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher,
Head of the Laboratory of Agriculture,
Institute of Steppe Agriculture, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Sozonivka village,
Kropyvnytskyi district, Kirovohrad region, Ukraine)
E-mail: cornagroteh@ukr.net
orcid.org/0000-0002-2318-9454

O. O. Andriienko

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Associate Professor,
Central Ukrainian National Technical University (Kropyvnytskyi, Kirovohrad region, Ukraine)
E-mail: andrienko2277@gmail.com
orcid.org/0000-0003-1982-1151

FORMATION OF YIELD AND QUALITY INDICATORS OF CORN GRAIN UNDER THE INFLUENCE OF AGROTECHNOLOGICAL MEASURES

The article is devoted to the development of the main parameters of bioadaptive corn (*Zea mays* L.) cultivation technology that regulate grain yield and quality in the conditions of the Ukrainian Steppe. The main research method used was field research, with additional laboratory and mathematical statistics (dispersion and correlation analyses). The research was conducted in the steppe region of Ukraine during 2010–2017. It was found that predecessors and the system of basic soil cultivation significantly affected the yield and biochemical composition of grain. Plow plowing provided the highest productivity regardless of the predecessor. Among the predecessors, soybeans were the most favorable: after plowing, the yield was 7.15 t/ha, while after sunflowers, it was 6.29 t/ha. Minimum tillage reduced yield by 0.31–0.46 t/ha, and direct seeding reduced it by 4.17–5.61 t/ha, depending on the previous crop. The starch content increased with minimum tillage and reached 72.3%, while with plowing it was slightly lower (70.6–71.7%). The highest protein content (10.0%) was formed after soybeans with plowing. Minimization and zero tillage reduced it by 0.3–0.9%. The fat content was stable (7.1–7.3%). An inverse correlation was found between yield and starch ($r = -0.65$), as well as between starch and protein ($r = -0.82$); a direct correlation was found between yield and protein ($r = 0.86$). Sowing dates had a significant effect on productivity: the highest yields were obtained when sowing on April 15 (8.21–8.71 t/ha), while postponing sowing until May 15 reduced yield by 0.52–1.08 t/ha. The starch content changed insignificantly (± 0.3 – 0.5%) and was slightly higher with later sowing, while protein decreased. Plant density was determined by the biological characteristics of the hybrids. The optimal density for most forms was 60,000 plants/ha, which ensured maximum yield (up to 8.47 t/ha). Thickening to 75,000/ha increased the starch content by 0.2–0.6%, but reduced the protein content. Thus, the formation of corn yield and grain quality is determined by the complex interaction of genotype and agrotechnical factors, among which the most important are the predecessor, the soil cultivation system, the sowing date, and the sowing density.

Key words: soil cultivation, predecessors, biochemical composition of grain, sowing dates, planting density.

Постановка проблеми. У сучасних умовах інтенсифікації землеробства та кліматичної нестабільності формування врожайності і якісних показників зерна кукурудзи (*Zea mays* L.) набуває стратегічного значення у забезпеченні продовольчої, кормової та енергетичної безпеки. Незважаючи на високий генетичний потенціал сучасних гібридів, продуктивність і вміст білка, крохмалю та жиру істотно залежать від попередника, строків сівби, густоти стояння рослин і способів обробітку ґрунту [1, 2]

У виробничих умовах часто спостерігається дисбаланс між досягненням високої врожайності та формуванням зерна з оптимальними біохімічними характеристиками. Азотне живлення сприяє зростанню вмісту білка, проте може супроводжуватися змінами співвідношення білка й крохмалю, що впливає на кормову та технологічну цінність зерна. Водночас, порушення сівозміни й неоптимальна густина посіву обмежують синтез сухої речовини та знижують виповненість зернівки [3–5].

Отже, проблема полягає у необхідності наукового обґрунтування інтегрованої системи агротехнологічних прийомів, здатної забезпечити збалансоване формування врожайності та якісних показників зерна кукурудзи в умовах сучасного землеробства. Вирішення цього питання є передумовою підвищення ефективності виробництва, покращення поживної та енергетичної цінності зерна й забезпечення його конкурентоспроможності на внутрішньому та світовому ринках.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Кукурудза є однією з провідних зернових культур у світі, що виконує ключову роль у забезпеченні продовольчої та кормової безпеки, а також слугує промисловим сировинним ресурсом. Зерно кукурудзи характеризується високим вмістом вуглеводів (переважно крохмалю, до 70–75% сухої маси) та білка (7–11%), що визначає його енергетичну цінність та харчові властивості [1–7]. Водночас білкова складова зерна обмежена дефіцитом незамінних амінокислот (лізин,

метіонін, триптофан), що знижує біологічну цінність білка та обмежує його харчову придатність для людини та тварин [5].

Якість зерна визначається вмістом білка, крохмалю, жиру, клітковини та перетравністю сухої речовини. Високий рівень цих показників забезпечує максимальну енергетичну та поживну цінність для тварин [3, 5, 8–10]. Застосування оптимальних агротехнічних заходів підвищує виповненість зернівки, зменшує частку щуплого зерна та підвищує концентрацію білка і крохмалю [1, 3–5].

Дослідження вказують, що такі фактори, як попередник, строки сівби та густина стояння, мають визначальний вплив на кормову цінність зерна. Наприклад, вирощування кукурудзи після бобових культур сприяє кращій доступності азоту та підвищує вміст білка, а оптимальна густина стояння рослин покращує масу зерна та його поживну цінність [8–10].

Дослідження проведені вченими різних країн підтверджують ці закономірності. Samacho et al. [11] показали, що баланс білка та крохмалю у зерні кукурудзи впливає на засвоюваність корму та продуктивність тварин. Hassenberg et al. [12] відзначають, що генетичний потенціал кукурудзи реалізується лише за умов правильної агротехніки та добору гібридів під конкретні кліматичні умови.

Ключовим завданням сучасної агрономії є оптимізація концентрації білка та крохмалю в зерні через поєднання генетичних, агротехнічних та біотехнологічних підходів. Білок забезпечує ріст, відновлення тканин та метаболічні процеси, тоді як крохмаль є основним енергетичним компонентом та визначає промислову цінність зерна, включаючи виробництво біопалива та функціональних продуктів [6].

Методи управління ґрунтом та сівозіна також відіграють критичну роль у формуванні якісних характеристик зерна. Інтегроване управління родючістю ґрунту, включаючи поєднання органічних і мінеральних добрив, оптимізацію

густоти посіву та глибокий обробіток ґрунту, підвищує накопичення сухої речовини та азоту в рослині, покращує розвиток кореневої системи та сприяє вищому вмісту білка у зерні [13, 14]. Сівозміна з включенням бобових культур підвищує доступність азоту та сприяє більшому накопиченню білка [15].

Вплив агротехнологічних заходів на крохмаль проявляється менш виражено, проте є суттєвим для технологічних характеристик зерна. Зокрема, внесення азоту та використання різних режимів удобрення впливають на співвідношення амілози та амілопектину, середній розмір гранул та кристалічність крохмалю [16–18].

Таким чином, системне застосування оптимізованих технологічних заходів з урахуванням погодних умов є необхідною умовою для оптимізації харчової цінності та промислової придатності кукурудзи, а також забезпечення її стабільного виробництва у змінних агроекологічних умовах.

