

Міністерство освіти і науки України

Державний заклад

«Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»

Навчально-науковий інститут природничих і аграрних наук

Кафедра біології та агрономії

Чемерис Володимир Михайлович

**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ГІБРИДІВ
КУКУРУДЗИ РІЗНИХ ГРУП СТИГЛОСТІ ЗА РІЗНОЮ ЩІЛЬНІСТЮ
ПОСІВІВ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**


Кваліфікаційна робота

здобувача вищої освіти за другим (магістерським) рівнем

за спеціальністю

201 Агрономія

Особистий підпис _____

Науковий керівник  доцент кафедри біології та агрономії,
канд. с/г. наук Н.Ф.Тимчук

Зав. кафедри

біології та агрономії _____ доцент кафедри біології та агрономії,
канд. с/г. наук Г.О. Євтушенко

Миргород – 2025

ЗМІСТ

		Стор.
ВСТУП.....		3
РОЗДІЛ 1. СТАН ВИВЧЕННЯ ПИТАННЯ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ).....		6
1.1.	Етапи розвитку кукурудзи та елементи технології вирощування в управлінні врожайністю.....	6
1.2.	Особливості прояву біологічних та фізіологічних властивостей рослин кукурудзи.....	14
1.3.	Щільність посівів та врожайність гібридів кукурудзи.....	20
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ		28
2.1.	Ґрунтово-кліматичні умови проведення дослідження.....	28
2.2.	Методика досліджень.....	30
РОЗДІЛ 3. Формування врожайності гібридів кукурудзи різних груп стиглості за різною густрою агроценозів		31
3.1	Розвиток гібридів кукурудзи за різною густрою стояння рослин	31
3.2.	Залежність формування рівня врожайності гібридами кукурудзи від щільності агроценозів.....	41
4.	Біоенергетична оцінка вирощування гібридів кукурудзи за різною щільністю агроценозу.....	46
Висновки.....		49
Рекомендації виробництву.....		51
Список використаної літератури.....		52

ВСТУП

Актуальність проблеми дослідження.

Кукурудза – універсальна універсальна, яка за своїми біологічними властивостями одночасно має високу зернову продуктивність і високий рівень адаптивності до умов вирощування. Завдяки пластичності пристосування до умов середовища гібриди кукурудзи здатні продуктивно використовувати фактори середовища та формувати відповідно до умов ґрунтово-кліматичних зон високий рівень врожайності.

Зміна структурних елементів продуктивності, залежно від взаємодії «генотип- технологія- фактори середовища», обумовлює ступінь адаптивності гібридів кукурудзи до умов вирощування та забезпечує проходження процесу формування врожайності агроценозів.

Фактори адаптованості та стабілізації розвитку рослин в агроценозах сприяють зростанню реакції відгуку гібридів на фактори середовища. В цьому разі відбувається специфічна реакція гібридів на зміну умов вирощування на фоні застосування різних елементів сортової агротехніки в технології вирощування.

В технології вирощування кукурудзи на фоні зміни клімату, проблема отримання сталих рівнів врожайності, проблема стійкості гібридів кукурудзи до впливу абіотичних та біотичних стресів становиться дуже гострою проблемою в агрономії.

Вирощування гібридів кукурудзи визначається дуже складною взаємодією в агроценозі – рослин, клімату, застосованих в технології вирощування агротехнічних заходів.

Досягнення високого рівня врожайності кукурудзи можливо досягти при впровадженні в технології вирощування нових гібридів за різною групою стиглості та удосконаленням технологій вирощування за рахунок

використання елементів сортової агротехніки. Впрактики рослинництва, не завжди високопродуктивні гібриди кукурудзи формують в умовах виробництва високу продуктивність.

Важливим та сильнодіючим фактором, який більшою мірою визначає розкриття гібридами кукурудзи свого генетичного потенціалу продуктивності в технології вирощування, є елемент сортової агротехніки – густота стояння рослин (щільність агроценозу).

Тому з метою досягнення в умовах Лісостепу України високої та сталої врожайності кукурудзи з високою якістю продукції стає актуальним проведення досліджень спрямованих на добір гібридів кукурудзи до умов вирощування та розробка такого елемента сортової агротехніки як густота стояння рослин в агроценозах.

Мета та завдання дослідження

Мета роботи – виконати дослідження по встановленню особливостей формування продуктивності та врожайності агроценозами гібридів кукурудзи різної групи стиглості за різною щільністю посівів стосовно умов Лісостепу України.

Об'єкт дослідження – процес впливу густоти стояння рослин на формування врожайності гібридів кукурудзи з різною тривалістю періоду вегетації.

Предмет дослідження – гібриди, густота стояння рослин в агроценозі, врожайність.

Методи дослідження – під час проведення досліджень, виконання аналізу отриманих результатів досліду використовувалися наступні методи дослідження: емпіричні – польові, лабораторно-польові, теоретичні – аналіз, порівняння, зіставлення, моделювання; статистичні – дисперсійні, кореляційні.

Наукова новизна отриманих результатів –

В умовах Лісостепу України вивчено та підтверджено експериментально проведеним польовим дослідом ефективність застосування в технології вирощування елементу сортової агротехніки – густоти стояння рослин. Встановлена густота стояння рослин, яка забезпечує у гібридів кукурудзи різної стиглості максимального рівня врожайності.

Проведені дослідження спрямовано було на можливість застосування густоти стояння рослин в технологіях вирощування гібридів кукурудзи.

Практичне значення одержаних результатів – розроблений агротехнічний прийом густота стояння рослин може бути застосована з урахуванням підбору гібридів кукурудзи в технологіях вирощування кукурудзи стосовно до ґрунтово-кліматичних умов Лісостепу України.

Отримані результати експерименту ми рекомендуємо використовувати при вивченні при викладанні дисциплін «Рослинництво з основами кормовиробництва», «Землеробство» для студентів спеціальності 201 «Агрономія» Луганського національного університету імені Тараса Шевченка.

Особистий внесок – магістрантом при проведенні дослідів та підготовці особистої магістерської роботи проаналізовані літературні джерела, розроблена схема дослідів, проведена робота з визначення методичних аспектів науково-дослідної справи, проведення та виконання наукових досліджень у польових умовах в сільськогосподарському підприємстві, проведено аналіз одержаних результатів.

Структура роботи. Наведена робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаної літератури. Зміст роботи висвітлено на 61 сторінки основного тексту, який містить 9 таблиць, 6 рисунків, 84 посилань на літературні джерела.

РОЗДІЛ 1. СТАН ВИВЧЕННЯ ПИТАННЯ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ).

1.1. Етапи розвитку кукурудзи та елементи технології вирощування в управлінні врожайністю.

Кукурудза (*Zea mays* L.) відноситься до найпоширених зернових культур у світі. Посівна площа у світі, яку займає кукурудза складає близько 206 млн. га, з річним загальним виробництвом зерна 1,2 млн тонн та середньою врожайністю 5,8 т/га (FAO Statistical Yearbook, 2021). Великі обсяги вирощування у світі обумовлюються широким використанням кукурудзи як продуктом харчування, кормом у тваринництві, як сировиною з метою отримання біопалива, а також достатнім рівнем адаптованості до різних агрокліматичних умов. В той же

Сільськогосподарські виробники при вирощування цієї культури у виробництві зазвичай можуть нести значні втрати врожайності за рахунок недоцільного використання елементів технології, особливо через недостатню густоту стояння рослин, інших агрометодів у керуванні врожайністю гібридів кукурудзи (Haegerle et. al. 2014).

Застосування елементів сортової агротехніки, методів управління ростом, розвитком, врожайністю гібридів кукурудзи становиться найбільш ефективними у виробництві, коли при вирощуванні культури агроном одночасно визнає стадії розвитку рослин та агротехнічні умови вирощування, яка безпосередньо чинять вплив на формування продуктивності рослин та врожайність (Assefa et. al. 2016).

Наприклад, щільність агроценозів гібридів кукурудзи здатна істотно впливати на життєві процеси рослин, що в свою чергу визначає інтенсивність темпів росту, розвитку рослин, терміни наступу основних фаз розвитку, тривалість вегетаційного періоду (Дмитренко та інш., 1968; Якунін і Ткаліч, 2001).

Пагони рослин кукурудзи протягом всього протягом життєвого циклу розвивають нові листки, стебла та бруньки шляхом підтримки органогенної популяції стовбурових клітин у ніші стовбурових клітин або апікальній меристемі пагона (SAM). Ці подвійні функції SAM підтримки стовбурових клітин і органогенезу в кінцевому підсумку відповідають за виробництво всіх надземних рослинних тканин (Takacs et al., 2012).

Стадії росту кукурудзи состоят из 2 фаз: вегетативной и репродуктивной. На вегетативной фазе развиваются листья, корни, стебли и ранние репродуктивные структуры (Salvador and Pearce, 1995).

За період вегетації рослини кукурудзи проходять вегетативні стадії розвитку. Вегетативні стадії кукурудзи ідентифікуються за кількістю воротників, присутніх на рослинах. Метод листової шейки рослин в практиці використовують для визначення стадії вегетативного (V) розвитку кукурудзи. У початковій фазі росту рослин кукурудзи, коли на поверхні ґрунту зв'яляються сходи кукурудзи, а листові воротники ще не сформовані, рослини в цей час знаходяться на стадії VE.

Стадії V1 починається при появі у рослин кукурудзи наявної листової шейки. На рослині листова шейка являє собою світлу смугу, яка має розташування в основі відкритої листової пластинки рослини у тому місці, де листова пластинка має з'єднання зі стеблом рослини. Листя всередині мутовки рослини в цей час не повністю ще розвернуті і без наявної листової шейки. Рослина з наявністю вже трьох воротників відноситься до стадії рослиною V3. Однак на рослинах кукурудзи може бути наявними 5-6 листків (рис. 1).

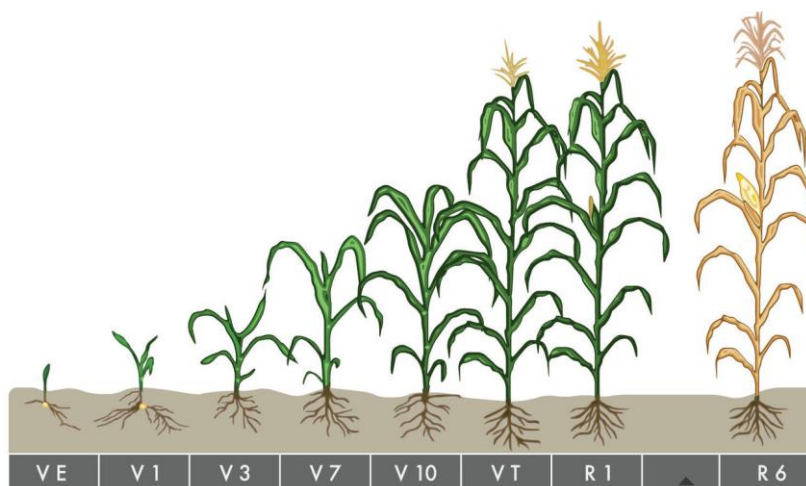


Рис. 1 Стадії розвитку рослин кукурудзи.

Надалі відбувається проходження інших стадій в період вегетації.

Стадії V6-V8 . На цих стадіях над поверхнею ґрунту зростає точка росту. В цей період вегетації у рослин збільшується сприйнятливість до понижених температур, заморозків, пошкодження вітром. На стадії на V7 починається фаза швидкого зростання і подовження стебла рослин кукурудзи. Визначається кількість рядів качану та кількість потенційних качанів на рослині.

Стадії V9-V11 (початок через 6-8 тижнів після стадії VE) рослини кукурудзи характеризуються стійким і швидким зростанням та накопиченням сухої речовини. На стадії V9 нові листи з'являються на рослинах кожні 2-3 дні і розвиваються качани.

Стадія V12-Vnth-V12 рослини кукурудзи досягають висоти близько 120 см і більше. Рослини для задовільнення потреб росту та розвитку інтенсивно поглинають поживні речовини та ґрунтову вологу. Усі листки на рослині повнорозмірні і приблизно половина з них підлягає впливу дії сонячного світла. Розвиваються корішки кореневої системи. На цій стадії потенційна кількість зерен в качану і саме розміри качану все ще визнані. Пошкодження рослин кукурудзи шкідниками, дощем можуть призвести до

зниження кількості зерен. Рослині в цій стадії остенію залишається близько двох тижнів до початку цвітіння V15. Дефіцит вологи та поживних речовин у ґрунті може обумовити зменшення кількості потенційних зерен у ряду качанів, що в свою чергу призведе до зниження врожайності.

Стадія VT – настає приблизно через 9-10 тижнів після початку критичного періоду у рослин кукурудзи, коли потрібно успішне вирощування для перетворення потенційних зерен у життєздатні, що розвиваються зерна. Починається поява пилка. Цвітіння рослин триває 1-2 тижні. На цьому етапі випадіння граду може носити дуже шкідливий характер (Nielsen, 2008; Ikley and Johnson, 2018).

Пройдення рослин кукурудзи за стадіями показує розвиток раннього зародка з відмітними органами, такими як мезокотиль, насінневе і первинне коріння, колеоптіль і пір'нка (попередник стебла та листків рослини). Особливості подовження коренів та мезокотиль рослин кукурудзи становлять представляють собою інтерес у вегетативної фазі. Такі два органи рослини з антагоністичним напрямком росту визначають здатність проростків проростати за різними умовами вирощування: збільшення глибини заробки насіння, посуха, низькі або високі температури повітря під час проростання насіння (Rodríguez and Cassab, 2021).

Проростання та ранній розвиток рослин має вирішальне значення для життєздатності кукурудзи. В ці стадії розвитку подовження коренів та ріст мезокотилію відіграють вирішальну роль у формуванні рослин. Дані агрономічні характеристики показують, що більш вища врожайність часто безпосередньо пов'язані з силою сходів рослин (Cui et al., 2002; McKell, 1972).

Після появи волоті рослини кукурудзи вступають у репродуктивну стадію, яка визначається розвитком та формування насінин.

Шовкування R1. Стадія шовкування одна з найважливіших етапів визначення потенційної врожайності гібридів кукурудзи. Стадія починається з появи тичинок на качані рослини - шовкові нитки. Середній термін цієї стадії – у 50% рослин на посіві кукурудзи з'явилися тичинки. Запилення починається біля основи тичинки і продовжується до її кінчика. Завершується поглинання рослинами калію, інтенсивно відбувається засвоєння рослинами азоту та фосфору.

Стадія R2 Blister – починається через 12 днів після того як тичинки на качанах темніють та висихають. У кожному насінні розвивається зародок. Ядра насіння містять до 85% вологи. Стрес, прояв особливо посухи, на цьому етапі розвитку може знизити потенціальну врожайність гібридів.

Стадія молочної стиглості R3. Насіння починає жовтіти, прозора рідина насіння стає молочно-білою, відбувається накопичення крохмалю. Ядра насіння містять до 80% вологи. Після проходження рослинами цієї стадії наслідки прояву стресу вже не такі серйозні для рослин, але все ж таки можуть призвести до недовиконання насіння (Рис. 2).