Метою статті є встановлення впливу попередників, систем основного обробітку ґрунту, строків сівби та густоти стояння рослин на формування врожайності та якісних показників зерна кукурудзи, а також визначення оптимальних параметрів елементів технології вирощування для максимальної реалізації генетичного потенціалу гібридів.

Методика дослідження. Дослідження проводили у 2010–2017 рр. в Інституті сільського господарства Степу НААН в умовах помірно континентального клімату. Ґрунт – чорнозем звичайний глибокий середньогумусний важкосуглинковий із вмістом гумусу 4,69%, рН 6,5–7,0; забезпеченість: N – низька (137 мг/кг), P – середня (100 мг/кг), K – висока (151 мг/кг).

Польові дослід з попередниками (пшениця озима, кукурудза, соя, соняшник) проводилися у 2010–2012 рр. на фоні використання післяжнивних решток та мінерального удобрення $N_{30}P_{30}K_{30}$ (додатково при сівбі вносили – $N_{10}P_{10}K_{10}$). Вивчали три системи основного обробітку: полицева оранка (25–27 см), мілкий дисковий (10–12 см) та пряма сівба. Передпосівний обробіток (крім прямої сівби) включав боронування і культивування (5–7 см). Захист від бур'янів здійснювали із застосуванням гербіцидів суцільної та страхової дії відповідно до рекомендацій [19].

Біохімічні показники зерна визначали лабораторно: крохмаль – за методом Еверса, білок – К'ельдаля, жир – Сокслета. Статистичну обробку даних проводили методами дисперсійного та кореляційного аналізу [20]. Клімат регіону характеризується нестійким зволоженням (499 мм опадів на рік; ГТК = 1), роки досліджень різнилися за температурою й вологозабезпеченням.

Кукурудза є дуже чутливою до нестачі вологи у період, що починається за 10 днів до викидання волотей і триває до середини цвітіння, що припадає на червень, а також під час наливу зерна, що відбувається у липні. У червні середньомісячна кількість опадів змінювалася за роками й іноді перевищувала норму (64 мм) або, навпаки, була значно меншою від неї. Так,

в окремі роки проведення досліджень (2011 р. – 128,0 мм; 2015 р. – 74,0 мм; 2016 р. – 65 мм) кількість опадів за червень перевищувала норму, а в поодинокі посушливі роки зменшувалася до 26,1 мм (2012 р.) та 17,0 мм (2017 р.). Другим за зволоженням та важливістю для рослин є липень з нормою опадів 60 мм. В окремі роки проведення досліджень (2010 р. – 146 мм; 2015 р. – 74,0 мм) кількість опадів за липень перевищувала норму, а в окремі гостро посушливі роки зменшувалася до 11,0 мм (2016 р.).

У критичний період вологоспоживання кукурудзи найбільш сприятливими були 2010, 2011 роки, коли у червні–липні кількість атмосферних опадів коливалася від 170 до 182 мм. Також сприятливим був й 2015 рік. У посушливі роки в цей період органогенезу кількість опадів становила: 2012 р. – 85,1 мм, 2013 р. – 82,0 мм, 2017 р. – 85,0 мм.

Проведений аналіз погодних умов за гідротермічним коефіцієнтом у роки досліджень показав, що вегетаційний період 2012, 2017 років був сильно посушливим $ГТК_{V-IX}=0,47-0,57$, 2014 рік – середньо посушливими $ГТК_{V-IX}=0,62$, у 2011, 2013, 2015, 2016 роках – слабо посушливими $ГТК_{V-IX}=0,80-0,93$ та у 2010 рік – достатньо зволеним $ГТК_{V-IX}=1,07$.

Результати досліджень. Попередники та основний обробіток ґрунту істотно впливають на умови мінерального живлення рослин, фітосанітарний стан посівів і агрофізичні властивості ґрунту, від чого безпосередньо залежить формування врожайності та якісних показників зерна кукурудзи. Найвищі значення всіх досліджуваних показників формувалися за полицевої оранки незалежно від попередника. Серед попередників найбільш сприятливі умови для формування продуктивності кукурудзи забезпечувала соя. За оранки урожайність зерна становила 7,15 т/га, що перевищувало відповідні показники після пшениці озимої, кукурудзи на зерно та соняшнику. Після пшениці озимої за оранки урожайність зерна складала 6,72 т/га, тоді як найнижчі показники спостерігалися після соняшнику – 6,29 т/га.

Застосування мілкої дискової обробітку ґрунту (10–12 см) призводило до достовірного зниження продуктивності кукурудзи за всіма попередниками. Урожайність зерна зменшувалася на 0,31 т/га після сої та на 0,45–0,46 т/га після пшениці озимої, кукурудзи на зерно й соняшнику порівняно з оранкою (табл. 1).

Найбільше падіння досліджуваних показників відмічено за нульового обробітку ґрунту. Особливо чутливою до прямої сівби кукурудза виявилася після пшениці озимої та соняшнику – урожайність зерна зменшувалася до 4,17 та 5,61 т/га. Водночас після сої, навіть за прямої сівби, урожайність становила 6,56 т/га, що перевищувало аналогічний показник за оранки після кукурудзи на зерно (6,55 т/га) та соняшнику (6,29 т/га).

Спостереження за зміною якісних показників зерна кукурудзи показали, що вплив обробітку ґрунту на вміст крохмалю в зерні був практично

однаковим після всіх попередників та зростає зі зменшенням глибини обробітку. Так, найбільшим вміст крохмалю у зерні кукурудзи був у варіантах прямої сівби та мілкої дискової обробітку після соняшнику і становив 72,3%. Даний показник на 0,8% переважав результати, отримані після попередника соя, на 0,6% після попередника пшениця озима та на 0,4% у повторних посівах.

Застосування мілкої дискової обробітку ґрунту замість прямої сівби при вирощуванні кукурудзи після сої призводило до зниження вмісту крохмалю на 0,7%, після пшениці озимої – на 0,5%, після кукурудзи на зерно – на 0,4%, а після соняшнику не впливало. За оранки було зафіксовано найнижчий вміст крохмалю в зерні кукурудзи і після сої він становив 70,6%, після пшениці озимої 70,0%, після кукурудзи на зерно – 71,0%, а після соняшнику – 71,7%.

Результати досліджень показали, що найвищий вміст білка в зерні кукурудзи спостерігався за сівби після попередника соя за полицевої оранки і становив 10,0%. Вирощування кукурудзи після пшениці озимої та у повторних посівах за глибокого обробітку забезпечило 9,7% білка в зерні, а сівба кукурудзи після соняшнику – 9,5%.

Мінімізація основного обробітку ґрунту призводила до зниження вмісту білка в зерні кукурудзи за сівби після пшениці озимої на 0,4%, після сої та соняшнику – на 0,3%, а у повторних посівах – на 0,2%. Використання в технологічному процесі прямої сівби призвело до ще більшого зниження цього показника, який за сівби після пшениці озимої та у повторних посівах зменшувався на 0,9%, а після технічних культур (сої та соняшнику) – на 0,7%. Вміст у зерні кукурудзи жиру був найбільш стабільним показником

Таблиця 1

Зміна якісних показників зерна кукурудзи залежно від попередника та основного обробітку ґрунту, 2010–2012 рр.

Попередник (фактор А)	Основний обробіток ґрунту (фактор В)	Урожайність зерна, т/га	Вміст, %		
			крохмалю	білка	жиру
Пшениця озима	оранка (25–27 см)	6,72	71,1	9,7	7,3
	дискування (10–12 см)	6,26	71,2	9,3	7,2
	нульовий обробіток	4,17	71,7	8,8	7,2
Соя	оранка (25–27 см)	7,15	70,6	10,0	7,3
	дискування (10–12 см)	6,84	70,8	9,7	7,3
	нульовий обробіток	6,56	71,5	9,3	7,3
Кукурудза на зерно	оранка (25–27 см)	6,55	71,0	9,7	7,3
	дискування (10–12 см)	6,08	71,5	9,5	7,2
	нульовий обробіток	5,64	71,9	8,9	7,1
Соняшник	оранка (25–27 см)	6,29	71,7	9,5	7,2
	дискування (10–12 см)	5,84	72,3	9,2	7,2
	нульовий обробіток	5,61	72,3	8,8	7,1
НІР ₀₅ для урожайності, т/га	фактор А – 0,20–0,21; фактор В – 0,17–0,18; фактор АВ – 0,34–0,36				

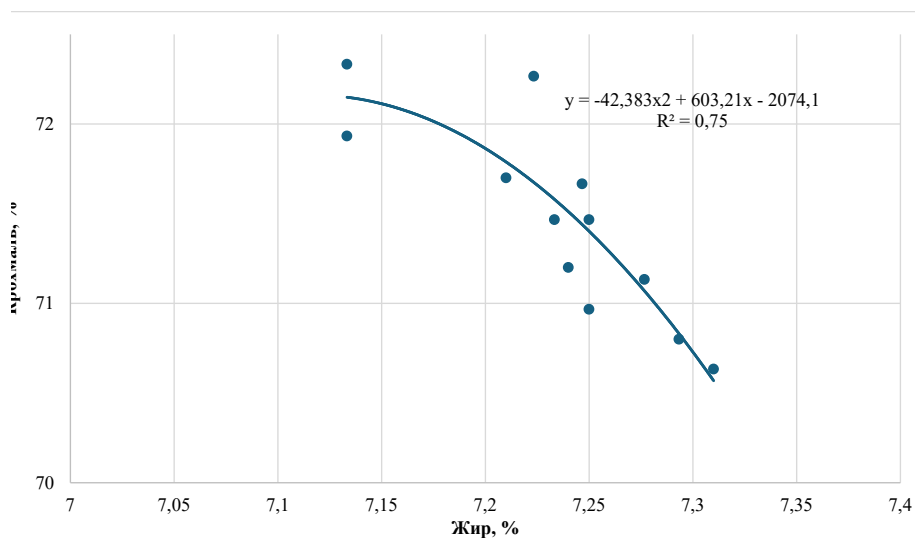


Рис. 1. Взаємозв'язок між вмістом крохмалю та жиру в зерні кукурудзи за різних попередників та обробітків ґрунту, 2010–2012 рр.

і становив 7,1–7,3%. Варіювання цього показника було мінімальним і залежно від попередника та обробітку ґрунту він змінювався не більше, ніж на 0,1–0,2%.

Встановлено помірний зворотній кореляційний зв'язок між урожайністю кукурудзи та вмістом крохмалю в її зерні $r = -0,65$ та тісний зворотній зв'язок між вмістом крохмалю і жиру $r = -0,83$, де $R^2 = 0,76$ (рис. 1), а також крохмалю та білка $r = -0,82$, де $R^2 = 0,70$ (рис. 2).

Водночас встановлено прямі кореляційні зв'язки: тісний між урожайністю та вмістом білка $r = 0,86$, вмістом білка та жиру $r = 0,87$ (де $R^2 = 0,76$) (Рис. 3).

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,76$ свідчить про тісний зв'язок, у межах якого більше 76% варіації вмісту жиру пояснювалося рівнем білка у зерні.

Тобто зі збільшенням білка поступово підвищувався і вміст жиру. Найнижчі значення кількості жиру (7,1–7,2%) спостерігалися за вмісту білка 8,8–9,3%, тоді як підвищення частки білка до 9,5–10,0% супроводжувалося збільшенням частки жиру до 7,3%.

Урожайність зерна кукурудзи істотно залежала як від гібридних особливостей, так і від строків сівби. Загальною закономірністю для всіх досліджуваних гібридів було зниження врожайності за пізнього строку сівби (15 травня) порівняно до ранніх строків.

Найвищі показники врожайності сформували гібриди Адевей, ЛГ3350 та ЛГ3475, які за сівби 15 квітня забезпечили відповідно 8,71; 8,55 та 8,47 т/га зерна. Дещо нижчі, але стабільно високі результати отримано у гібридів ЛГ3258 та ЛГ30360, урожайність яких за раннього строку

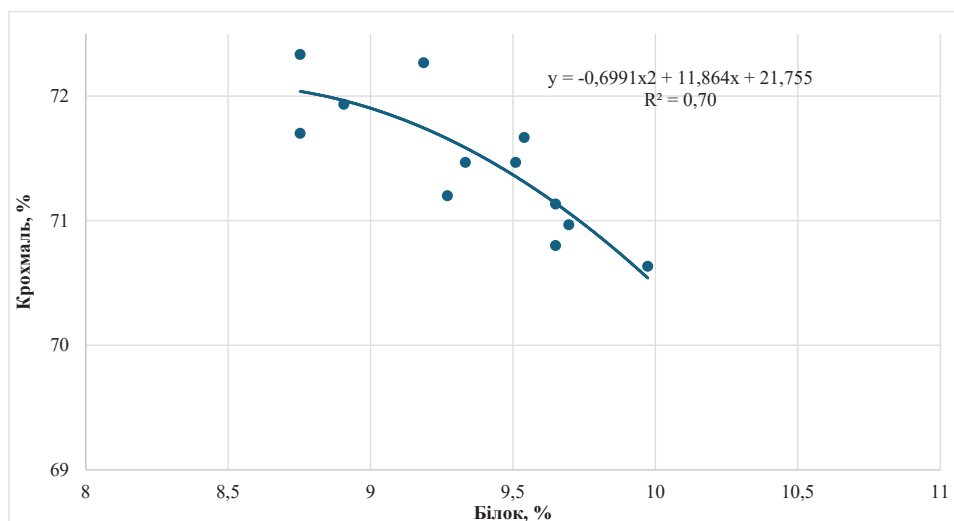


Рис. 2. Взаємозв'язок між вмістом крохмалю та білка в зерні кукурудзи за різних попередників та обробітків ґрунту, 2010–2012 рр.

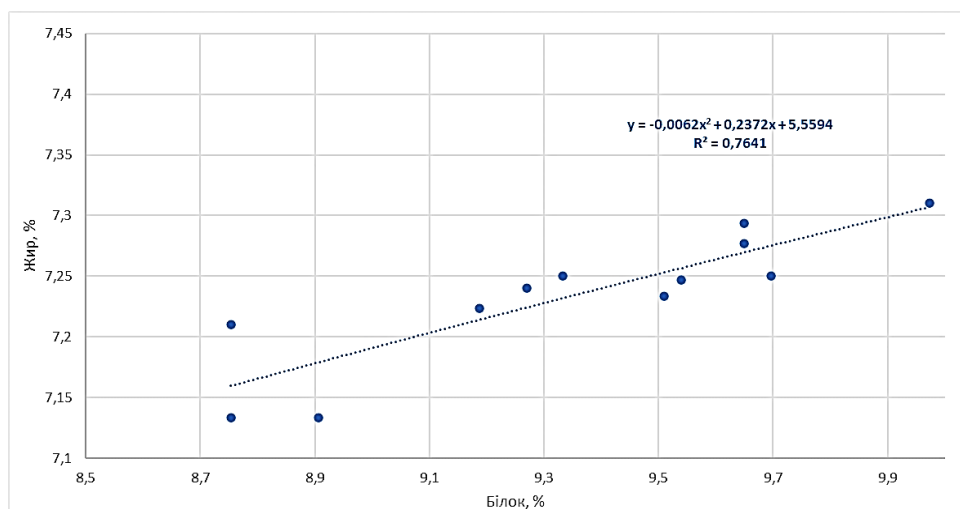


Рис. 3. Зв'язок між вмістом жиру та білка в зерні кукурудзи за різних попередників та обробітків ґрунту, 2010–2012 рр.