Рисунок 2. Заповнення насіння кукурудзи на репродуктивній стадії.

Стадія молочно-воскової стиглості R4. Крохмалиста рідина всередині насіння придбає тістоподібну консистенцію. Ядра насіння містять близько 70% вологи. Насіння починає покриватися зверху вм'ятинами і накопичує

близько 50% своєї максимальної сухої маси. Стрес в цей період може призвести до утворення незаповнених або неглибоких зерен та «плівкових» качанів.

Стадія R5. Все насіння має вм'ятини та містить близько 55% вологи. Початок має яскраво виражений колір: білий, рожевий чи червоний. Заготівля силосу з кукурудзи починається десь у цьому етапі, залежно від бажаної вологості всієї рослини.

Стадія R6. Рослини досягають фізіологічної зрілості, насіння досягає максимальної сухої маси при своїй вологості від 30 до 35% (рис. 3). Визначається загальна врожайність зерна гібридів кукурудзи (Nielsen, 2017; Wuethrich, 1997).



Рисунок 3. Зерновка кукурудзи в репродуктивній стадії R6. Затемнений кінчик, що вказує на те, що зерно досягло повної зрілості.

З урахуванням особливостей проходження етапів необхідно ураховувати застосування агроприйомів, які здатні створити оптимальні умови для проходження в період вегетації цих фаз розвитку рослин.

На початкових етапах розвитку рослини кукурудзи мають слабку кореневу систему і характеризуються невеликою площею листової поверхні, вузлове коріння розвиваються у глиб ґрунту. Слабий розвиток кореневої системи на початковому етапі формування ростових процесів приводить до обмеження наростання надземної маси і на цьому етапі пригнічення рослин кукурудзи від загущення не відбувається. На подальших етапах розвитку у загущених посівах взаємна конкуренція між кореневими системами рослин за кисень та вологу ґрунту значно зростає. Починається пригнічення рослин в агроценозі через нестачу світла (Заверталюк та інш, 2001, Циков, 2003).

З поступовим розвитком рослин за їх стадіями загущення рослин приводить до того, що більш конкурентоздатні рослини починають ускладнювати проходження онтогенетичних процесів інших рослин цього ж самого генотипу. Конкуренція в агроценозах з більшою густиною стояння рослин викликає посилення конкурентних взаємин рослин в агроценозі гібриду, призводить до зниження життєстійкості та продуктивності рослин (Андрієнко, 2003; Філіпов та Романенко, 2005). Незабаром за строком початку викидання волоті в посівах кукурудзи починається конкуренція за світло між рослинами (Войнов, 2012; Циков, 1984).

У загущених посівах відзначається прагнення кореневої системи рослин кукурудзи розвиватися у більш глибоких шарах ґрунту. На останніх стадіях репродуктивного розвитку загущення посівів кукурудзи може призводити до вилягання, оскільки рослина зменшує діаметр стебла. У вегетаційні сухі періоди, при дефіциті випадання опадів і дефіциті запасів вологи в ґрунті, рослини гібридів кукурудзи при збільшенні густоти стояння відстають за інтенсивністю розвитку та темпами приросту сухої речовини від

рослин з меншою густиною стояння. У таких посівах спостерігається раніше відмирання листя на рослинах (Толорая, 1990).

При більш ранніх строках проведення сівби на родючих ґрунтах, тим можливо, перспективніше в технології вирощування є застосування більшої густоти стояння, що забезпечує більш ефективне проходження етапів вегетативного і репродуктивного розвитку кукурудзи. Проведеними дослідженнями показано, що зміна густоти посіву на 10,0% змінює частку урожайності зерна гібридів кукурудзи на 1,0% (Шпаар 1999; 2006).

Також дослідниками на основі виконаних дослідів в умовах північного Степу України зазначається закономірність підвищення врожайності гібридів кукурудзи при проходженні рослинами стадій свого розвитку на фоні підвищення густоти посівів під час за різними водними режимами ґрунту. зі збільшенням густоти стояння рослин в посівах урожайність гібридів кукурудзи підвищувалася у вологі роки та урожайність гібридів знижувалася при зменшенні запасів ґрунтової вологи в сухі роки. У періоди вегетації з достатнім рівнем вологозабезпечення посівів урожайність зерна у ранньостиглих гібридів кукурудзи підвищувалася в міру збільшення густоти стояння рослин з 40 до 70 тис. шт./га, у середньостиглих гібридів кукурудзи при максимальній густоті рослин врожайність була стабільною, у середньопізніх гібридах кукурудзи зниження врожайності відбувалося при підвищенні щільності посіву до рівня 60 тис рослин/га (Пашенко та інш., 2009).

Отже, умови періоду, за якими відбувається проходження рослинами кукурудзи своїх фенофаз, визначають потенційний рівень формування врожайності гібридів.

Проведені раніше дослідження підтверджують цей науковий постулат. Адже виходячи зі стадій генеративного розвитку рослин, насіння кукурудзи являє собою постійний ендосперм і вже розвинений зародок з первинним і

насіненним корінням, мезокотилем, щитком, колеоризою і колеоптилем Коріння та мезокотиль продовжують рости, використовуючи комбінацію поділу клітин у меристемах та подовження клітин у субапикальних областях, які називаються зонами елонгації, які строго контролюються декількома механізмами (Hallauer and Miranda, 2010; Kynast, 2012; Wallace et al., 2014).

Тому, встановлення густоти стояння рослин кукурудзи у технології вирощування потребує вдумливого та творчого підходу. Ефективність застосування агротехнології в цілому так і окремого агротехнічного прийому визначається рядом фактором і в першу чергу відповідністю створюваних агрофонів для проходження рослинами кукурудзи стадій вегетативного та репродуктивного розвитку з урахуванням теплового та водного режимів ґрунту, правильного підбору гібриду для вибраної технології. (Шпаар, 2012; Шлапунов та ін. 2005).

1.2. Особливості прояву біологічних та фізіологічних властивостей рослин кукурудзи.

Кукурудза відноситься до злаків із високим вмістом білка в зерні, доброю і є одним з основних джерел білка в раціоні населення країн одночасно з іншими культурами, які мають високий вміст білку в зерні (Ignjatovic-Micic et al., 2015; Nuss and Tanumihardjo, 2011; Pechanova 2013). З фізіологічних аспектів деякі біоактивні пептиди, виділені з кукурудзи (*Zea mays* L.) та промислових побічних продуктів, мають широкий спектр біологічних ефектів, виступаючи як антиоксиданти, інгібітори ферментів, хіміотерапевтичні протектори інгібіторів росту та індуктори апоптозу в ракових клітинах (Huang et al., 2011; Jin et al., 2016; Wu et al., 2014)

В зерні кукурудзи крохмаль утворюється двома полімерами глюкози: амілозою та амілопектином. Амілоза – лінійна молекула глюкози, що становить близько 25-30% крохмалю. Амілопектин кукурудзи як біохімічна

структура складається з одиниць глюкози, але у розгалуженій формі та становить до 70-75% крохмалю. Крохмаль міститься в рослинних клітинах, утворюючи дискретні структури, які називаються гранулами. Технологічні властивості крохмалю залежать від його походження, а також від співвідношення в зерні амілозу/амілопектин, коли він входить до складу кукурудзяної муки, а також коли його використовують в продуктах харчування в очищеному вигляді. Так наприклад, крохмаль зерна воскової кукурудзи (*Zea mays L.*) утворює прозорі та когезивні гелі, тоді як на відміну від кукурудзи рисовий крохмаль утворює в зерні непрозорі гелі. Деякі автори використовували розчинні в крохмалі розчини як біоматеріал для захисту біологічно активних сполук, присутніх у харчових продуктах, і підвищення безпеки та якості харчових продуктів (Jin et al., 2016; Seetapan et al., 2015; Scheffler et al., 2010).

Завдяки своїм біолого-фізіологічним властивостям рослини кукурудзи володіють широкою генетичною основою стійкості до абіотичного стресу (абіотичних факторів середовища вирощування). Це підтверджується здатністю генотипів кукурудзи вирощуватися за різними кліматичними умовами. Дослідження показують, що всі генетичні покращення генотипів кукурудзи за останні 70 років є результатом змін фізіологічних властивостей рослин, які призвели до підвищення стійкості у отриманих гібридів до абіотичного стресу. Такий підхід вирішує проблему відбору гібридів кукурудзи для технологій вирощування з високою щільністю посіву. Створювані агрофони та добір гібридів до цих агрофонів супроводжуються в агрономії підвищеною стійкістю кукурудзи до стресів, таких як посуха, і дозволяють стабільно отримувати врожайність цієї культури в різних умовах середовища. Одним із способів впливу абіотичного стресу на рослину кукурудзи є зміна балансу джерело-поглинач. Класичними симптомами стійкості до стресів є пурпурове листя та стебла під час формування та

наливу зерна, тоді як симптомами зниження адаптивних властивостей до стресу є передчасне старіння листя та стебел під час наливу зерна (Dhugga 2007; Duvick and Cassman, 1999; Lee and Tollenaar, 2007).

Для формування врожайності зерна кукурудза потребує теплих денних температур в межах від 25°C до 30°C і прохолодних ночей з пониженою температурою повітря (Colless, 1992). В той же час, температури повітря в період вегетації нижче 8°C (або 0°C після фази шовкування) або вище приблизно 40°C зазвичай призводять до припинення розвитку рослин (Birch et al., 2003). Необхідно приймати до уваги, різні гібриди кукурудзи мають різні вимоги до оптимальної температури в період вегетації, і, наприклад, гібриди кукурудзи, які отримано з генотипів «високогірної» кукурудзи, краще адаптовані, ростуть і розвиваються за показниками нижчих температур, ніж гібриди, які адаптовані до стресових «низинних» або «середньовисоких» районів. Температури, які виходять за межі вказаного діапазону адаптації гібридів кукурудзи, можуть негативно впливати на такі фактори, як фотосинтез, транслокація та життєздатність пилку рослин. Високі температури негативно впливають на формування на масу зерна гібридів, призводять до зниження вмісту білка в зерні (Jones et al., 1985; Monjardino et al., 2006).

Відповідно зниження температур та появи стресових умов розвитку, рослини кукурудзи до появи сходів можуть виживати при заморозках до тих пір, поки їх точка росту знаходиться під поверхнею ґрунту, тобто принаймні до фази чотирьох листків (Farnham et al., 2003). Гібриди кукурудзи мають закономірність. Гібриди формують нижчу врожайність у районах із високими температурами періодів вегетації і, навпаки, формують вищий рівень врожайності у регіонах із більш помірним кліматом. Високі температури впливають на врожайність, скорочуючи час до зрілості (таким чином обмежуючи налив зерна) і посилюючи водний стрес (Birch et al., 2003).

Відповідно вологозабезпечення та витримання стресу при дефіциті води, середні втрати врожайності гібридів кукурудзи у світі в умовах посухи можуть бути досить високими (Srinivasan et al., 2004). Зниження випадіння кількості опадів за вегетаційний період є обмежуючим фактором для отримання високої врожайності в посушливих умовах. Кукурудза особливо чутлива до водного стресу на етапі викидання волоті та початку цвітіння, коли встановлюється генетичний потенціал урожайності. Особливо це відбувається у випадку коли дефіцит води збігається з високими показниками випаровування води ґрунтом в середині літа. Стрес у цей час може знизити врожайність зерна на 6-8% за кожен день стресу (Colless, 1992). Grant et al., (1989) довели дослідженнями, що процес формування кількості зернівки визначається водним стресом між 2-22 днями після фази шовкування, а маса зерна була найбільш чутливою через 12-16 днів після фази шовкування. Зменшення кількості насіння в качані обумовлюється рядом факторів, такими як відсутність запилення, аборт сім'язачатків до запліднення та аборт запліднених зачатків (Basseti et al., 1993). Останнє є найбільш вірогідним і, ймовірно, пов'язано зі зниженим надходженням асиміляту до зерна, що розвивається (Zinselmeier та ін., 1995).

В районах достатнього та через надмірного вологозабезпечення вирощування кукурудзи значні щорічні втрати можуть відбуватися в наслідок заболочування (Suszkiw, 1994). Рослини кукурудзи, які тривалий час ростуть на заболочених ґрунтах, на ґрунтах з високим рівнем води, характеризуються зниженням площі листя, хлорозом, зниженням розповсюдження росту коренів у глиб ґрунту, відмиранням коренів. В деяких випадках спостерігається пригнічення рослин кукурудзи та загибель посівів (Lafitte, 2000). Пошкодження кореневої системи кукурудзи зумовлене в основному накопиченням токсичних продуктів (наприклад, молочної кислоти) в результаті відбування анаеробного типу дихання

кореневої системи. Гібриди кукурудзи, що створено на основі тропічних та субтропічних генотипів найбільш сприйнятливі до заболочування на ранній вегетаційній стадії розвитку, та до появи волотей на рослинах.

Молекулярні та клітинні зміни проростків кукурудзи під час короткочасного зволоження широко вивчені проведеними дослідженнями. Дослідження показали, що кукурудза зазвичай демонструє «анаеробну реакцію», у якій синтезується близько 20 білків, в основному пов'язаних з гліколізом або цукрово-фосфатним метаболізмом (Sachs et al., 1996). Коренева пористість, яка сприяє дифузії кисню від надземних частин до занурених коренів, збільшується за рахунок селективної загибелі поверхневих клітин коренів і допомагає продовжити виживання рослин. Відмирання кінчиків коренів, яке характерне для відповіді рослин на аноксію, може підвищити виживаємість рослин і подальше відновлення кореневої системи після усунення заболочування ґрунту шляхом усунення ділянки метаболічно активної тканини (Subbaiah & Sachs 2003). Розвиток додаткових коренів на поверхні ґрунту також важливий для надання стійкості до затоплення рослин (Mano et al. 2005).

Тепловий та водний режими визначають інтенсивність фотосинтетичної діяльності рослин, яка відіграє дуже важливу роль у формуванні продуктивності агроценозів кукурудзи.

Кукурудза має фотосинтетичний шлях, який дозволяє рослинам продовжувати реакцію на підвищення радіації аж до повного сонячного світла в поєднанні з низьким рівнем фотодихання. Максимальний рівень фотосинтезу листя на одиницю площі відбувається між фазами повного розпускання листків на рослинах кукурудзи та початком стадії шовковистості (Lee and Tollenaar. 2007). Утворення та формування зерновок в качані залежить від інтенсивності фотосинтетичної діяльності рослин лише після закінчення фази цвітіння. Суха речовина продовжує накопичуватися в

вегетативних органах рослин кукурудзі і після закінчення фази цвітіння (Fageria et al., 2006; Lee and Tollenaar 2007). При пригніченні процесу цвітіння значно посилюється вегетативний ріст; гібриди кукурудзи, які вирощуються в довгі літні дні в умовах помірного вологозабезпечення мають затримку цвітіння і, як наслідок, характеризуються більшим вегетативним ростом (більше накопичення вегетативної маси) За таким накопиченням сухої речовини відбувається більше накопичення цукру в стеблах рослин (високий вміст цукру). Стиглі рослини кукурудзи, які вирощуються в умовах помірного вологозабезпечення та оптимального теплового режиму приблизно 50% загальної сухої речовини розподіляється на зерно. Завдяки цього, пропонують рослини кукурудзи використовувати у виробництві біопалива (Dhugga, 2007).