сівби становила 8,24 та 8,21 т/га відповідно. Найменшу продуктивність у всі строки сівби мав гібрид ЛГ2195, урожайність якого коливалася в межах 6,79–7,31 т/га.

Перенесення строку сівби з 15 квітня на 1 травня призводило до незначного зниження врожайності – у середньому на 0,03–0,36 т/га залежно від гібриду. Водночас пізня сівба (15 травня) зумовлювала більш відчутний недобір урожаю – 0,52–1,08 т/га порівняно до раннього строку. Найбільш чутливими до відтермінування сівби виявилися гібриди кукурудзи ЛГ3258, ЛГ3350 та ЛГ3475, у яких недобір урожаю за сівби 15 травня перевищував 1,0 т/га.

Отже, оптимальним строком сівби для формування максимальної врожайності зерна кукурудзи в умовах дослідів було 15 квітня, тоді як відтермінування сівби до середини травня істотно обмежувало можливості більшості гібридів до реалізації їх генетичного потенціалу.

Біохімічний аналіз показав незначні зміни цих показників під впливом строків сівби. Так, в середньому у досліджуваних гібридів вміст крохмалю у зерні був стабільним і відхилявся від середніх значень незначно – на 0,3–0,5%. Більший вплив на варіювання цього показника забезпечували біотики кукурудзи. Так, серед гібридів найменший вміст крохмалю був у гібрида ЛГ2195 і коливався він у межах від 69,8 (сівба 15 квітня) до 70,3% (сівба 15 травня). У гібрида ЛГ3258 кількість крохмалю біла стабільно високою – 72,0–72,4%, а зміна строків сівби найменше впливала на його величину (табл. 2).

Більший вміст крохмалю у зерні всіх гібридів був за раннього строку сівби (15 травня). Максимальним він був у гібрида Адевей і становив 72,6–73,2%. У середньостиглих гібридів ЛГ30360 та ЛГ3350 кількість крохмалю у зерні коливалася від 72,0 до 72,7%, при цьому мінімальний показник встановлено 1 травня, а максимальний – 15 травня. Середньопізній гібрид ЛГ3475 показав дещо нижчий вміст крохмалю порівняно до інших гібридів – 71,2–71,6%, із найменшим значенням при сівбі 1 травня та поступовим підвищенням за 15 квітня і 15 травня. Тобто, для всіх гібридів пізній строк сівби (15 травня) забезпечував вищий вміст крохмалю у зерні на 0,3–0,5% порівняно до 15 квітня та на 0,2–0,6% порівняно до 1 травня.

Встановлено помірний зворотній кореляційний зв'язок між вмістом крохмалю та білка – $r = -0,62$, де коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,52$. Вміст білка більш чутливо реагував на зміну строків сівби, причому спостерігалася тенденція до його зменшення при запізненні з сівбою. Так, у гібрида ЛГ2195 рівень білка у зерні знижувався від 10,3% (15 квітня) до 10,0% (15 травня), а у гібрида ЛГ3258 – з 10,1% до 9,7%. У гібридів Адевей та ЛГ3475 кількість білка у зерні зі зміщенням сівби до 1 та 15 травня знизився з 9,9% до 9,4–9,5%. Найнижчий вміст білка був у середньостиглих гібридів ЛГ30360 та ЛГ3350 за сівби 15 травня – 9,0 та 8,9%.

Відмічено, що найбільшим вмістом сирого протеїну відзначались гібриди середньоранньої групи стиглості з ФАО 210 та 250 – ЛГ2195 та

Таблиця 2

Варіювання якісних показників зерна гібридів кукурудзи залежно від строків сівби, 2013–2017 рр.

Гібрид (фактор А)	Строки сівби (фактор В)	Урожайність зерна, т/га	Вміст, %	
			крохмалю	білка
ЛГ2195	15 квітня	7,31	69,8	10,28
	1 травня	7,27	70,0	10,02
	15 травня	6,79	70,3	9,98
ЛГ3258	15 квітня	8,24	72,0	10,08
	1 травня	7,88	72,2	9,70
	15 травня	7,25	72,4	9,68
Адевей	15 квітня	8,71	72,7	9,86
	1 травня	8,47	72,6	9,45
	15 травня	7,89	73,2	9,42
ЛГ30360	15 квітня	8,21	72,1	9,44
	1 травня	8,18	72,0	9,04
	15 травня	7,56	72,5	9,04
ЛГ3350	15 квітня	8,55	72,3	9,36
	1 травня	8,23	72,1	8,90
	15 травня	7,47	72,7	8,88
ЛГ3475	15 квітня	8,47	71,3	9,88
	1 травня	8,46	71,2	9,47
	15 травня	7,44	71,6	9,46
НІР ₀₅ для урожайності, т/га		фактор А – 0,13–0,38; фактор В – 0,09–0,27; фактор АВ – 0,23–0,66		

ЛГ3258. Усі гібриди демонстрували єдиний тренд: рання сівба сприяла формуванню вищого вмісту білка у зерні, а сівба після 1 травня призводила до його зниження.

Після встановлення залежності біохімічного складу зерна кукурудзи від строків сівби логічним є подальший аналіз впливу іншого важливого елемента технології вирощування – густоти стояння рослин. Якщо строки сівби визначають стартові умови розвитку культури та формують фонові показники температури й вологості середовища впродовж вегетації, то густина посіву безпосередньо регулює рівень внутрішньовидової конкуренції за світло, елементи живлення та вологу. Саме зміна просторового розміщення рослин дозволяє оцінити як, за різних умов загущення або зрідження, трансформуються процеси накопичення крохмалю та білка в зерні кукурудзи, що дає можливість більш повно охарактеризувати реакцію гібридів на комплекс агротехнічних чинників.

Проведені дослідження показали, що густина стояння рослин істотно впливала на врожайність зерна кукурудзи, причому характер реакції визначався групою стиглості та біологічними особливостями гібридів. У середньораннього гібрида ЛГ2195 підвищення густоти з 45 до 60–75 тис. рослин/га забезпечувало зростання урожайності з 6,91 до 7,27–7,28 т/га. Це свідчить про позитивну реакцію гібриду на загущення та оптимальність густоти 60–75 тис. рослин/га. Гібрид ЛГ3258 найкраще реалізовував свій генетичний потенціал за густоти 60 тис. рослин/га, та забезпечував максимальні показники врожайності – 7,94 т/га. Подальше загущення до 75 тис. рослин/га призводило до зниження показників, що вказує на чутливість гібриду до надмірної

густоти. Середньоранній гібрид Адевей формувал найвищі абсолютні показники серед досліджуваних гібридів. Оптимальна густина для нього становила 60 тис. рослин/га, за якої урожайність зерна досягала 8,47 т/га. За подальшого загущення продуктивність його посівів дещо знижувалася, що свідчить про переваги помірної густоти.

У середньостиглих гібридів ЛГ30360 та ЛГ3350 коливання продуктивності в межах густоти 45–60 тис. рослин/га були мінімальними. За цих умов урожайність змінювалася в межах 8,09–8,14 та 8,01–8,03 т/га відповідно. Збільшення густоти до 75 тис. рослин/га зумовлювало помірне зниження показників, що характеризувало ці гібриди як високопластичні та адаптивні до різних умов загущення. Середньопізній гібрид ЛГ3475 відзначався протилежною реакцією: найвищі показники формувалися за мінімальної густоти 45 тис. рослин/га – 8,52 т/га зерна. Підвищення густоти до 60 і 75 тис. рослин/га призводило до поступового зниження продуктивності, що свідчить про генетичну орієнтацію гібрида на зріджені посіви та високу чутливість до загущення.

У всіх досліджуваних форм відмічена тенденція до незначного підвищення вмісту крохмалю зі збільшенням густоти стояння рослин. Різниця між показниками отриманими за крайніх досліджуваних густот становить у середньому 0,2–0,6%. У гібрида ЛГ2195 вміст крохмалю в зерні був найменшим 69,7% за густоти стояння рослин 45 тис./га і поступово зростає до 70,3% за густоти 75 тис./га. У іншого середньораннього гібрида ЛГ3258 вміст крохмалю у зерні підвищився з 72,1% до 72,4% за тих же густот. Тобто відбувалось незначне зростання показника при максимальній густоті (табл. 3).

Таблиця 3

Варіювання якісних показників зерна гібридів кукурудзи залежно від густоти стояння рослин, 2013–2017 рр.

Гібрид (фактор А)	Густина стояння рослин, тис./га (фактор В)	Урожайність зерна, т/га	Вміст, %	
			крохмалю	білка
ЛГ2195	45	6,91	69,7	10,38
	60	7,27	70,0	10,02
	75	7,28	70,3	9,72
ЛГ3258	45	7,49	72,1	10,06
	60	7,94	72,2	9,70
	75	7,50	72,4	9,52
Адевей	45	8,24	72,5	9,56
	60	8,47	72,6	9,45
	75	8,19	72,9	9,29
ЛГ30360	45	8,09	71,7	9,22
	60	8,14	72,0	9,04
	75	7,74	72,2	8,95
ЛГ3350	45	8,01	71,9	9,00
	60	8,03	72,1	8,90
	75	7,91	72,3	8,64
ЛГ3475	45	8,52	71,2	9,67
	60	8,42	71,2	9,47
	75	8,07	71,5	9,20

У середньораннього гібрида Адевей вміст крохмалю у зерні був найбільшим і становив 72,5–72,9%. Середньостиглі гібриди ЛГ30360 та ЛГ3350 продемонстрували підвищення вмісту крохмалю від 71,7–71,9% до 72,2–72,3% зі зростанням густоти стояння рослин з 45 тис./га до 75 тис./га. Тобто, підвищення густоти посіву сприяло збільшенню синтезу крохмалю в зерні.

Встановлено помітний зворотній кореляційний зв'язок ($r = -0,60$) між вмістом крохмалю та білка. Вміст протеїну мав чітку та закономірну тенденцію до зменшення зі збільшенням густоти стояння рослин. Це пояснюється підсиленням конкуренції між рослинами за азот і світло.

Встановлено, що більший вміст білка був у зерні середньоранніх гібридів ЛГ215 та ЛГ3258 і становив 10,38 та 10,06% за густоти 45 тис. рослин/га. Найнижчим цей показник був у середньостиглого гібрида ЛГ3350 за густоти стояння 75 тис. рослин/га – 8,64%. Тобто загушення посівів досліджуваних біотипів призводило до помітного зменшення вмісту білка в зерні.

Узагальнюючи результати, необхідно відмітити, що оптимальна густота стояння рослин становила: для гібрида ЛГ2195 – 60–75 тис. рослин/га; ЛГ3258 і Адевей – 60 тис. рослин/га; ЛГ30360 та ЛГ3350 – 45–60 тис. рослин/га; для гібрида ЛГ3475 – 45 тис. рослин/га. Найвищий вихід крохмалю та біоетанолу забезпечували гібриди Адевей та ЛГ3475, тоді як найнижчі показники стабільно формували гібрид ЛГ2195.

Отже, якісні показники товарної продукції кукурудзи значно залежали від генетичних особливостей гібридів та агротехнічних заходів. Вміст крохмалю у зерні кукурудзи мав загальну тенденцію до зростання зі збільшенням густоти стояння рослин та відстрочення сівби до більш пізніх термінів. При цьому вміст білка у зерні за таких варіантів стабільно знижувався, але варіативність показників залежала від генетичних особливостей гібридів.

Результати наших досліджень узгоджуються із загальносвітовими тенденціями щодо впливу способів основного обробітку ґрунту на продуктивність кукурудзи. Аналіз літературних даних свідчить, що традиційна оранка як система глибокого обробітку повторно підтверджує свою здатність формувати оптимальний водно-повітряний режим, сприятливий для ростових процесів і наливу зерна. Так, у дослідях, проведених у Північному Степу України, оранка забезпечувала вищу польову схожість та врожайність кукурудзи порівняно з мінімальним або нульовим обробітком, що узгоджується з нашими висновками щодо домінуючої ролі глибокого обробітку у формуванні продуктивності культури [21].

Дослідження у Східному Китаї також показали, що зниження інтенсивності обробітку та впровадження сівби з рослинними рештками можуть поліпшувати фізико-хімічні властивості ґрунту, зокрема водоутримувальність і структуру, що сприяє росту рослин і може підвищувати врожайність. Це відповідає нашим спостереженням, де мінімізація обробітку сприяла підвищенню

вмісту крохмалю у зерні, хоч і супроводжувалася загальним зниженням продуктивності [22].

Водночас велике довгострокове дослідження в Європі показало, що зниження інтенсивності обробітку може підтримувати рівень врожайності, але повна відмова від обробітку (no-till) інколи супроводжується зменшенням урожаю до 19 % порівняно з традиційним обробітком. Це співвідноситься з нашими даними про значне зниження продуктивності за прямої сівби порівняно з оранкою (на 37–41 %) [23].

Порівняння з іншими вітчизняними дослідженнями також підтверджує важливість агротехнічних рішень: у роботі В. М. Тоцького та О. І. Леня [24] показано, що поєднання систем обробітку ґрунту та внесення добрив впливає на біометричні та продуктивні показники гібридів кукурудзи, що узгоджується з нашими висновками про комплексний вплив обробітку, живлення та попередників на продуктивність.

Особливо важливим є врахування не лише врожаю, але й якості зерна. Наші дані щодо кореляційних взаємозв'язків між біохімічними показниками зерна (обернена залежність білка й крохмалю, прямий зв'язок білка й жиру) узгоджуються з фізіологічними уявленнями про метаболічну конкуренцію між синтезом білкових і вуглеводних сполук під впливом азотного живлення та умов обробітку.