Без сумніву інтенсивність процесів фотосинтезу рослин визначається площею листкової поверхні, кількістю та темпами утворення листків на рослинах кукурудзи.

Ефективність утворення листків на рослинах в свою чергу визначається умовами середовища, агрофонами які є при проходженні рослинами стадії вегетативного розвитку протягом 42-60 днів після проведення сівби. Це стадія – є стадія швидкого росту та лінійного накопичення сухої речовини органами рослини: як кореневої системою, так і листями. Темпи та строки подовження міжвузлів на стеблі рослин сприяють появі нових листків кожні три-чотири дні. Згодом подовження нижніх міжвузлів сприяє утворенню черешкоподібної структури, яка піднімається вгору крізь піхви листків.

Наприкінці вегетативної стадії починає з'являтися 16-й лист рослин, волоть на рослині досягає повного розміру, хоча й ще не з'являється повністю. Перші 5-6 нижніх листків рослин можуть старіти і перестати функціонувати. Повітряні корені зазвичай виходять з нижніх, надземних вузлів рослини. Ступінь утворення повітряних коренів залежить від

генотипу гібрида, від норми висіву, норм та доз живлення. Розвиток стебла з пазушних бруньок залежить від особливостей гібриду. Деякі гібриди кукурудзи утворюють небагато кущів або взагалі їх не утворюють за будь-яких умов, а деякі гібриди формують багато кущів за будь-яких умов вирощування та погодних умов. Дослідами доведено існування кореляції між кінцевою кількістю листків, які утворилися на рослині, і в період розвитку рослин між посівом і фазою шовковистості. Тривалість вегетативного розвитку пов'язана з тепловим фактором між термінами появи послідовних кінчиків листя (так званий філокрон). Тривалість вегетативного розвитку рослин залежить від температури в цю стадію росту та розвитку гібридів, біологічних властивостей самих гібридів, ґрунтово-кліматичної зони вирощування кукурудзи (Тоjo Soler et. al., 2005).

Рівень накопичення біомаси вимірюється і визначається такими параметрами, як площа листя, кількість листків на рослині, вага пагонів/коренів, висота рослини. Методи, які використовуються для кількісної оцінки накопичення сухої речовини включають низку індексів: швидкість росту гібрида, відносна швидкість росту, чиста швидкість асиміляції, співвідношення площі листя та індексом площі листя (LAI) (Fageria et. al., 2006).

Поліпшення врожайності зерна кукурудзи тісно пов'язане та визначається затримкою старіння листя на рослинах гібридів, що призводить до вищих показників LAI і кращого виконання зерна в качанах (Valentinuz and Tollenaar, 2004; Subedi and Ma, 2005).

1.3. Щільність посівів та врожайність гібридів кукурудзи.

В загальному виробництві зернових культур кукурудза складає високий процент виробництва зерна. Успішне та стабільне виробництво кукурудзи на високому агротехнічному фоні є ключем до продовольчої

безпеки любої країни (Hallauer at. el., 2009; Ribault at. el., 2009 Wallace at. el., 2014).

Приймаючи в рослинництві до уваги виникаючі проблеми зміни клімату та проблеми відсутності продовольчої безпеки в багатьох країнах світу, в основному через прояву водної та ветрової ерозії ґрунтів, посухи, втрати орних земель, можливо-прогнозованого збільшення населення планети приблизно до дев'яти мільярдів до 2050 року, очікується, що виробництво продуктів харчування з кукурудзи сприятиме пом'якшення серед населення прояву голоду (Brooks at. el., 2009; Grassini at. el., 2015; Namidov at. el., 2018).

Фізико-механічні властивості, родючість ґрунтів України, погодно-кліматичні умови в більшості областях держави в значній мірі підходять для вирощування кукурудзи, з якої виготовляються високоякісні продукти харчування у достатній кількості для задоволення внутрішніх потреб населення та експортного потенціалу.

Оптимізація виробничих витрат вирощування кукурудзи, вивчення ринкових умов для реалізації продукції з виникаючих проблем у сільськогосподарському виробництві стає доцільним вивчати розробку модельних технологій вирощування сільськогосподарських культур у системах, що самовідновлюються, які є найбільш придатними для ефективного застосування законів природи та найкращого використання біокліматичних ресурсів у технологіях вирощування, сприяючи підвищенню врожайності кукурудзи, збереженню та покращенню родючості ґрунтів, раціональному використанню продуктивних опадів та вологи (Schwartz at. el., 2022).

Перед науковцями стає питання вирішення проблеми з розробок різних агростратегій, котрі дозволять передбачити та запобігти важких наслідків при стресових ситуацій за рахунок створення більш адаптованих до умов

вирощування гібридів кукурудзи та впровадження у виробництво як технологій так і окремих елементів сортової агротехніки кукурудзи. Такий підхід забезпечить, зниження втрат врожайності від складних погодних умов вегетації, здатність вирощувати гібриди кукурудзи в різних умовах та регіонах, де вони зможуть формувати високу та стабільну врожайність, а в окремих регіонах можуть вирощувати в якості поживних посівів. За оцінками, втрати врожаю кукурудзи у світі становлять близько 20%. Наприклад, у Сербії, при високому рівні агротехніки вирощування, втрати врожайності кукурудзи становлять від 1,5 до 2,2 т/га через втрату близько 30% рослин за період від посіву до збору врожаю внаслідок не дотримання густоти стояння рослин перед збиранням (Mandić et al., 2016).

Наявність специфічної реакції генотипів зміни середовища вирощування, знаходить своє відображення в екологічній стійкості рослинництва та сталого виробництва рослинницької продукції (Кильчевський и Хотилева, 2009).

Елемент сортової агротехніки як щільність посіву, збільшення густоти рослин у посівах відіграє значну роль у адаптованості агроценозів до умов вирощування, збільшенні врожайності зерна кукурудзи (Fahad et al., 2020).

У технології вирощування важлива продуктивність не однієї окремо взятої рослини, а більш важливі показники збирання з одиниці площі (врожайність). Зріджені посіви зі зниженою густиною стояння рослин можуть забезпечити високу індивідуальну продуктивність рослин, але за недостатньої кількості рослин на одиниці площі можуть різко знижувати врожайність (Циков, 2003).

На думку ряду інших авторів, найбільша врожайність зерна обумовлюється не максимальною продуктивністю окремо взятої рослини в посіві, а найбільш оптимальним поєднанням в посівах індивідуальної продуктивності рослин з густиною у конкретних ґрунтово-кліматичних

умовах та технологіях вирощування. Правильний вибір густоти стояння в технології вирощування може сприяти підвищенню врожайності на 10-30% (Заверталюк та Мареніченко, 2003; Якунін та Заверталюк, 2003).

Штирбу та Дадю (1989) за даними своїх дослідів стверджують, що при збільшенні густоти стояння рослин в посівах від мінімальної густоти стояння до оптимальної густоти стояння рослин, у відповідності до вимог гібрида к умовам вирощування, індивідуальна продуктивність рослин кукурудзи зменшується незначно.

Деякі дослідники вважають, що гібриди, які створені селекціонерами для вирощування в загущених посівів рослин, толерантні до збільшення густоти стояння рослин у посівах. Для отримання максимальної врожайності в таких посівах потрібно збільшити щільність посіву 5-10 тис. рослин на 1 га. При подальшому збільшенні кількості рослин на одиниці площі ступінь зниження продуктивності рослин залежить від морфобіологічних особливостей рослин гібридів, забезпеченості рослин вологою, сонячною радіацією, іншими факторами середовища вирощування. Така тенденція відзначається у посівах до рівня, при якому зменшення продуктивності рослин кукурудзи не відбуватиметься пропорційно до збільшення густоти стояння рослин. На цьому етапі зростання густоти стояння рослин продуктивність посівів із одиниці площі стає максимальною. Такий рівень густоти стояння рослин визначається як оптимальний у посівах гібридів.

При оптимальній густоті стояння рослин найкраще формується продуктивність і врожайність посівів, найбільш повно та раціонально використовуються рослинами запаси вологи та поживних речовин ґрунту, більш повною мірою забезпечується висока фотосинтетична діяльність листової поверхні рослин кукурудзи, формується максимальна врожайність.

Однак, при меншій густоті стояння (зріджені посіви) рослини повністю використовують поживні речовини і вологу ґрунту, оскільки їх

коренева система недостатньо пронизує родючий шар; формується знижений рівень урожайності, хоча продуктивність окремої взятої рослини такого посіву може бути досить високою. При сильному загущенні посівів рослини кукурудзи затіняють та пригнічують одна одну. Це зумовлює зменшення кількості утворених качанів на 100 рослин кукурудзи та сприяє підвищенню передзбиральної вологості зерна. З цієї причини продуктивність рослин у посівах знижується через недостатній розвиток кореневої системи, уповільнення ростових процесів, зниження інтенсивності процесів фотосинтезу. Прояв таких факторів негативно позначається на формуванні продуктивності рослин і спричиняє зниження кількісних показників маси зерна з качана, маси 1000 насінин (Мареніченко, 2006; Румбах, 2011; Фолькман, 1983).

При сильній негативній кореляційній залежності ($r = -0,94$) и затримки розвитку та формування качану збільшення густоти стояння рослин посівів призводить тим паче не до високих показників зміни вмісту сухої речовини в рослинах кукурудзи. В той же, при недотриманні агротехнічних вимог технологій вирощування, якості виконання агроприйомів, як зростання так і зниження щільності посів може обумовлювати зниження економічної ефективності вирощування кукурудзи (Лужинський и др., 2019).

Для формування рекомендованої щільності посівів гібридів кукурудзи необхідно одержувати, за рахунок правильного застосування заходів агроприйомів, дружні сходи посівів. Така мета в агрономії досягається за рахунок однорідного посіву.

Однак в технології вирощування є необхідним враховувати баланс між однорідністю посіву та густотою стояння рослин в посіві. Для кожної окремої групи стиглості гібридів кукурудзи використовують рекомендовану густоту стояння рослин. Для більш ранніх гібридів кукурудзи встановлюють , більш вищу густоту стояння рослин. Для більш пізніших гібридів щільність

рослин в посівах встановлюється на меншому рівні (Барсуков, 1988; Ткаліч, 1999).

Югенхеймер (1979) за аналізом наукових досягнень зазначав, що оптимальну густоту стояння рослин кукурудзи на одиницю площі посіву встановлюють залежно від запасів вологи в ґрунті перед сівбою, даних про середньорічну кількість опадів за вегетаційний період при врахуванні господарсько-біологічних особливостей гібридів кукурудзи. При вирощуванні кукурудзи спостерігається чітка закономірність між підвищенням продуктивності гібридів кукурудзи та збільшенням густоти стояння рослин. У вологі роки спостерігається зростання врожайності при підвищенні щільності посівів кукурудзи. На фоні мінімальних запасів ґрунтової вологи в сухі роки спостерігається зниження врожайності кукурудзи при підвищенні щільності посівів гібридів.

В технології вирощування кукурудзи важливим фактором є правильне визначення з урахуванням умов вирощування встановлення оптимальної густоти посіву гібрида кукурудзи за якої гібрид досягає максимально стійкої врожайності (Tokatlidis *et al.*, 2013).

Так як, реакція посівів кукурудзи на густоту посіву залежить від генотипу гібрида, його біологічних властивостей, то стійкі до щільності рослин в посівах гібриди кукурудзи мають раціональнішу архітектуру рослин, кращу фотосинтетичну здатність, кращу ефективність використання водних, світлових та поживних ресурсів, кращу здатність формувати більшу висоту врожайність (Djaman *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2013).

Вирощування гібридів кукурудзи без урахування рекомендованої густоти стояння рослин приводить до того, що низька або висока густота посівів суттєво знижують урожайність зерна кукурудзи. Зі збільшенням щільності посівів посилюється внутрішньовидова конкуренція рослин за фактори життя: вологу, простір, поживні речовини, світло, викликаючи

абіотичний стрес у рослин гібрида і тим самим знижуючи продуктивність кукурудзи та ефективність використання ресурсів. Такий підхід у технології вирощування суттєво сприяє зниженню продуктивності та врожайності (Du et. al., 2021).

У цих умовах вирощування компоненти продуктивності гібридів кукурудзи, особливо кількість зерен та маса зерна качану, лінійно знижуються, що призводить до зниження продуктивності однієї рослини і зниження продуктивності рослини не завжди компенсується врожайністю всього посіву (Mylonas et. al., 2020; Tang et. al., 2018).

До того ж, більш високий рівень густоти стояння рослин призводить до зниження індексу врожаю та загальної біомаси з рослини, збільшує процент безплідності качанів і кількість вилягання стебел в посівах (Jiang et. al., 2018; Ma et. al., 2020; Mandić et. al., 2018).

В технології вирощування густота посіву рослин кукурудзи є найважливішим агрономічним прийомом, оскільки вона визначає компоненти продуктивності і рівень врожайності. На фоні різної щільності посіву можливе зниження структурних компонентів продуктивності рослин і збільшення врожайності зерна (Jia et. al., 2018; Zhang et. al., 2015).

Створення гібридів кукурудзи та технології вирощування культури повинні бути спрямовані на стійко стабільне виробництво кукурудзи у бік збільшення густоти посіву рослин. Густота стояння посівів кукурудзи продовжуватиме розширюватись як один із можливих факторів технології з можливостей вкладу агротехнічних рішень у підвищення врожайності цієї культури. Однак збільшення густоти стояння рослин в посівах має і свої обмеження, так як перевищення оптимальної густоти стояння рослин може знизити інтенсивність та ефективність запилення рослин кукурудзи, врожайність і такі компоненти продуктивності рослин, як довжина качану, кількість зерен у качані, вага зерен у качані, маса вага 1000 насінин і може

збільшити стрес та конкуренцію між рослинами за ґрунтову вологу, поживні речовини, освітлення. Встановлено, що гібриди, які толерантні до більш високих рівнів щільності посівів, мають кращу архітектуру рослин, у більш високий рівень фотосинтетичної діяльності, вищу стабільність врожайності та вищий рівень ефективності використання ресурсів середовища вирощування (Berzsenyi and Tokatlidis, 2012; Cerrudo et al., 2020; Singh et al., 1999).

Взаємозв'язок умов вегетаційного періоду та щільності рослин посіву за врожайністю зерна кукурудзи свідчить, що вибір найбільшої щільності посіву виправданий у метеорологічно сприятливі роки вирощування цієї культури. Враховуючи вартість насіння гібридів кукурудзи, є дуже важливим рекомендувати густоту стояння рослин посівів для кожного гібриду окремо, особливо якщо це є нові гібриди, які мають бути впроваджені у виробництво.