У нашому дослідженні вміст крохмалю у зерні був вищим за умов мінімізації обробітку ґрунту та прямої сівби (до 71,8–72,2 %), що частково узгоджується з результатами міжнародних досліджень. Наприклад, у дослідях у тропічній зоні було показано, що мінімальний обробіток і залишення рослинних решток на поверхні ґрунту сприяють кращому збереженню вологи та мікроклімату в орному шарі, що може стимулювати кращий налив крохмалю у зерні, особливо за стресових погодних умов [25].

Проте інші дослідження підкреслюють, що вплив обробітку ґрунту на крохмалістість може бути модульованим системою живлення та умовами зволоження, і в окремих умовах традиційний обробіток може не впливати негативно на крохмаль у зерні [26]. У наших дослідях збільшення глибини обробітку та органо-мінеральне удобрення дещо знижували вміст крохмалю на 1,1–2,1 %, що підкреслює важливість балансу між енергетичними та пластичними речовинами у зерні.

Наші дані щодо білковості зерна узгоджуються з численними літературними джерелами, які підкреслюють сильний вплив азотного живлення на формування білковості. Виявлені нами значення білка (8,8–10,6 %) були найвищими за поєднання органо-мінеральної системи удобрення з розсіюванням пожнивних решток та внесенням компенсаторної дози азоту. Це відповідає даним ряду авторів, які показали, що недостатність азоту суттєво обмежує білковий синтез у зерні, тоді як адекватне азотне живлення підвищує його відсоток у структурі зерна кукурудзи [27].

Крім того, метаболічна конкуренція між синтезом білкових і вуглеводних сполук за обмеженої кількості пластичних речовин також була підтверджена в нашому кореляційному аналізі: збільшення білка зазвичай супроводжувалося зниженням частки крохмалю ($r \approx -0,82 \dots -0,84$). Це відповідає загальним фізіологічним уявленням про розподіл пластичних речовин у процесі формування зерна, де вищий рівень азотного живлення зміщує метаболізм у бік білкового синтезу, що підтверджено в низці досліджень [28].

Отже, узагальнення власних і літературних даних свідчить, що ефективна агротехнологія вирощування кукурудзи повинна передбачати інтегроване управління агротехнічними заходами, що забезпечує не лише високу врожайність, а й бажані параметри якості зерна – оптимальний вміст як білка, так і крохмалю для різних напрямів використання продукції.

Висновки. Встановлено, що попередники та система основного обробітку ґрунту істотно впливають на формування врожайності та якісних показників зерна кукурудзи. Найвищі показники продуктивності забезпечувала полицева оранка (25–27 см) незалежно від попередника. Найбільш сприятливим попередником для кукурудзи виявилася соя, за якої врожайність за оранки становила 7,15 т/га, що достовірно перевищувало показники після пшениці озимої (6,72 т/га), кукурудзи на зерно (6,55 т/га) та соняшнику (6,29 т/га). Мінімізація обробітку ґрунту (дискування 10–12 см) призводила до зниження врожайності на 0,31–0,46 т/га залежно від попередника. Найбільше зменшення продуктивності відмічено за нульового обробітку, особливо після пшениці озимої (4,17 т/га) та соняшнику (5,61 т/га).

Вміст крохмалю в зерні зростає за мінімізації обробітку ґрунту та прямої сівби (до 72,3%), однак це супроводжувалося зниженням вмісту білка. Найвищий вміст білка (10,0%) отримано після сої за полицевої оранки. Вміст жиру був відносно стабільним (7,1–7,3%) і мало залежав від технологічних чинників.

Встановлено тісні кореляційні зв'язки між основними показниками якості: між урожайністю та білком ($r = 0,86$), білком і жиром ($r = 0,87$), а також зворотні зв'язки між крохмалем і білком ($r = -0,82$), крохмалем і жиром ($r = -0,83$) та урожайністю і крохмалем ($r = -0,65$).

Оптимальним строком сівби для більшості гібридів було 15 квітня, що забезпечувало максимальну врожайність (8,21–8,71 т/га). Запізнення із сівбою до 15 травня знижувало врожайність на 0,52–1,08 т/га, хоча сприяло незначному підвищенню вмісту крохмалю (на 0,3–0,5%).

Густота стояння рослин істотно впливала на реалізацію генетичного потенціалу гібридів. Оптимальна густота для гібрида ЛГ2195 була 60–75 тис. рослин/га, для гібридів ЛГ3258 та Адевей – 60 тис. рослин/га, для ЛГ30360 та ЛГ3350 – 45–60 тис. рослин/га та для ЛГ3475 – 45 тис. рослин/га. Зі збільшенням густоти стояння рослин вміст крохмалю зростає (на 0,2–0,6%), тоді як вміст білка знижувався, що пов'язано

з посиленням конкуренції за азотне живлення. Найвищий вихід крохмалю та потенційний вихід біоетанолу забезпечували гібриди Адевей та ЛГ3475, тоді як найнижчі показники стабільно формував гібрид ЛГ2195.

Отже, формування врожайності та якості зерна кукурудзи визначається комплексною взаємодією попередника, системи обробітку ґрунту, строків сівби, густоти стояння рослин і генетичних особливостей гібридів. Для умов Степу найбільш ефективною є технологія, що поєднує розміщення кукурудзи після сої, полицеву оранку, ранній строк сівби та оптимізовану густоту відповідно до біологічних особливостей конкретного гібриду.

Література

1. Андрієнко А. Л., Семеняка І. М., Андрієнко О. О. Вихід крохмалю і біоетанолу з посівів кукурудзи залежно від попередників та основного обробітку ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2025. № 2 (863). С. 31–41. DOI:10.31073/agrovisnyk202502-04.
2. Паламарчук В. Д., Дідур І. М., Колісник О. М., Алексєєв О. О. Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісо-степу правобережного. Вінниця : Друк. 2020. 536 с.
3. Крамарьов С. М., Пашенко Ю. М., Андрієнко А. Л., Шевченко В. М., Ісаєнков В. В. Продуктивність і якість зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості та їх батьківських форм в залежності від інкрустації насіння, доз, строків та способів внесення добрив в умовах північного Степу України. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2007. №67. С.113–121.
4. Крамарьов С. М., Красенков С. В., Андрієнко А. Л., Льоринець Ф. А., Коцюбан А. І. Вплив попередників, основного обробітку ґрунту, доз, строків та способів внесення добрив на продуктивність та якість зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах Степу України. *Корми і кормовиробництво*. 2006. Вип.57. С.134–142.
5. Roodt D., 2022, Multi-omics approach highlights new targets for amino acid composition change in maize kernels, *Plant Physiology*. Vol. 188(1). P. 22–23. DOI: 10.1093/plphys/kiab466
6. Hasan A., Al-Musawi B. Biochemical study of maize (*Zea mays* L.) genotypes through total seed protein by SDS-PAGE. *Journal of Kerbala for Agricultural Sciences*. 2023. Vol. 10(4). P. 119–128. DOI: /10.59658/jkas.v10i4.1300
7. Паламарчук В. Д., Вінник О. В., Коваленко О. А. Вміст крохмалю у зерні кукурудзи та вихід біоетанолу залежно від умов вегетації та факторів технології вирощування. *Аграрні інновації*. 2021. №5. С. 143–156. DOI: 10.32848/agrar.innov.2021.5.23
8. Бойко П. І., Мартинюк І. В., Цимбал Я. С. Формування принципів сівозміни в агросистемах. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 99(3). С. 5–13. DOI: 10.31073/agrovisnyk202103-01
9. Калетник Г. М., Паламарчук В. Д., Гончарук І. В., Ємчик Т. В., Телекало Н. В. Перспективи використання кукурудзи для енергоефективного та екологічнобезпечного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ФОРМ Кушнір Ю.В., 2021, 260 с.