При плануванні та встановленні оптимальної густоти стояння посіву кукурудзи агроному необхідно враховувати фактори (кліматичні умови, характеристики гібридів, рівень землеробства у господарстві, агротехнології, які застосовуються в зоні вирощування культури) для оптимізації густоти посіву шляхом комплексного проведення спостереження.

Різноманітні умови середовища вирощування викликають більшу частину змін врожайності зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості. Щоб рекомендувати гібрид кукурудзи для посіву в конкретних погодних умовах вирощування, крім встановлення ефекту взаємодії між рослинами гібрида та умовами середовища, необхідно також досягти найкращої його врожайності (Babić et al., 2010; Yue et al., 2022).

При цьому, у виробництві кукурудзи необхідно враховувати, що гібриди кукурудзи різняться за своєю реакцією на діапазон можливих температур повітря періоду вегетації і не завжди зрозумілими ознаками

реакції на зміну метеорологічних факторів (Collins at. el., 2008; Ali at. el., 2015).

У зв'язку з такою реакцією рослин на зміну умов середовища, в дослідженнях та виробництві надається значна увага формуванню стійких до стресових умов посіві рослин за рахунок створення агроприйомами умов найбільш сприятливих для формування кукурудзою ефективною кореневою системою під час росту та розвитку рослин (Otegui and Bonhomme, 1998).

Застосування в технології вирощування агроприймів, які дозволяють керувати процесами формування агроценозів кукурудзи стійких до стресів за рахунок технологічних чинників, сприяє підвищенню реалізації рослинами гібридів свого генетичного потенціалу продуктивності та врожайності на фоні різної густоти стояння рослин в посівах (Князюк, 2005).

Здатність агронома виконувати аналізування погодних умов дає змогу ефективно використовувати природні ресурси в технологіях вирощування кукурудзи за різними погодно-кліматичними зонами (Каленська та інш., 2018).

Визначення оптимальної густоти стояння рослин посівів кукурудзи має здійснюватися комплексно з урахуванням екологічних, генетичних та агротехнічних факторів вирощування та одночасно з урахуванням біологічних властивостей гібридів та особливостей проходження рослинами стадій свого росту та розвитку. Отже, щільність посіву кукурудзи з урахуванням таких факторів є одним із вирішальних факторів формування складових продуктивності рослини важливою передумовою отримання високої врожайності зерна гібридів кукурудзи (Дзюбецький и Хаджиматов, 1991; Дьєрффи и Боржени, 1996; Карпенко, 1986; Mandić at. el., 2024).

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови проведення дослідження

Дослідження виконувалися ТОВ «Гадяцька агротехніка» Миргородського району полтавської області.

У дослідженні оцінювався вплив щільності посівів на структурні елементи продуктивності, на врожайність гібридів кукурудзи різних груп стиглості.

На території господарства переважними ґрунтами є чорноземи, які володіють сприятливими водно-фізичними, фізико-хімічними та агрохімічними властивості, які в повній мірі відповідають умовам вирощування сільськогосподарських культур і в тому числі для вирощування кукурудзи.

Ґрунти на території фермерського господарства представлені типовим чорноземом, розвинутим на карбонатному лесі. Такі ґрунти відносяться до типу земель широких рівнинних водороздільних просторів і річкових терас.

Ґрунт дослідної двома основними типами: чорноземом потужним малогумусним, слабковилугованим, легкосуглинковим.

Основні ґрунтоутворні породи ґрунту у господарстві є лес і мергелистий суглинок з прошарком піску. За механічним складом ґрунти легкі. Механічний склад ґрунту сприяє якісній його обробці. Вологоємкість ґрунту невелика і знаходиться в межах (37 %-44 %)

Потужність гумусового горизонту ґрунту в господарстві становить від 64 см до 81 см. Ґрунт містить гумусу 2,10% (за Тюріном). Ґрунт має реакцію ґрунтового розчину рН 5,4. Гідролітична кислотність ґрунту становить 4,75 мг×екв на 100 г ґрунту. Сума поглинання основ 11,1 м.екв. на 100 г ґрунту. Ступінь насиченості ґрунту основами рівняється 69,8 %. Відповідно вмісту поживних речовин дослідної ділянки: азот (N/NO₃) – 3,79 мг/100 г ґрунту, рухомий фосфор (P₂O₅) – 15,1 мг/100 г ґрунту, обмінний калій (K₂O) – 11,3 мг/100 г ґрунту (за Чириковим).

Кількість днів з опадами в середньому за рік складає опадів 128-181діб. Протягом останніх 10 років кількість опадів коливалась в межах 300-700 мм. Вірогідність прояву бездощового періоду протягом 20 днів може становити 65-85%.

Для отримання сходів дрібнонасінневих культур, особливо таких, які характеризуються досить довгим періодом проростання насіння, необхідно важливо мати на глибині загортання насіння достатній запас ґрунтової вологи.

Вегетаційний період вирощування сільськогосподарських культур з середньодобовими температурами повітря вище $+5^{\circ}\text{C}$ триває близько 200–210 діб. Період без морозів триває 160–180 діб.

Сума позитивних температур району, де розташовано господарство, вище $+5^{\circ}\text{C}$ становить близько 3100°C , середньорічна температура повітря рівняється в межах $+7,2^{\circ}\text{C}$.

Дати переходу температури повітря вище та нижче через 0°C , залежно від періоду року, спостерігається в середньому 22 березня і 25 жовтня. Перший заморозок спостерігається в середньому близько 25-30 вересня, а останній в межах 15-20 травня. Глибина промерзання ґрунту доходить в середньому до шару ґрунту 65,0 см, температура на глибині промерзання ґрунту 10-20 см рівняється $1,5-17,5^{\circ}\text{C}$.

2.2. Методика досліджень.

Дослідження виконували в польовій сівозміні.

Попередник – озима пшениця.

В досліді висівали три гібрида кукурудзи за різною групою стиглості.

Гібрид кукурудзи Зоряний. Група стиглості гібрида – ранньостигла (ФАО 190). Тривалість періоду "сходи-повна стиглість" 95-100 діб. Має швидкий початковий ріст. Характеризується холодостійкістю та високою

посухостійкістю. Має високу стійкість до летючої та пухирчастої сажки, до стеблових гнилів. Володіє високою стійкістю до кукурудзяного метелика.

Гібрид Вектор МВ. Гібрид відноситься до середньоранньої групи стиглості (ФАО 270). Тривалість періоду "сходи-повна стиглість" 110-112 діб. Має швидкий початковий ріст. Ступінь холодостійкості та посухостійкості високий. Має високу стійкість до летючої та пухирчастої сажки, до стеблових гнилів. Володіє високою стійкістю до кукурудзяного метелика.

Гібрид кукурудзи Збруч. Гібрид відноситься до середньої групи стиглості (ФАО 310). Гібрид інтенсивного типу з високою потенційною врожайністю. Характеризується інтенсивною вологовіддачею зерном. Посухостійкість та жаростійкість гібрида – висока. Гібрид стійкий до вилягання та ламкості стебла. Характеризується стійкістю рослин при перестой.

В досліді гібриді вивчали за наступними густотами стояння рослин перед збиранням:

- ✓ 50 тис./га (контроль);
- ✓ 65 тис./га;
- ✓ 80 тис./га.

Схема досліді представлена в таблиці 1.

Таблиця 1.

Схема досліді.

Гібрид	Передзбиральна густина стояння рослин, тис./га		
	50 (контроль)	65	80
Зоряний (контроль)	50	65	80
Вектор МВ	50	65	80
Збруч	50	65	80

Розміщення ділянок досліді систематичне, рендомизоване. Облікова площа ділянки складає 50,0 м². Варіантів в досліді 9. Повторень – три.

В досліді обліки і спостереження за ростом та розвитком рослин виконували відповідно до до існуючих методик польових дослідів в рослинництві.

В системі основного обробітку ґрунту після збирання озимої пшениці застосовували систему поліпшеного зябу з пошаровим обробітком ґрунту. Прийом основного обробітку ґрунту оранка на глибину 27-30 см.

Передпосівний обробіток ґрунту весною складався з проведення двох культивацій. Перша культивація виконувалася в агрегаті з важкими борнами для вирівнювання ґрунту. Глибина передпосівної культивації 8-10 см. Глибина заробки насіння гібридів кукурудзи 8-10 см.

Кукурудзи висівали з шириною міжряддя 70 см.

РОЗДІЛ 3. Формування врожайності гібридів кукурудзи різних груп стиглості за різною густиною агроценозів

3.1. Розвиток гібридів кукурудзи за різною густиною стояння рослин.

Гібриди кукурудзи мали різну реакцію на застосування в технології вирощування густоти стояння рослин від 50 до 80 тис. рослин/га.

Ранньостиглий гібрид Зоряний мав найменшу тривалість періоду в своєму розвитку «сходи – цвітіння» - 59 діб (табл. 2).

Таблиця 2.

**Тривалість періоду вегетації гібридів кукурудзи на фоні густоти
стояння рослин, діб, в середньому за 2023-2024 рр.**

Гібрид	Густота стояння рослин, тис./га	Тривалість періоду «сходи- цвітіння»	Тривалість періоду «кінець цвітіння- повна стиглість»	Тривалість періоду вегетації
Зоряний (контроль)	50 (контроль)	59	37	96
	65	59	41	100
	80	59	44	103
Вектор МВ	50	64	46	110
	65	64	49	113
	80	64	51	115
Збруч	50	69	50	119
	65	69	51	120
	80	69	51	120

Найбільшу тривалість цього періоду 69 діб мав середньостиглий гібрид Збруч. Підвищення густоти стояння рослин не чинило вплив на зміну тривалості періоду «сходи – цвітіння» у гібридів різною групи стиглості.

Зміна тривалості періоду вегетації на фоні підвищення густоти стояння рослин обумовлювалося зміною тривалості періоду «кінець цвітіння – повна стиглість». Зміна тривалості цього періоду в найбільшій мірі спостерігалася у ранньостиглого гібриду Зоряний. Зростання щільності посіву від 50 до 80 тис./га сприяло збільшенню тривалості періоду «кінець цвітіння – повна стиглість» на 4-7 діб. В меншій ступені зростання щільності посівів чинило вплив на продовження тривалості цього періоду розвитку у середньораннього гібриду кукурудзи Вектор МВ. Продовження тривалості від збільшення густоти стояння знаходилося в межах 3-5 діб. Продовження фаз розвитку від цвітіння до початку повної стиглості збільшувало тривалість

періоду вегетації у ранньостиглого гібриду Зоряний до 110-103 доби, у середньораннього гібрида Вектор МВ до 113-115 діб.

Іншу реакцію мав середньостиглий гібрид Збруч. Підвищення щільності посіву рослин не приводило до зміни періоду вегетації у цього гібрида. Тривалість періоду гібрида Збруч становила 119-120 діб. Гібрид показав пластичну реакцію за зміною тривалості періоду вегетації при зміні умов вирощування.

У гібридів кукурудзи Зоряний (ФАО 190) и Вектор МВ (ФАО 210) встановлена висока позитивна кореляційна залежність між густиною стояння рослин посівів та тривалістю періоду «кінець цвітіння – повна стиглість» – $r = 0,81 - 0,88$. Така кореляційна залежність показує можливість управління агроценозами гібридів Зоряний та Вектор МВ за рахунок зміни густоти стояння рослин.

Іншим кількісним показником гібридів, на який чинить вплив густина стояння агроценозу, є висота рослин кукурудзи.

У різні етапи проходження рослинами гібридів органогенезу інтенсивність розвитку та зростання рослин кукурудзи проходило в наших умовах нерівномірно. Початок вегетації гібридів характеризувався сповільненим ростом рослин гібридів ранньої та середньоранньої групи стиглості (Зоряний та Вектор МВ) до початку формування на рослинах 8-9 листя, у середньостиглого гібриду Збруч до початку появи 9-10 листів на рослинах. Після проходження гібридами цих фаз розвитку відзначався інтенсивний ріст рослин кукурудзи.

Різниця за висотою рослин на різній густоті стояння рослин почала спостерігатися у фазі розвитку кукурудзи 11-12 листків. Підвищення густоти стояння рослин обумовила в фазу розвитку 11-12 листків підвищення висоті рослин у 2,5-3,9 см у гібрида Зоряний, на 2,8-3,0 см у гібрида Вектор МВ

(табл. 3). В цю фазу розвитку не спостерігалось різниці за висотою рослин при загущенні посівів у гібрида Збруч.

Таблиця 3.

Вплив щільності посівів на висоту рослин гібридів кукурудзи, см, в середньому за 2023-2024 рр.

Гібрид	Густота стояння рослин, тис./га	Фаза розвитку рослин		
		11-12 листків	цвітіння	молочно-воскова стиглість
Зоряний (контроль)	50 (контроль)	122,4	257,4	258,1
	65	124,9	258,0	259,1
	80	126,3	269,5	270,0
Вектор МВ	50	123,7	261,4	262,5
	65	126,5	267,7	268,8
	80	126,7	278,7	279,2
Збруч	50	115,7	212,2	212,9
	65	114,9	216,9	217,3
	80	117,5	220,0	220,9
НІР _{0,95} см				
густота стояння рослин		2,1	3,2	3,7
гібрид		2,7	3,4	3,1

У фазу цвітіння максимальної висоти рослин досягав середньоранній гібрид Вектор МВ, висота рослин сягала максимальної висоти 262,5-279,2 см. Загущення посівів приводило до зростання висоти рослин у гібрида на 6,3-16,7 см. Мінімальна висота рослин в досліді була у середньостиглого гібрида Збруч, вона знаходилася в межах 212,9-220,9 см. Гібрид Збруч в меншій мірі мав приріст рослин у висоту при загущенні посіві ніж гібрид Вектор МВ. Приріст рослин за висотою у гібрида Збруч при збільшенні густоти стояння посівів від 50 до 80 тис. /га становив 4,7-7,8 см. Збільшення густоти стояння рослин до 65 тис./га не приводило до зростання висоти рослин

ранньостиглого гібрида Зоряний. Висота рослин знаходилась на рівні густоти стояння 50 тис./га 257,4-258,0 см. Гібрид підвищував висоту рослин на 12, см при зростанні густоти стояння до 80 тис./га. Найбільша висота рослин гібридів спостерігалась у фазі цвітіння качанів.

Зміна висоти рослин у фазі цвітіння за густотою відображено на рис. 4.