10. Поляков В. І. Особливості формування якісних показників зерна кукурудзи залежно від комплексу елементів технології вирощування. *Агробіологія*. 2020. №2. С. 132–138. DOI:10.33245/2310-9270-2020-161-2-132138

11. Camacho L. M., de Vries S., Jørgensen H. Nutritional evaluation of maize proteins and amino acids for poultry. *Animal Feed Science and Technology*. 2019. Vol. 251. 114295. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2019.114295

12. Hassenberg, K., Schnabel, R., Rombke, J. Assessment of maize grain quality for higher nutritional value. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2017. Vol. 97(8). P. 2382–2391. DOI:10.1002/jsfa.8198

13. Zhou B., Sun X., Wang D., Ding Z., Li C., Ma W., Zhao M. Integrated agronomic practice increases maize grain yield and nitrogen use efficiency under various soil fertility conditions. *The Crop Journal*. 2019. Vol. 7(4). P. 527–538. DOI: 10.1016/J.CJ.2018.12.005

14. Liu Z., Zhu K., Dong S., Liu P., Zhao B., Zhang J. Effects of integrated agronomic practices management on root growth and development of summer maize. *European Journal of Agronomy*. 2017. Vol. 84. P. 140–151. DOI: 10.1016/J.EJA.2016.12.006

15. Vanlauwe B., Kihara J., Chivenge P., Pypers P., Coe R., Six J. Agronomic use efficiency of N fertilizer in maize-based systems in sub-Saharan Africa within the context of integrated soil fertility management. *Plant and Soil*. 2011. Vol. 339. P. 35–50. DOI: 10.1007/s11104-010-0462-7

16. Kaplan M., Karaman K., Kardeş Y., Kale H. Phytic acid content and starch properties of maize (*Zea mays* L.): Effects of irrigation process and nitrogen fertilizer. *Food Chemistry*. 2019. Vol. 283. P. 375–380. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.029

17. Wang J., Lu D. Starch physicochemical properties of normal maize under different fertilization modes. *Polymers*. 2022. Vol. 15(1). P. 83. DOI: 10.3390/polym15010083

18. Семеняка І. М., Андрієнко А. Л. Продуктивність кукурудзи залежно від систем удобрення та частки сої в сівозмінах короткої ротації. *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. Дніпропетровськ, 2010. №10. С. 177–183.

19. Пашченко Ю. М., Борисов В. М., Шишкіна О. Ю. Адаптивні ресурсозберіжні технології вирощування гібридів кукурудзи: [Моногр]. Д.: АРТ-ПРЕС, 2009. 224 с.

20. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М., Пузік Л. М., Попов С. І., Музафаров Н. М., Бухало В. Я., Криштоп Є. А. Дослідна справа в агрономії: навч. посібник: у 2 кн. – Кн. 2. Статистична обробка результатів агрономічних досліджень; Х.: Майдан, 2016. 342 с. <https://repo.btu.kharkov.ua//handle/123456789/33533>

21. Hanhur V., Marenych M., Yermenko L., Shostia A., Puzyr D., Kyrlytsia A. The influence of the methods of main tillage on the yield of maize hybrids in the conditions of the Left Bank Forest Steppe. *Scientific Progress & Innovations*, 2023. Vol. 26(4). P. 19–23. DOI: 10.31210/spi2023.26.04.04

22. You D., Tian P., Sui P. Short-term effects of tillage and residue on spring maize yield through regulating root-shoot ratio in Northeast China. *Sci Rep*. 2017. Vol. 7 13314). DOI: 10.1038/s41598-017-13624-5

23. Sleiderink J., Deru J. G. C., van der Weide R., van Eekeren N. Effects of reduced tillage and prolonged cover cropping in maize on soil quality and yield. *Soil and Tillage Research*. 2024. Vol. 244. Article 106196. DOI: 10.1016/j.still.2024.106196.

24. Тоцький В. М., Лень О. І. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від системи удобрення та основного обробітку ґрунту. *Селекція і насінництво*. 2020. Вип. 117. С. 199–205 DOI: 10.30835/2413-7510.2020.207173

25. Govaerts, B., Sayre, K. D., & Deckers, J. A minimum data set for soil quality assessment of no-till: Structural and biological indicators. *Soil & Tillage Research*. 2007. Vol. 96(1–2). P. 226–235. DOI: 10.1016/j.still.2007.08.003

26. Zahedi, S. M., Moghaddam, M. R., & Sharifi-Tehrani, A. Effects of tillage levels on soil physical properties and maize yield in a semi-arid climate. *Soil & Tillage Research*. 2018. Vol. 176. P. 61–68. DOI: 10.1016/j.still.2017.08.008

27. Hatfield J. L., Prueger J. H. Role of nitrogen fertilization in crop production and quality: Maize as a case study. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2015. Vol. 178(2). P. 177–188. DOI: 10.1002/jpln.201400350

28. Yue, K., Li, L., Xie, J., Liu, Y., Xie, J., Anwar S., Fudjoe S.K. Nitrogen supply affects yield and grain filling of maize by regulating starch metabolizing enzyme activities and endogenous hormone contents. *Front. Plant Sci*. 2022. 12:798119. DOI: 10.3389/fpls.2021.798119

References

1. Andriienko, A. L., Semeniaka, I. M., & Andriienko, O. O. (2025). Vykhid krokhmalu i bioetanolu z posiviv kukurudzy zalezno vid poperednykh ta osnovnoho obrobittku gruntu [Exit of starch and bioethanol from corn crops depend.]. *Visnyk ahraranoi nauky*, 2(863), 31–41. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202502-04> (in Ukrainian).

2. Palamarchuk, V. D., Didur, I. M., Kolisnyk, O. M., Aleksyeyev, O. O. (2020) Aspekty suchasnoyi tekhnolohiyi vyroshchuvannya vysokokrokhmalnoi kukurudzy v umovakh Lisostepu pravoberezhnoho [Aspects of modern technology for growing high-starch maize in the Right-Bank Forest-Steppe]. Vynnytsya: Druk (in Ukrainian).

3. Kramarov, S. M., Pashchenko, Yu. M., Andriyenko, A. L., Shevchenko, V. M., Isayenkov, V. V. (2007) Produktivnist i yakist zerna hibrydiv kukurudzy riznykh hrup styhlosti ta yikh batkivskykh form v zalezhnosti vid inkrustatsiyi nasinnya, doz, strokiv ta sposobiv vnesennya dobryv v umovakh pivnichnoho Stepu Ukrayiny [Yield and grain quality of corn hybrids of different maturity groups and their parental forms depending on seed incrustation, doses, timing, and methods of fertilizer application in the northern steppe of Ukraine]. *Ahrokhimiya i Gruntoznavstvo*, 67, 113–121 (in Ukrainian).