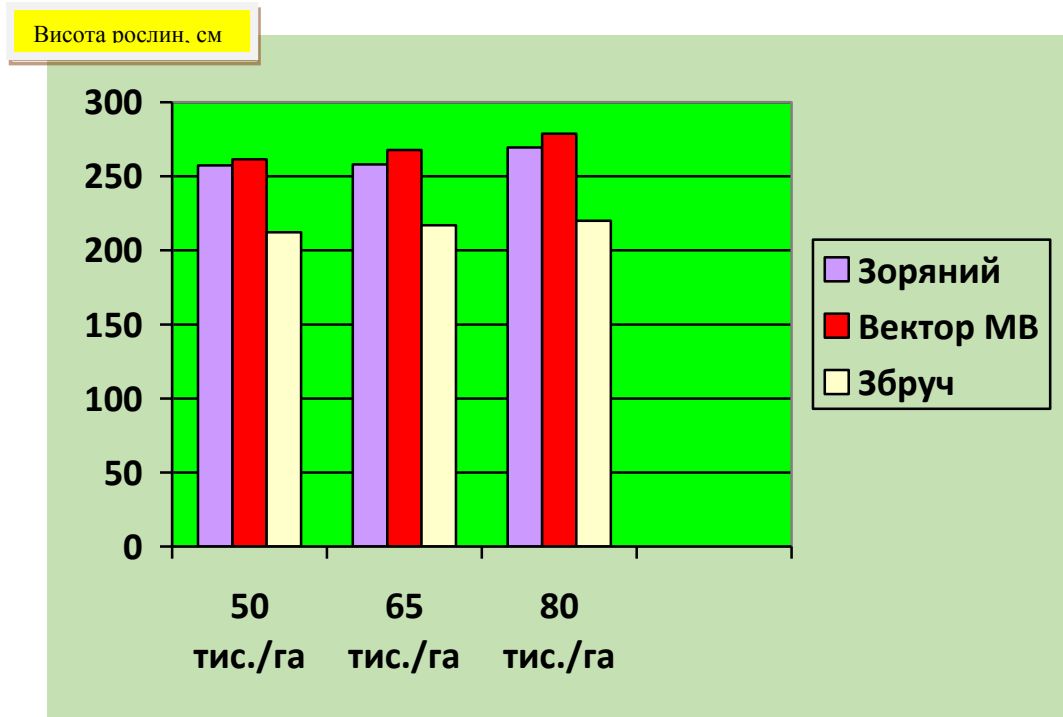


Рисунок 4. Висота рослин гібридів кукурудзи у фазі цвітіння при різній густоті стояння рослин в агроценозі, см, в середньому за 2023-2024 рр.

Рослини гібридів до цієї фази розвитку накопичували необхідний запас асимілянтів для подальшого проходження генеративної стадії і розвитку репродуктивних органів. Вегетаційний період гібридів кукурудзи поділявся на два цикли розвитку рослин. До першого циклу відносилося формування переважно вегетативних органів. Під час другого циклу відбувалося в основному формування репродуктивних органів.

На генеративній стадії діяльність рослин зосереджується на більш швидкому формуванні необхідної кількості сухої речовини і зростання

рослин у висоту зупиняється. Висота рослин гібридів у фазі цвітіння та молочно-воскової стиглості була на одному рівні.

Зміна висоти рослин обумовлювалась реакцією генотипу кукурудзи на зміну умов вирощування, яка створювалась за рахунок різної густоти стояння рослин.

Висота прикріплення качанів на рослинах кукурудзи є показником технологічних властивостей стосовно придатності посівів кукурудзи до проведення механізованого збирання. Дослідження показали, що висота прикріплення качанів у гібридів визначалася безпосередньо висотою рослин та змінами висоти рослин як наслідок підвищення густоти стояння рослин гібрида в агроценозах.

Проведені дослідження показали, що підвищення густоти стояння рослин агроценозів від 50 до 80 тис./га забезпечувало збільшення висоти прикріплення качанів на рослинах у гібрида Зоряний на 1,4-4,2 см (1,7-4,4%), у гібрида Вектор МВ на 2,2-3,7 см (2,4-4,0%), у гібрида Збруч на 1,6-3,7 см (2,1-4,9 %) (табл. 4).

Таблиця 4.

Висота прикріплення качанів на рослинах кукурудзи на фонах різної густоти стояння агроценозу, см, в середньому за 2023-2024 рр.

Гібрид	Густота стояння рослин, тис./га		
	50 (контроль)	65	80
Зоряний (контроль)	95,3	96,9	99,5
Вектор МВ	93,4	95,6	97,1
Збруч	75,6	77,2	79,3

Більш значне підвищення висоти прикріплення качанів відмічено у гібридів за густотою стояння рослин 80 тис./га. Приріст висоти прикріплення качанів на цій густоті у гібридів рівнявся 4,0-4,9%. Максимальна висота прикріплення качанів на рослинах 95,3-99,5 см була характерна для

ранньостиглого гібрида Зоряний, мінімальна – 75,6-79,3 для середньостиглого гібрида Збруч. Показники цієї кількісної ознаки свідчать, що зростання густоти стояння рослин призводить до збільшення висоти прикріплення качанів на рослинах гібридів кукурудзи, які досліджувалися в дослідках.

Встановлена під час проведення дослідів площа листкової поверхні агроценозу гібридів кукурудзи мала мінливий характер і визначалася як генотипом, габітусом рослин, так і залежала від густоти стояння рослин в агроценозі. Генотип гібриду і щільність рослин в агроценозі впливали на асиміляційну площу як однієї рослини, так в цілому на весь агроценоз. Площа листкової поверхні рослин гібридів визначалась як генотипом так і умовами вирощування, які змінювалися за різною густотою стояння рослин в агроценозах (рис.5).

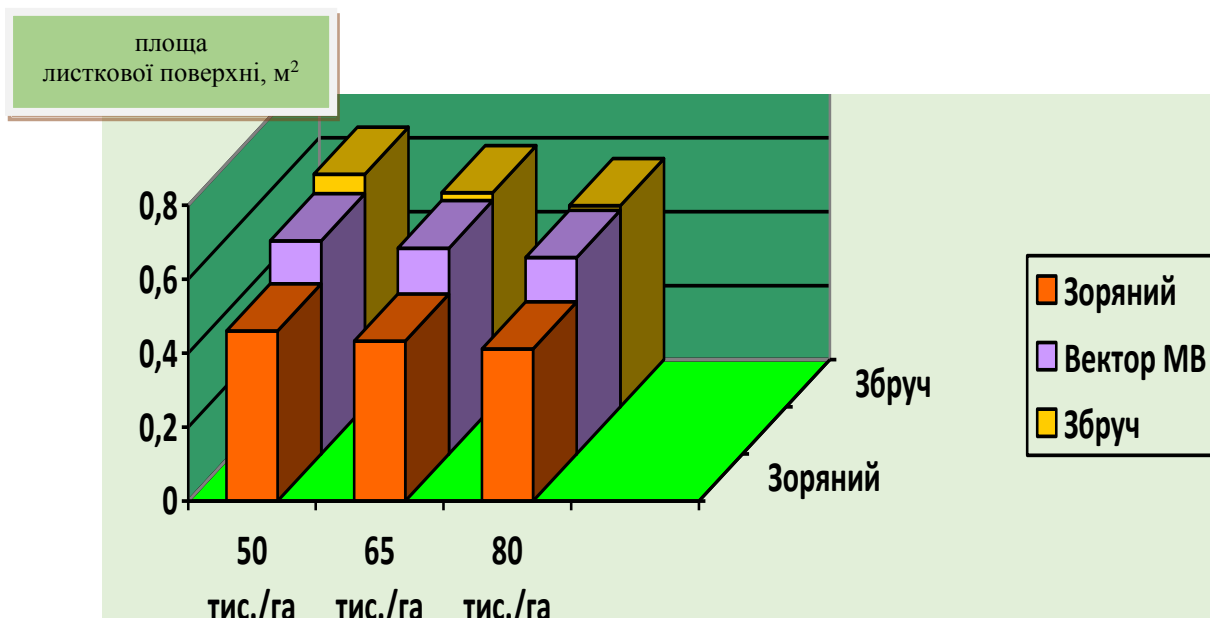


Рисунок 5. Площа листкової поверхні однієї рослини гібридів кукурудзи за різною густотою стояння рослин, 2023-2024 рр.

Найменшу площу листкової поверхні рослини за всіма густотами стояння рослин 0,460-0,412 м² формував ранньостиглий гібрид Зоряний. Біль пізньостиглі гібриди середньоранній гібрид Вектор МВ і середньостиглий гібрид Збруч формували більшу площу листкової поверхні, яка відповідно дорівнювалася 0,576-0,531 м² та 0,629-0,544 м².

Гібриди кукурудзи, незалежно від групи стиглості максимальну площу листкової поверхні рослини формували на мінімальній, контрольній густоті стояння рослин 50 тис./га. На контрольній густоті стояння 50 тис./га найменша площа листків рослини була у гібриді Зоряний 0,460 м², максимальна – у гібрида Збруч 0,629 м² (табл. 5).

Таблиця 5.

Площа листкової поверхні гібридів кукурудзи у фазі цвітіння залежно від щільності агроценозу, м², в середньому за 2023-2024 рр.

Густота стояння рослин, тис./га	Рослина/агроценоз	Гібриди		
		Зоряний	Вектор МВ	Збруч
50	одна рослина	0,460	0,576	0,629
	агроценоз	23000	28800	31450
65	одна рослина	0,433	0,557	0,579
	агроценоз	28145	36205	37635
80	одна рослина	0,412	0,531	0,554
	агроценоз	32960	42480	44320
НІР _{0,95} площа листкової поверхні рослини, м ² густота стояння рослин 0,012; гібрид 0,023.				

Загущення посівів призводило до зниження асиміляційної площі листкової поверхні рослини у всіх гібридів. Найбільший рівень зниження площі листкової поверхні від загущення рослин в агроценозах відмічено у середньостиглого гібрида Збруч. Зростання густоти стояння рослин в

агроценозах від 50 до 80 тис./га знижало площу листкової поверхні у гібрида Зоряний на 5,9-10,4%, у гібрида Вектор МВ на 3,3-7,2%, у гібрида Збруч на 7,9-11,1%.

Зниження асиміляційної поверхні однієї рослини при зростанні густоти стояння агроценозу компенсувалося більшою асиміляційною площею листків всього агроценозу за рахунок збільшення кількості рослин кукурудзі на одиниці площі. Максимальна площа листкової поверхні рослин була на густоті стояння рослин 80 тис./га. Мінімальна площа серед гібридів на цій густоті була характерна для гібрида Зоряний – 32960 м². Максимальну площу листкової поверхні агроценозу за густотою стояння рослин 80 тис./га формували гібриди Збруч – 44320 м².

Асиміляційна площа листкової поверхні рослин гібридів кукурудзи чинила вплив на проходження рослинами продукційних процесів та безпосередньо на чисту продуктивність фотосинтезу агроценозу, який в свою чергу визначався і площею асиміляційної поверхні і інтенсивністю накопичення рослинами сухої речовини.

Чиста продуктивність фотосинтезу визначалася реакцією гібридів на зміну густоти стояння рослин.

Зростання площі листкової поверхні від загущення посівів при інтенсивному накопиченні сухої речовини сприяло збільшенню чистою продуктивності фотосинтезу у ранньостиглого гібрида Зоряний від 8,44 до 9,49 г/м² за добу (табл. 6).

Таблиця 6.

Вплив збільшення густоти стояння рослин на чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) агроценозів гібридів кукурудзи у фазі цвітіння, г/м² за добу, в середньому за 2023-2024 рр.

Гібрид	Густота стояння рослин, тис./га		
	50 (контроль)	65	80
Зоряний (контроль)	8,44	8,55	9,49
Вектор МВ	8,89	9,41	9,01
Збруч	9,23	9,01	8,84
НІР _{0,95} г/м ² за добу: густота стояння рослин 0,03; гібрид 0,04.			

Збільшення інтенсивності ЧПФ у гібрида Зоряний у фазі цвітіння на фоні зростання густоти стояння рослин склало 1,3-12,4%. Значне збільшення процесів фотосинтезу на густоті стояння рослин 65 тис./га обумовлюється зростанням площі листкової поверхні рослин та збільшенням інтенсивності накопичення рослинами сухої речовини. Навпаки, середньостиглий гібрид Збруч характеризувався зниженням інтенсивності чистої продуктивності фотосинтезу в цій фазі розвитку рослин. Чиста продуктивність фотосинтезу у гібрида при збільшенні густоти стояння рослин знижувалася на 2,4-4,2%. Іншу реакцію мав середньоранній гібрид Вектор МВ. Зростання інтенсивності ЧПФ знаходилося в межах 2,4-5,8%. Але підвищення чистої продуктивності фотосинтезу відбувалося у гібрида за рахунок збільшення щільності агроценозу до визначеного рівня. Для гібрида цієї групи стиглості було наявним одночасне зростання густоти стояння рослин до 65 тис./га і підвищення чистої продуктивності фотосинтезу на 5,8%. Подальше зростання щільності посівів до рівня 80 тис./га знижувало ЧПФ до 9,01 г/м² за добу.

Серед гібридів, які досліджувалися в досліді, мінімальним та максимальним показниками чистої продуктивності характеризувався гібрид

Зоряний. Гібрид мав мінімальний показник чистої продуктивності фотосинтезу 8,44 г/м² за добу на контрольній густоті стояння рослин – 50 тис./га і мав максимальну чисту продуктивність фотосинтезу 9,49 г/м² на максимальній густоті стояння рослин 80 тис./га.

Підвищення площі асиміляційної поверхні листкової поверхні агроценозів гібридів не завжди супроводжувалося збільшення інтенсивності чистої продуктивності фотосинтезу у гібридів. Можливе затінення нижніх листків на рослині верхніми листками при загущенні агроценозу можливо приводило до погіршення освітленості нижніх листків та зменшення інтенсивності процесів фотосинтезу рослин. Динаміка зростання та збільшення інтенсивності чистої продуктивності фотосинтезу у фазі цвітіння різностиглих гібридів кукурудзи за різною густотою стояння рослин відображена на рисунку 6.

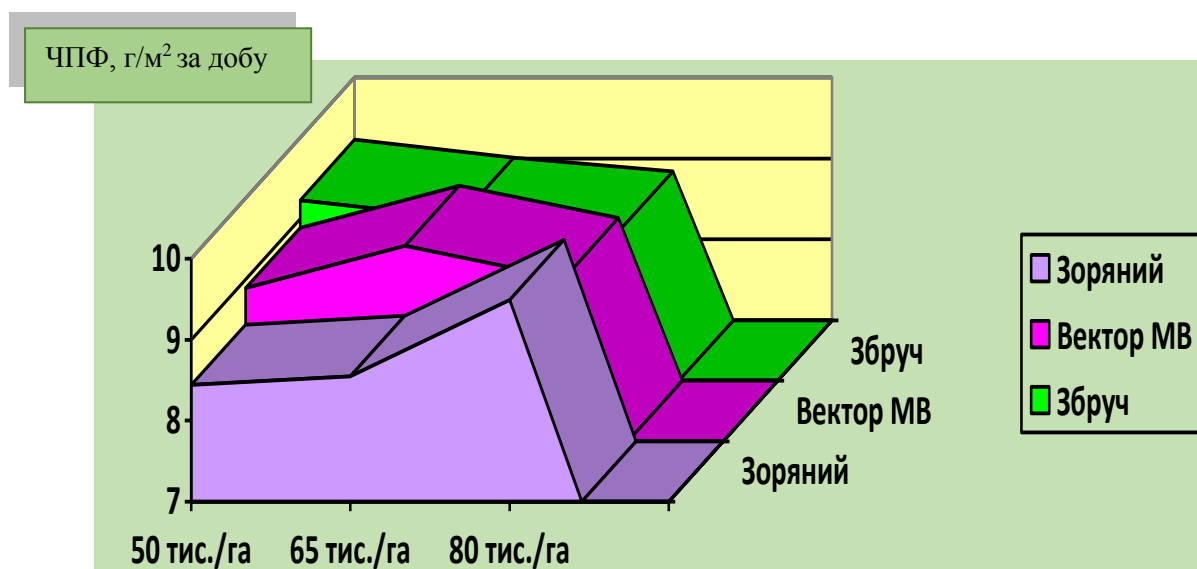


Рисунок 6. Динаміка інтенсивності чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) агроценозів гібридів кукурудзи у фазі цвітіння, 2023-2024 рр.

3.2. Залежність формування рівня врожайності гібридами кукурудзи від щільності агроценозів.

Індивідуальна продуктивність рослин та врожайність агроценозів кукурудзи відображають результат процесу взаємодії генотипу гібриду та факторів навколишнього середовища. Характеристика структурних елементів продуктивності є важливим показником оцінки ефективності густоти стояння рослин у технології вирощування гібридів кукурудзи різної групи стиглості.

Гібриди кукурудзи мали різну реакцію на зміну структурних елементів продуктивності за зміною густоти стояння рослин. Ущільнення агроценозів гібридів по-різному призводило до зміни показників кількісних ознак структури продуктивності кукурудзи. Підвищення густоти стояння рослин в агроценозах майже не впливає на кількість рядів на початку. Ця ознака є генетичною особливістю кожного гібрида кукурудзи. Густота стояння значно більшою мірою впливала на кількісні ознаки: маса насіння качана, маса 1000 насінин в меншій мірі на зміну довжини качана.

Підвищення густоти стояння рослин не призводило до зменшення розмірів качанів у ранньостиглого гібриду Зоряний. За різною густотою стояння рослин в агроценозах довжина качана знаходилась на одному рівні 21,7-21,8 см (табл. 7).

Таблиця 7.

**Кількісні показники гібридів кукурудзи залежно від густоти
стояння рослин, в середньому за 2023-2024 рр.**

Гібрид	Густота стояння рослин, тис./га	Довжина качана, см	Маса зерна качана, г	Маса 1000 насінин, г
Зоряний	50 (контроль)	21,8	150,2	274,8
	65	21,7	144,9	272,3
	80	21,7	141,6	265,6
Вектор МВ	50	23,7	162,7	286,5
	65	23,4	154,2	284,3
	80	22,2	148,8	279,5
Збруч	50	22,0	182,1	289,9
	65	20,9	175,5	275,2
	80	19,8	146,5	250,0
НІР _{0,95} густина стояння рослин		0,7	4,8	4,7
гібрид		0,5	8,4	5,2

Довжина качана у гібрида Вектор МВ зменшується в діапазоні підвищення густоти стояння рослин від 65 до 80 тис./га. У гібрида Збруч підвищення густоти стояння до 65 та 80 тис./га призводить до зменшення довжини качана на 1,1 см та 2,2 см.

В більшій мірі густота стояння рослин чинила вплив на зміну кількісних ознак гібридів та масу одного качана та масу 1000 насінин. Підвищення густоти стояння рослин від 50 до 60 тис./га зменшувало масу качана гібрида Зоряний 5,3-8,6 г (зниження знаходилося в межах 3,5-5,3%), гібрида Вектор на 8,5-13,9 г (зниження знаходилося в межах 5,3-8,5%), гібрида Збруч на 6,6-35,6 г (зниження знаходилося в межах 3,6-19,5%). Більш пізньостиглі гібриди в більш значній мірі знижали масу насіння качану у порівнянні з ранньостиглим гібридом Зоряний. Найбільш високий рівень

зниження 19,5 % за показником маса насіння качану відмічено у середньостиглого гібрида Збруч на густоті стояння агроценозу у 80 тис./га.

Маса 1000 насінин у ранньостиглого гібрида Зоряний почала знижуватися при збільшенні густоти стояння рослин від 65 до 80 тис./га. Зростання щільності посіву від контрольної густоти до рівня 65 тис./га не приводило к зниженню маси 1000 насінин у цього гібрида.

Гібриди середньоранньої та середньостиглої груп стиглості Вектор МВ та Збруч характеризувалися зниження маси 1000 насінин при підвищенні густоти стояння рослин від 50 до 80 тис./га.

Отримана врожайність гібридів кукурудзи при застосуванні в технології вирощування різної густоти стояння рослин показує, що збільшення фотосинтетичної діяльності агроценозів гібридів кукурудзи не може гарантувати синхронне підвищення врожайності кукурудзи. Наші дані свідчать, що залежно від генотипових особливостей гібридів існує оптимум густоти стояння агроценозу, який забезпечує формування максимальної врожайності при меншому рівні залежно від ефективності фотосинтетичної діяльності. В досліді формування врожайності в значній мірі визначалось впливом густоти стояння рослин та генотиповою реакцією гібридів на зміну умов вирощування потенціалу.

В зоні Лісостепу збільшення густоти стояння рослин спричиняє підвищення врожайності гібридів кукурудзи залежно від їх групи стиглості. Аналіз наших даних дослідів показує, що діапазон оптимальної густоти стояння рослин в агроценозах для гібридів різної групи стиглості різний.

Зниження кількісних ознак гібридів при зростанні густоти стояння не завжди супроводжувалося зниження рівня врожайності, яку формували гібриди.

Підвищення густоти стояння рослин на фоні зниження маси насіння качанів обумовлювало зростання врожайності ранньостиглого гібрида

кукурудзи Зоряний за рахунок збільшення кількості рослин в агроценозі. Приріст врожайності ранньостиглого гібрида від загущення агроценозів склав 0,32-0,81 т/га (табл. 8).

Таблиця 8.

Вплив густоти стояння рослин в агроценозах на рівень врожайності гібридів різної групи стиглості, т/га, в середньому за 2023-2024 рр.

Гібрид	Густота стояння рослин, тис./га		
	50 (контроль)	65	80
Зоряний (контроль)	7,10	7,42	7,91
Вектор МВ	7,99	8,37	8,65
Збруч	8,57	9,23	8,99
НІР _{0,95} густота стояння рослин 0,20; гібрид 0,06.			

Рівень приросту врожайності у гібрида Зоряний склав 4,5-11,4%. Приріст врожайності зростав при збільшенні густоти стояння рослин до рівня 80 тис./га при одночасно максимальному рівні чистої продуктивності фотосинтезу 9,49 г/м² за добу. Таким чином рівень врожайності ранньостиглого гібрида Зоряний визначався густотою стояння та фотосинтетичною діяльністю агроценозу.

Зростання густоти стояння рослин в агроценозі від 50 тис./га до 80 тис./га сприяло підвищенню врожайності у середньораннього гібрида Вектор МВ. На відміну від ранньостиглого гібрида Зоряний гібрид Вектор МВ характеризувався меншим приростом врожайності 0,38-0,66 т/га (4,8-8,3%). Приріст врожайності, у порівнянні з гібридом Зоряний, при зростанні щільності агроценозу до 80 тис./га був менший. Середньоранній гібрид Вектор МВ формував максимальну врожайність 8,65 т/га при найбільшій густоті стояння рослин 80 тис./га при одночасному підвищенні рівня

врожайності і зниженням рівня зниженні чистої продуктивності фотосинтезу до $9,01 \text{ г/м}^2$ за добу. Таким чином, максимальна врожайність гібрида Вектор МВ визначалася умовами, які склалися за рахунок зміни густоти стояння рослин та реакцією генотипу на умови середовища вирощування.

Густота стояння рослин агроценозів по різному впливала на формування врожайності середньостиглого гібрида кукурудзи Збруч. І сам гібрид мав різну реакцію на умови вирощування при зміні густоти стояння рослин. Підвищення врожайності у середньостиглого гібрида Збруч на $0,66 \text{ т/га}$ відбувалося при зростанні щільності агроценозу до 65 тис./га . За цією густотою стояння рослин гібрид формував максимальну врожайність $9,23 \text{ т/га}$. Подальше підвищення густоти стояння рослин до 80 тис./га призводило до зниження врожайності до рівня $8,99 \text{ т/га}$. Взагалі підвищення густоти стояння до 65 ті 80 тис./га забезпечувало приріст врожайності гібрида відповідно на $0,66$ і $0,42 \text{ т/га}$. Приріст врожайності в процентному відношенні склав у цього гібрида $4,9$ - $7,7\%$. Підвищення врожайності гібрида Збруч за рахунок збільшення кількості рослин в агроценозі відбувалося на фоні зниження чистої продуктивності фотосинтезу від $9,23$ до $8,84 \text{ г/м}^2$ за добу. Таким чином, формування врожайності середньостиглого гібрида Збруч визначалося умовами вирощування, які створювалися при зміні густоти стояння рослин і реакцією гібрида на зміну умов вирощування.

Найбільший рівень врожайності зі всіх досліджуваних гібридів $9,23 \text{ т/га}$ формував середньостиглий гібрид Збруч за густотою стояння рослин в агроценозі 65 тис./га (рис. 7). Ранньостиглий гібрид Зоряний формував найменший рівень врожайності за всіма густотами у порівнянні з більш пізньостиглими гібридами кукурудзи.

При збиранні гібридів різних груп стиглості вологість зерна коливалася від $16,4$ до $26,1\%$. Найменш вологе зерно формувалось у гібрида ранньостиглої групи стиглості Зоряний.

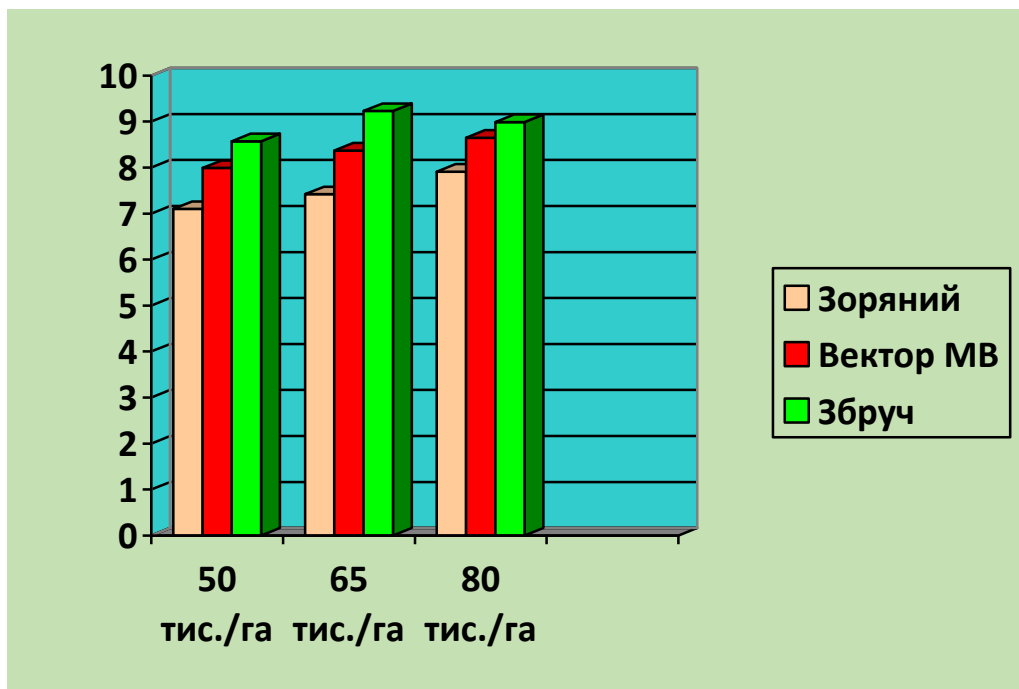


Рис. 7 Врожайність гібридів кукурудзи за різною густотою стояння рослин в агроценозі, т/га, в середньому за 2023-2024 рр.

РОЗДІЛ 4. БІОЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ВИРОЩУВАННЯ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНОЮ ЩІЛЬНІСТЮ АГРОЦЕНОЗУ.

Ефективність застосування елементів сортової агротехніки в технології вирощування кукурудзи визначається вартістю зіставлення виробленої отриманої продукції (зерна кукурудзи) із сумарними витратами, що пішли на виробництво цієї зернової продукції.

Нашими дослідженнями планується дати оцінку ефективності вирощування кукурудзи гібридів різної групи стиглості при загущених агроценозах гібридів. У зв'язку з цим на основі проведених досліджень з гібридами кукурудзи різних груп стиглості були розраховані типові технологічні карти для кожного гібрида та норми висіву насіння, що визначають густоти стояння рослин перед збиранням.

У сучасних умовах нестабільних економічних умов ринкової економіки, при систематичному та постійному підвищенні цін на матеріально-технічні ресурси та послуги, а також не регульованим державою ринком цін на сільськогосподарську продукцію, не надається можливим дати об'єктивну економічну оцінку ефективності використання агротехнічного прийому, що вивчається, сортової агротехніки.

Тому досліджувані та рекомендовані виробництву елементи сортової агротехніки – густоти стояння агроценозів гібридів кукурудзи було вирішено обґрунтувати з аспектів їхньої енергетичної доцільності застосування у технологіях вирощування кукурудзи.

Основною метою енергетичної оцінки вирощування гібридів кукурудзи стало дати з точки енергозбереження ефективність застосування різних густот стояння рослин у технології вирощування кукурудзи. Біоенергетичний аналіз вирощування гібридів кукурудзи дозволив нам визначити раціональніше використання даного елемента сортової агротехніки. Основними показниками біоенергетичної ефективності вирощування кукурудзи були: витрати техногенної енергії (ГДж/га), вихід енергії з урожаєм основної продукції зерна гібридів (ГДж/га) та коефіцієнт енергетичної ефективності (отримуване приватне від поділу виходу енергії з урожаєм основної продукції зерна та витрат техногенної енергії).

Коефіцієнт енергетичної ефективності (КЕЕ) був інтегральним показником біоенергетичної ефективності агроприйому, що вивчається, вирощування кукурудзи.

Аналіз розрахункових показників біоенергетичної ефективності застосування різних густот стояння рослин в агроценозах в технології вирощування різностиглих гібридів кукурудзи показує, що біоенергетична ефективність вирощування кукурудзи визначалась як застосуванням різної

густоти стояння рослин так і групою стиглості гібридів, які досліджувалися в досліді.

Найменші коефіцієнти енергетичної ефективності в межах 1,83-2,00 були властиві ранньостиглому гібриду Зоряний (табл. 8).

Таблиця 8.

Біоенергетична ефективність вирощування гібридів кукурудзи за різною густотою стояння рослин в агроценозах, в середньому за 2023-2024 рр.