4. Kramarov, S. M., Krasnyenkov, S. V., Andriyenko, A. L., Lorynets, F. A., Kotsyuban, A. I. (2006) Vplyv poperednykiv, osnovnoho obrobitku gruntu, doz, strokiv ta sposobiv vnesennya dobriv na produktyvnist ta yakist zerna hibrydiv kukurudzy riznykh hrup styhlosti v umovakh Stepu Ukrainy [The influence of predecessors, basic soil cultivation, doses, timing, and methods of fertilizer application on the productivity and grain quality of corn hybrids of different maturity groups in the conditions of the Ukrainian Steppe]. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, 57, 134–142.
5. Roodt, D., (2022) Multi-omics approach highlights new targets for amino acid composition change in maize kernels, *Plant Physiology*, 188(1), 22–23. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab466>
6. Hasan, A., Al-Musawi, B. (2023) Biochemical study of maize (*Zea mays* L.) genotypes through total seed protein by SDS-PAGE. *Journal of Kerbala for Agricultural Sciences*, 10(4), 119–128. <https://doi.org/10.59658/jkas.v10i4.1300>
7. Palamarchuk, V. D., Vinnik, O. V., Kovalenko, O. A. (2021) Vmist krokhmalu u zerni kukurudzy ta vykhid bioetanolu zalezno vid umov vechetatsiyi ta faktoriv tekhnolohiyi vyroshchuvannya [Starch content in corn grain and bioethanol yield depending on vegetation conditions and factors of cultivation technology]. *Ahrarni innovatsiyi*, 5, 143–156. <https://doi.org/10.32848/ahrar.innov.2021.5.23> (in Ukrainian).
8. Boyko, P. I., Martynyuk, I. V., Tsybal, Ya. S. (2021) Formuvannya pryntsyipiv sivozminy v ahro-systemakh [Establishment of crop rotation principles in farming systems]. *Visnyk ahraranoi nauky*, (99(3), 5–13. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202103-01> (in Ukrainian).
9. Kaletnik, H. M., Palamarchuk, V. D., Honcharuk, I. V., Yemchuk, T. V., Telekalo, N. V. (2021) Perspektyvy vykorystannya kukurudzy dlya enerhoefektyvnoho ta ekolohobezpechnoho rozvytku sil'skykh terytoriy [Prospects for maize use for energy-efficient and environmentally safe rural development]: monohrafiya. Vinnytsya: FOP Kushnir Yu. V. (in Ukrainian).
10. Polyakov, V. I. (2020) Osoblyvosti formuvannya yakisnykh pokaznykiv zerna kukurudzy zalezno vid kompleksu elementiv tekhnolohiyi vyroshchuvannya [Features of maize grain quality formation depending on cultivation technology elements]. *Ahrobiolohiya*, 2, 132–138. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-161-2-132138> (in Ukrainian).
11. Camacho, L. M., de Vries, S., Jørgensen, H. (2019) Nutritional evaluation of maize proteins and amino acids for poultry. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 114295. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114295>
12. Hassenberg, K., Schnabel, R., Rombke, J. (2017) Assessment of maize grain quality for higher nutritional value. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2382–2391. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8198>
13. Zhou, B., Sun, X., Wang, D., Ding, Z., Li, C., Ma, W., Zhao, M. (2019) Integrated agronomic practice increases maize grain yield and nitrogen use efficiency under various soil fertility conditions. *The Crop Journal*, 7(4), 527–538. <https://doi.org/10.1016/J.CJ.2018.12.005>
14. Liu, Z., Zhu, K., Dong, S., Liu, P., Zhao, B., Zhang, J. (2017) Effects of integrated agronomic practices management on root growth and development of summer maize. *European Journal of Agronomy*, 84, 140–151. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2016.12.006>.
15. Vanlauwe, B., Kihara, J., Chivenge, P., Pypers, P., Coe, R., Six, J. (2011) Agronomic use efficiency of N fertilizer in maize-based systems in sub-Saharan Africa within the context of integrated soil fertility management. *Plant and Soil*, 339, 35–50. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0462-7>
16. Kaplan, M., Karaman, K., Kardeş, Y., Kale, H. (2019) Phytic acid content and starch properties of maize (*Zea mays* L.): Effects of irrigation process and nitrogen fertilizer. *Food Chemistry*, 283, 375–380. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.029>
17. Wang, J., Lu, D. (2022) Starch physicochemical properties of normal maize under different fertilization modes. *Polymers*, 15(1), 83. <https://doi.org/10.3390/polym15010083>
18. Semeniaka, I. M., Andriienko, A. L. (2010). Produktyvnist kukurudzy zalezno vid system udobrennya ta chastky soyi v sivozminakh korotkoyi rotatsiyi [Corn productivity depending on fertilization systems and the proportion of soybeans in short rotation rotations]. *Byuleten Instytutu zernovoho hospodarstva UAAN*, 10, 177–183 (in Ukrainian).
19. Pashchenko, Yu. M., Borysov, V. M., & Shyshkina, O. Yu. (2009). Adaptivni i resursozberezhni tekhnolohiyi vyroshchuvannya hibrydiv kukurudzy [Adaptive and resource-saving technologies for growing corn hybrids]. Dnipro: ART-PRES (in Ukrainian).
20. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalenska, S. M., Puzik, L. M., Popov, S. I., Muzafarov, N. M., Bukhalo, V. Ya., et al. (2016) Doslidna sprava v ahronomiyi [Research work in agronomy]: navch. Posibnyk: u 2 kn. – Kn. 2. Statystychna obrobka rezultativ ahronomichnykh doslidzen; Kh.: Maydan, Available at: <https://repo.btu.kharkov.ua//handle/123456789/33533> (in Ukrainian).
21. Hanhur, V., Marenych, M., Yeremko, L., Shostia, A., Puzyr, D., Kyrlytsia, A. (2023). The influence of the methods of main tillage on the yield of maize hybrids in the conditions of the Left Bank Forest Steppe. *Scientific Progress & Innovations*, 26(4), 19–23. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.04>
22. You, D., Tian, P., Sui, P. Short-term effects of tillage and residue on spring maize yield through regulating root-shoot ratio in Northeast China. *Sci Rep*. 2017. Vol. 7 13314). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13624-5>
23. Sleiderink, J., Deru, J. G. C., van der Weide, R., van Eekeren, N. Effects of reduced tillage and prolonged cover cropping in maize on soil quality and yield. *Soil and Tillage Research*. 2024. Vol. 244. Article 106196. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106196>.
24. Totskyy, V. M., Len, O. I. (2020) Produktyvnist hibrydiv kukurudzy zalezno vid systemy udobrennya ta osnovnoho obrobitku Gruntu [The productivity of corn hybrids depending on the fertilization system and basic soil cultivation]. *Selektsiya i nasinytstvo*, 117, 199–205 <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2020.207173>

25. Govaerts, B., Sayre, K. D., & Deckers, J. A minimum data set for soil quality assessment of no-till: Structural and biological indicators. *Soil & Tillage Research*. 2007. Vol. 96(1–2). P. 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.08.003>

26. Zahedi, S. M., Moghaddam, M. R., & Sharifi-Tehrani, A. Effects of tillage levels on soil physical properties and maize yield in a semi-arid climate. *Soil & Tillage Research*. 2018. Vol. 176. P. 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.008>

27. Hatfield, J. L., Prueger, J. H. Role of nitrogen fertilization in crop production and quality: Maize as a case study. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2015. Vol. 178(2). P. 177–188. <https://doi.org/10.1002/jpln.201400350>

28. Yue, K, Li, L, Xie, J, Liu, Y, Xie, J, Anwar S and Fudjoe SK (2022) Nitrogen Supply Affects Yield and Grain Filling of Maize by Regulating Starch Metabolizing Enzyme Activities and Endogenous Hormone Contents. *Front. Plant Sci.* 12:798119. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.798119>

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 26.05.2026