Гібрид	Густота стояння рослин, тис./га	Врожайність, т/га	Витрати техногенної енергії, ГДж/га	Вихід енергії з врожаєм, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності
Зоряний	50	7,01	70,49	129,68	1,83
	65	7,42	71,44	137,27	1,92
	80	7,91	72,87	146,33	2,00
Вектор МВ	50	7,99	73,98	147,82	1,99
	65	8,37	74,22	154,85	2,08
	80	8,65	75,11	160,02	2,13
Збруч	50	8,57	73,10	158,55	2,17
	65	9,23	74,72	170,75	2,28
	80	8,99	74,25	166,32	2,24

Гібриди більш пізніх строків досягання, середньоранній гібрид Вектор МВ і середньостиглий гібрид Збруч характеризувалися більш високими коефіцієнтами енергетичної ефективності: 1,99-2,13 та 2,17-2,24.

Менша енергетична ефективність ранньостиглого гібрида Зоряний, у порівнянні з іншими гібридами, пояснюється меншим рівнем отриманою врожайності. Зростання витрат техногенної енергії на вирощування гібридів Вектор МВ та Збруч компенсувалося більшим рівнем отриманої врожайності та збільшення виходу енергії з врожаєм зерна гібридів.

Максимальний коефіцієнт енергетичної ефективності 2,28 було отримано у гібрида Збруч при його вирощуванні з густотою стояння рослин в агроценозі 65 тис./га.

Підвищення густоти стояння рослин сприяло підвищенню показників коефіцієнту енергетичної ефективності у гібрида Зоряний від 1,83 до 2,00, у гібрида Вектор МВ від 1,99 до 2,13 на фоні зростання врожайності зерна з одиниці площі.

Підвищення коефіцієнту енергетичної ефективності середньостиглого гібриду Збруч від 2,17 до 2,28 відбувалося при збільшенні кількості рослин в агроценозі до 65 тис./га. Подальше збільшення кількості рослин в агроценозі до 85 тис./га в умовах Лісостепу призводило до зниження коефіцієнту енергетичної ефективності вирощування гібрида до рівня 2,24 на фоні зменшення рівня врожайності.

Таким чином, порівняння даних результатів за показниками біоенергетичної ефективності вирощування гібридів різної групи стиглості при виробництві зерна кукурудзи показує, що з біоенергетичних аспектів більш ефективно в технології вирощування застосовувати такі густоти стояння рослин в агроценозах в умовах Лісостепу:

- ✓ для ранньостиглого гібрида Зоряний (ФАО 190) – густота стояння рослин в агроценозі 80 тис./га;
- ✓ для середньоранньостиглого гібрида Вектор МВ (ФАО 270) – густота стояння рослин в агроценозі 80 тис./га;
- ✓ для середньостиглого гібрида Збруч (ФАО 310) – густота стояння рослин в агроценозі 65 тис./га.

ВИСНОВКИ.

1. На основі виконаних експериментальних дослідів в умовах Лісостепу України визначено вираженість та мінливість факторів розвитку та продуктивності гібридів кукурудзи ранньостиглої, середньоранньої, середньостиглої груп стиглості на різних густотах стояння рослин в

агроценозах. Встановлено різну реакцію гібридів кукурудзи на зміни умов вирощування.

2. Тривалість міжфазних стадій та вегетаційного періоду рослин кукурудзи в умовах Лісостепу визначається густотою стояння рослин та реакцією генотипу на зміну умови вирощування. Підвищення густоти стояння рослин в агроценозах обумовило збільшення тривалості періодів вегетації у гібридів більш ранньої групи стиглості Зоряний і Вектор МВ. Зміна густоти стояння рослин в агроценозах не приводила до продовження тривалості середньостиглого гібрида Збруч.

3. Збільшення інтенсивності процесів фотосинтетичної діяльності рослин агроценозів гібридів кукурудзи не завжди гарантує синхронне зростання урожайності гібридів. Збільшення процесів фотосинтезу на густоті стояння рослин 65 тис./га у гібридів Зоряний та Вектор обумовлюється зростанням площі листкової поверхні рослин та збільшенням інтенсивності накопичення рослинами сухої речовини. Підвищення інтенсивності чистої продуктивності фотосинтезу у цих гібридів відбувається до визначеного рівня густоти стояння рослин 65 тис./га. Підвищення густоти стояння рослин в агроценозах гібрида Збруч призводить до зниження чистої продуктивності фотосинтезу без зниження врожайності, який формує агроценоз гібрида.

4. Продуктивність рослин та врожайність зерна кукурудзи є результатом взаємодії генетичних особливостей гібридів та агрономічних факторів у технології вирощування. Оптимізація густоти стояння гібридів кукурудзи є необхідною умовою створення найбільш високопродуктивних агроценозів. Як збільшення густоти стояння рослин у агроценозах, так і зниження призводять до зміни величини показників продуктивності рослин і врожайності агроценозів залежно від групи стиглості гібридів.

5. Підвищення густоти стояння рослин в агроценозах призводило до зниження маси зерна одного качану у гібрида Зоряний на 3,5-5,3%, у гібрида

Вектор МВ на 5,3-8,5% у гібрида Збруч на 3,6-19,5%. Найменший рівень зниження маси качана від загушення відмічався у ранньостиглого гібрида Зоряний. Зростання рівня врожайності від загушенням агроценозів на фоні зменшення маси зерна в качані обумовлювалося збільшення кількості рослин в агроценозі. Максимальний рівень врожайності у гібридів Зоряний 7,91 т/га і Вектор МВ 8,65 т/га забезпечувався при їх вирощуванні на густоті стояння рослин 80 тис./га. Максимальний рівень врожайності середньостиглого гібрида Збруч 9,23 т/га забезпечувався при його вирощуванні на густоті стояння рослин перед збиранням 65 тис./га.

6. Рівень врожайності ранньостиглого гібрида Зоряний (ФАО 190) визначався густотою стояння та фотосинтетичною діяльністю агроценозу. максимальна врожайність гібрида Вектор МВ (ФАО 270) визначалася умовами, які склалися за рахунок зміни густоти стояння рослин та реакцією генотипу на умови середовища вирощування. Таким чином, формування врожайності середньостиглого гібрида Збруч (ФАО 310) визначалося умовами вирощування, які створювалися при зміні густоти стояння рослин і реакцією гібрида на зміну умов вирощування.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.

В умовах виробництва густота стояння рослин агроценозів гібридів кукурудзи повинна встановлюватися з урахуванням біологічних особливостей обраного генотипу, групи стиглості, а також ґрунтових, кліматичних та агротехнічних умов конкретного району вирощування.

При виборі густоти стояння рослин в агроценозах гібридів кукурудзи необхідно враховувати не тільки групи стиглості вибраного гібрида, а й генетичні та біолого-фізіологічні властивості конкретних гібридів, кліматичні особливості регіону, технологію вирощування кукурудзи, яку вибрано для отримання продукції.

В умовах Лісостепу рекомендовано в технології вирощування кукурудзи застосовувати наступну передзбиральну густоту стояння рослин:

- ✓ для ранньостиглого гібрида Зоряний (ФАО 190) – 80 тис./га;
- ✓ для середньоранньостиглого гібрида Вектор МВ (ФАО 270) – 80 тис./га;
- ✓ для середньостиглого гібрида Збруч (ФАО 310) – 65 тис./га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.

1. Дмитренко П. А. Залежність урожаю від густоти стояння рослин та добрив / П. А. Дмитренко, К. П. Афендулов, В. В. Пшебельський, В. П. Іванова // Кукурудза - 1968. - №2. – С. 15-17.

2. Якунін О. П. Використання поживних речовин ґрунту посівами гібридів кукурудзи різного рівня загущеності / О. П. Якунін, Ю. И. Ткаліч // Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. –2001. – № 17. – С. 43-45.

3. Заверталюк В. Ф. Реакція гібридів кукурудзи на рівень мінерального живлення і густоту стояння рослин / В. Ф. Заверталюк О. П. Якунін, Ю. И. Ткаліч // Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. – 2001. – № 17. – С. 70-72.

4. Циков В. С. Кукурудза: технологія, гібриди, насіння / В. С.Циков. Дніпропетровськ: Видавництво Зоря, 2003. – 296 с.

5. Андрієнко А. Л. Фотосинтетична діяльність та продуктивність нових гібридів кукурудзи залежно від густоти стояння рослин / А. Л. Андрієнко // Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. – 2003. – № 20. – С. 36-38.

6. Філіпов Г. Л. Теоретичне обґрунтування вирощування високих урожаїв кукурудзи в сучасних умовах / Г. Л. Філіпов, С. В. Романенко, Л. Г. Філіпов // Хранение и переработка зерна. – 005. – № 12. – С. 51-53.

7. Войнов О. А. Поборемося за листовий індекс / О. А. Войнов // *Зерно*. – 2012. – № 1. – С. 30-32.
8. Циков В. С. Прогресивна технологія вирощування кукурудзи / В. С. Циков . – К.: Урожай, 1984. – 192 с.
9. Толорая Т. Р. Впів рівня мінерального живлення, вологозабезпеченості і густоти рослин на площу листової поверхні та фотосинтетичний потенціал гібридів кукурудзи / Т. Р. Толорая // *Кукурудза і сорго*. – 1999. – № 6. – С. 2-5.
10. Шпаар Д. Кукурудза / Д. Шпаар [та ін.]; під заг. ред. В. А. Щербакова. – Мн.: ФУАінформ, 1999. – 192 с.
11. Шпаар Д. Кукурудза (Вирощування, уборка, консервування і викоистання) / Д. Шпаар [та ін.]; під заг. редакцією Д. Шпаара. – М., 2006. – 390 с.
12. Пащенко Ю. М. Адаптивні і ресурсозбережні технології вирощування гібридів кукурудзи / Ю. М. Пащенко, В. М. Борисов, О. Ю. Шишкина. – Дніпропетровськ: АРТПРЕС, 2009. – 224 с.
13. Шпаар Д. Як правильно посіяти кукурудзу / Д. Шпаар // *Зерно*. – 2012. – № 1. – С. 80-90.
14. Шлапунов В. Н. Срок сіву та глибина заделки насіння ліній та гібридів кукурудзи / В. Н. Шлапунов, Н. Ф. Надточаєв, В. В. Шолтанюк // *Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук*. – 2005. – № 4. – С. 64-74.
15. Кильчевський А. В. Еколого-генетичні аспекти селекції рослин / А. В. Кильчевський, Л. В. Хотильова // *Молекулярна та прикладна генетика*. – 2009. – Т 9. – С. 14-18.
16. Заверталюк В. Ф. Зернова продуктивність Кадр 195 СВ при різних фонах живлення і густотах стояння рослин / В. Ф. Заверталюк, М. В. Мареніченко // *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. – 2003. – № 20. – С. 55-56.

17. Якунін О. П. Продуктивність гібридів кукурудзи у зв'язку з густотою стояння рослин і рівнем мінерального живлення / О. П. Якунін, В. Ф. Заверталюк // Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. –2003. – № 20. – С. 48-49.

18. Штирбу В. И. Оптимальна густина стояння гібридів Молдавський 291 МВ и Молдавський 400 / В. И. Штирбу, В. С. Даду // Технологія вирощування и урожай кукурудзи і сорго. – Кишинев: Штиинца, 1989. – С. 5-8.

19. Мареніченко М. В. Урожайність зерна кукурудзи та економимічна ефективність його вирощування залежно від елементів технології / М. В. Мареніченко // Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. –2006. – № 28-29. – С. 121-124.

20. Румбах М. Ю. Продуктивність гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від густоти рослин та фону мінерального живлення / М. Ю. Румбах // Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. – 2011. – № 40. – С. 110-113.

21. Фолькман Е. Н. Кукурудза на корм. Виробництво та використання/ Е. Н. Фолькман (пер. с англ. Е. Н. Фолькман. – М.: Колос, 1983. – 343 с.

22. Лужинський Д. В. Густина стояння рослин кукурудзи – важливий фактор формування високопродуктивних агроценозів кукурудзи / Д. В. Лужинський, Д. Н. Володькин, Н. Ф. Надточаєв, А. З. Богданов // Землеробство та захист рослин. – 2019. – № 2. – С. 7-13.

23. Барсуков С. С. Оптимальна густина стояння / С. С. Барсуков // Кукурудза і сорго. – 1988. – № 2. – С. 33-34.

24. Ткаліч, Ю. І. Вплив вологозабезпеченості та густоти посіву на продуктивність гібридів кукурудзи / Ю. І. Ткаліч // Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. –1999. – № 10. – С. 73-75.

25. Югенхеймер Р. У. Кукурудза: поліпшення сортів, виробництво насіння. Використання / Р. У. Югенхеймер; пер. с англ. Г. В. Дерягина, Н. А. Ємельяновой; під ред. и з передмовою Г. Е. Шмараєва. – М.: Колос, 1979. – 519 с.

26. Князюк О. В. Агроекологічне обґрунтування підвищення продуктивності різностиглих гібридів кукурудзи залежно від густоти рослин, міжрядь, строків та глибини сівби / О. В. Князюк // Вісник Білоцерківського державного аграрного університету: Агробіологічні основи землеробства. – 2005. – № 32. – С. 66-74.

27. Каленська С. М., Таран В.Г., Данилів П.О. Особливості формування урожайності гібридів кукурудзи залежно від удобрення, густоти стояння рослин та погодних умов / С. М. Каленська, В. Г. Таран, П. О. Данилів // Таврійський науковий вісник. – 2018. – № 101. – С. 37-43.

28. Дзюбецький Б. В. Оцінка комбінаційної здатності самозапилених ліній кукурудзи при різних густотах стояння рослин / Б. В. Дзюбецький, В. А. Хаджиматов // Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. – 1991. – №71. – С.27-31.

29. Дьєрффі Б. Вплив посухи, добрив та гущини стояння рослин на урожайність кукурудзи / Б. Дьєрффі, З. Боржені // Реферативний журнал. – 1996. – №8. – С.32-35.

30. Карпенко, А. П. Оптимальна гущина рослин / А.П. Карпенко // Кукурудза і сорго. –1986. – №3. – С.7-9.

31. Ali Sajid. Yield and Yield components of Maize Response To compost and Fertilizer-Nitrogen / Sajid Ali, Subhan Uddin, Osaid Ullah, Shahen Shah, Serajud-Din, Taj Ali. // Food Science and Quality Management. – 2015. – Vol. 38. – P. 39-44.

32. Assefa Y. Yield Response to Planting Density for US Modern Corn Hybrids: A Synthesis-Analysis / Y Assefa, P. V. Vara Prasad, P. Carter, M. Hinds,

G. Bhalla, R. Schon, M. Jeschke, S. Paszkiewicz, I. A. Ciampitti // *Crop Science*. – 2016. – 56. – P. 2802-2817. [Google Scholar] [CrossRef].

33. Babić V. Understanding and Utilization of Genotype-by-Environment Interaction in Maize Breeding / V. Babić, M. Babić, M. Ivanović, M. Dimitrijević // *Genetika*. –2010. – № 42. – P. 79-90.

34. Bassetti P. Water deficit affects receptivity of maize silks / P. Bassetti, M. E. Westgate // *Crop Science*. –1993. – № 33: 279-282.

35. Berzsenyi Z. Density-Dependence Rather Maturity Determines Hybrid Selection in Dryland Maize Production / Z. Berzsenyi, I. S. Tokatlidis // *Agronomy Journal*. – 2012. – № 104. – P. 331-336. [Google Scholar] [CrossRef]

36. Birch C. J. Agronomy of maize in Australia - in review and prospect / C. J. Birch, M. J. Robertson, E. Humphreys, N. Hutchins. In: CJ Birch, SR Wilson, eds. *Versatile Maize - Golden Opportunities: 5th Australian Maize Conference*, City Golf Club, Toowoomba, 18-20 February, 2003. – 2003. Available at The University of Queensland website.

37. Cerrudo D. Kernel Number Response to Plant Density in Tropical, Temperate, and Tropical × Temperate Maize Hybrids / D. Cerrudo, M. Hernández, M. Tollenaar, C. R. C. Vega, L. Echarte // *Crop Science*. – 2020. – № 60 – P. 381-390. [Google Scholar] [CrossRef]

38. Colless J. M. Maize growing / J. M. Colles. Report No. P 3.3.3 - Agdex 111, 2nd edition, NSW Agriculture Grafton. – 1992.

39. Collins N. C. Quantitative trait loci and crop performance under abiotic stress: where do we stand? / N. C. Collins, F. Tardieu, R. Tuberosa // *Plant Physiology*. – 2008. –Vol. 147. – P. 469–486.

40. Cui K. H. Molecular dissection of seedling-vigor and associated physiological traits in rice / K. H. Cui, S. B. Peng, Y. Z. Xing, C. G. Xu, S. B. Yu, Q. Zhang // *Theor. Appl. Genet.* – 2002. – № 105. – P.745–753. doi: 10.1007/s00122-002-0908-2. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

41. Dhugga K.S. Maize biomass yield and composition for biofuels / K. S. Dhugga // *Crop Science*. –2007. – № 47. – P. 2211-2227.
42. Djaman K. Planting Date and Plant Density Effects on Maize Growth, Yield and Water Use Efficiency / K. Djaman, S. Allen, D. S. Djaman, K. Koudahe, S. Irmak, N. Puppala, M. K. Darapuneni, S. V. Angadi // *Environmental Challenges*. – 2022. – № 6.
43. Duvick D. N. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the north-central United States / D. N. Duvick, K. G. Cassman // *Crop Science*. – 1999. – № 39. – P. 1622-1630.
44. Du X. Increased Planting Density Combined with Reduced Nitrogen Rate to Achieve High Yield in Maize / X. Du, Z. Wang, W. Lei, L. Kong // *Scientific Reports*. – 2021. – № 11. – P. 358.
45. Elizabeth M. Ontogeny of the Maize Shoot Apical Meristem / Elizabeth M. Takacs, Jie Li, Chuanlong Du, Lalit Ponnala, Diane Janick-Buckner, Jianming Yu, Gary J. Muehlbauer, Patrick S. Schnable, Marja C.P. Timmermans, Qi Sun // *The Plant Cell*. – 2012. – Volume 24, Issue 8. – P. 3219-3234, <https://doi.org/10.1105/tpc.112.099614>
46. Fageria N. K. Physiology of Growth and Yield Components Chapter 3 / N. K. Fageria, R. V. C. Baligar, R. B. Clark, // In: *Physiology of Crop Production*. – Haworth Press, 2006. – pp 61-94.
47. Fahad S. Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth / S. Fahad, M. Hasanuzzaman, A. Mukhtar, H. Ullah, M. Saeed, A. I. Khan, M. Adnan. – Springer: New York, NY, USA, 2020.
48. FAO. FAO Statistical Yearbook. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations: Rome, Italy, 2021. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed on 29 December 2023).

49. Grant, R.F., Jackson, B.S., Kiniry, J.R., Arkin, G.F. (1989). Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agronomy Journal* 81: 61-65
50. Haegele, J.W.; Becker, R.J.; Henninger, A.S.; Below, F.E. Row Arrangement, Phosphorus Fertility, and Hybrid Contributions to Managing Increased Plant Density of Maize. *Agron. J.* 2014, *106*, 1838–1846. [Google Scholar] [CrossRef]
51. Ikey Joe and Johnson Bill. 2018. Growth Stage Cutoffs for Herbicide Applications in Corn and Soybean. Pest & Crop Newsletter, 10. Purdue Univ. Extension. <https://extension.entm.purdue.edu/newsletters/pestandcrop/article/growth-stage-cutoffs-for-herbicide-applications-in->
52. Jia, Q.; Sun, L.; Mou, H.; Shahzad, A.; Liu, D.; Zhang, Y.; Zhang, P.; Ren, X.; Jia, Z. Effects of Planting Patterns and Sowing Densities on Grain-Filling, Radiation Use Efficiency and Yield of Maize (*Zea mays* L.) in Semi-Arid Regions. *Agric. Water Manag.* 2018, *201*, 287–298.
53. Jones, R.J., Roessler, J., Ouattar, S. (1985). Thermal environment during endosperm cell division in maize: Effects on number of endosperm cells and starch granules. *Crop Science* 25: 830-834
54. Kynast R.G. *Handbook of Maize: Its Biology, Ann. Bot.* 7th ed. Springer; New York, NY, USA: 2012. p. 580.
55. Lafitte, H.R. (2000a). Abiotic stresses affecting maize. In: RL Paliwal, G Granados, HR Lafitte, AD Vlollic, eds. *Tropical Maize: Improvement and Production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. pp 93-103.
56. Lee, E.A., Tollenaar, M. (2007). Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Science* 47(S3): S202-S215
57. Mano, Y., Omori, F., Muraki, M., Takamizo, T. (2005). QTL mapping of adventitious root formation under flooding conditions in tropical maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Breeding Science* 55: 343-347

58. McKell C.M. Seedling vigor and seedling establishment. In: Younger V., McKell C.M., editors. *The Biology and Utilization of Grasses*. Academic Press; New York, NY, USA: 1972. pp. 74–89. [Google Scholar]

59. Ma, D.; Li, S.; Zhai, L.; Yu, X.; Xie, R.; Gao, J. Response of Maize Barrenness to Density and Nitrogen Increases in Chinese Cultivars Released from the 1950s to 2010s. *Field Crops Res.* 2020, 250,

60e Mandić, V.; Bijelić, Z.; Krnjaja, V.; Tomić, Z.; Stanojković-Sebić, A.; Stanojković, A.; Caro-Petrović, V. The Effect of Crop Density on Maize Grain Yield. *Biotechnol. Anim. Husb.* 2016, 32, 83–90.)

61. Mandić, V.; Đorđević, S.; Bijelić, Z.; Krnjaja, V.; Ružić Muslić, D.; Petričević, M.; Simić, A. Effect of Intra-Row Spacing and Seed Inoculation on Stem Lodging, Yield and Rain-Use Efficiency of Maize under Different Climatic Conditions. *Philipp. Agric. Sci.* 2018, 101, 243–250. [Google Scholar]

62. Violeta Mandić, Snežana Dorđević, Snežana Dorđević, Milan Brankov, Vladimir Živković, Marina Lazarević, Tanja Keškić, Vesna Krnjaja. (2024). Response of Yield Formation of Maize Hybrids to Different Planting Densities // *Agriculture*. – 2024. - N 14 (3). <https://doi.org/10.3390/agriculture14030351>
<https://www.mdpi.com/2077-0472/14/3/351>

63. Mylonas, I.; Sinapidou, E.; Remountakis, E.; Sistanis, I.; Pankou, C.; Ninou, E.; Papadopoulos, I.; Papathanasiou, F.; Lithourgidis, A.; Gekas, F.; et al. Improved Plant Yield Efficiency Alleviates the Erratic Optimum Density in Maize. *Agron. J.* 2020, 112, 1690–1701.

64. Monjardino, P., Smith, A.G., Jones, R.J. (2006). Zein transcription and endoreduplication in maize endosperm are differentially affected by heat stress. *Crop Science* 46: 2581-2589

65. Nielsen, R.L. (Bob). 2008. Tips for Staging Corn with Severe Leaf Damage. Corny News Network, Purdue Univ. <http://www.kingcorn.org/news/timeless/VStagingTips.html>. (URL accessed Apr 2014).

66. María E Otegui, Raymond Bonhomme. Grain yield components in maize: I. Ear growth and kernel set. *Field Crops Research*. V. 56. Issue 3. 1998. P. 247–256).

67. Rodriguez Mery Nair Saenz, Cassab Gladys Iliana. (2021). Primary Root and Mesocotyl Elongation in Maize Seedlings: Two Organs with Antagonistic Growth below the Soil Surface // *Plants*.- 10 (7). doi: [10.3390/plants10071274](https://doi.org/10.3390/plants10071274).

68. Hallauer A.R., Carena M.J. Maize Breeding. In: Carena M.J., editor. *Handbook of Plant Breeding: Cereals*. Springer; New York, NY, USA: 2009. pp. 3–98. [CrossRef] [Google Scholar]

69. Hallauer A.R., Miranda J.B. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. 2nd ed. Iowa State University Press; Ames, IA, USA: 2010. p. 664. [CrossRef] [Google Scholar]

70. Ribault J.M., Bétran J., Monneveux P., Setter T. Drought tolerance in maize. In: Bennetzen J.L., Hake S.C., editors. *Handbook of Maize: Its Biology*. Springer; New York, NY, USA: 2009. pp. 311–344. [CrossRef] [Google Scholar]

71. Wallace J.G., Larsson S.J., Buckler E.S. Entering the second century of maize quantitative genetics. *J. Hered.* 2014;112:30–38. doi: [10.1038/hdy.2013.6](https://doi.org/10.1038/hdy.2013.6). [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

72. Brooks at. el., 2009; Grassini at. el., 2015; Hamidov at. el., 2018)

73. Brooks S., Thompson J., Odame H., Kibarara B., Nderitu S., Karin F., Millstone E. *Environmental Change and Maize Innovation in Kenya: Exploring*

Pathways in and Out of Maize. STEPS Centre; Brighton, UK: 2009. STEPS Working Paper 36. [Google Scholar]

74. Grassini P., van Bussel L.G.J., van Wart J., Wolf J., Claessens L., Yanga H., Boogaard H., de Groot H., van Ittersum M.K., Cassman K.G. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crops Res.* 2015;177:49–63. doi: 10.1016/j.fcr.2015.03.004. [CrossRef] [Google Scholar]

75. Hamidov A., Helming K., Bellocchi G., Bojar W., Dalgaard T., Ghaley B.B., Hoffmann C., Holman I., Holzkämper A., Krzeminska D., et al. Impacts of climate change adaptation options on soil functions: A review of European case-studies. *Land Degrad. Dev.* 2018;29:2378–2389. doi: 10.1002/ldr.3006. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

76. Wallace J.G., Larsson S.J., Buckler E.S. Entering the second century of maize quantitative genetics. *J. Hered.* 2014;112:30–38. doi: 10.1038/hdy.2013.6. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

77. Wuethrich, Kirby. 1997. Vegetative and Reproductive Phenology of Fourteen Hybrids of Dent Corn (*Zea mays* L.). M.S. thesis, Purdue Univ.

78. Nielsen, R.L. (Bob). 2017. Heat Unit Concepts Related to Corn Development. Corny News Network, Purdue Univ.

79.D. Ignjatovic-Micic, J. Vancetovic, D. Trbovic, Z. Dumanovic, M. Kostadinovic and S. Bozinovic, Grain Nutrient Composition of Maize (*Zea mays* L.) Drought-Tolerant Populations, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63 (2015), 1251–1260. <https://doi.org/10.1021/jf504301u>

80. E. T. Nuss and S. A. Tanumihardjo, Quality protein maize for Africa: closing the protein inadequacy gap in vulnerable populations, *Advance in Nutritions*, 2 (2011), 217–224. <https://doi.org/10.3945/an.110.000182>

81. O. Pechanova, T. Takáč, J. Šamaj and T. Pechan, Maize proteomics: An insight into the biology of an important cereal crop, *Proteomics*, 13 (2013), 637–662. <https://doi.org/10.1002/pmic.201200275>

82. Jiang, X.; Tong, L.; Kang, S.; Li, F.; Li, D.; Qin, Y.; Shi, R.; Li, J. Planting Density Affected Biomass and Grain Yield of Maize for Seed Production in an Arid Region of Northwest China. *J. Arid Land* 2018, 10, 292–303. [Google Scholar] [CrossRef]

83. D. Jin, X. Liu, X. Zheng, X. Wang and J. He, Preparation of antioxidative corn protein hydrolysates, purification and evaluation of three novel corn antioxidant peptides, *Food Chemistry*, 204 (2016), 427–436.

84. W.-H. Huang, J. Sun, H. He, H.-W. Dong and J.-T. Li, Antihypertensive effect of corn peptides, produced by a continuous production in enzymatic membrane reactor, in spontaneously hypertensive rats, *Food Chemistry*, 128 (2011), 968–973. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.127>

85. Y. Wu, X. Pan, S. Zhang, W. Wang, M. Cai, Y. Li, F. Yang, H. Guo, Protective effect of corn peptides against alcoholic liver injury in men with chronic alcohol consumption: a randomized double-blind placebo-controlled study, *Lipids in Health and Disease*, 13 (2014), 192. <https://doi.org/10.1186/1476-511x-13-192>

86. L. Wang, Jin Xu, Xuerong Fan, Qiang Wang, Ping Wang, Jiugang Yuan, Yuanyuan Yu, Ying Zhang, Li Cui, The effect of branched limit dextrin on corn and waxy corn gelatinization and retrogradation, *International Journal of Biological Macromolecules*, 106 (2018), 116–122.

87. N. Seetapan, N. Limpanyoon, C. Gamonpilas, P. Methacanon and A. Fuongfuchat, Effect of cryogenic freezing on textural properties and microstructure of rice flour/tapioca starch blend gel, *Journal of Food Engineering*, 151 (2015), 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.025>

88. K. Lu, M. Miao, F. Ye, S. W. Cui, X. Li and Bo Jiang, Impact of dual-enzyme treatment on the octenylsuccinic anhydride esterification of soluble starch nanoparticle, *Carbohydrate Polymers*, 147 (2016), 392–400.

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.012>

89. Sachs, M.M., Subbaiah, C.C., Saab, I.N. (1996). Anaerobic gene expression and flooding tolerance in maize. *Journal of Experimental Botany* 47: 1-15

90. S. L. Scheffler, X. Wang, L. Huang, F. San-Martin Gonzalez and Y. Yao, Phytoglycogen Octenyl Succinate, an Amphiphilic Carbohydrate Nanoparticle, and ϵ -Polylysine To Improve Lipid Oxidative Stability of Emulsions, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 58 (2010), 660–667. <https://doi.org/10.1021/jf903170b>

91. Schwartz, R.C., Bell, J.M., Colaizzi, P.D., Baumhardt, R.L., & Hiltbrunner, B.A. (2022). Response of maize hybrids under limited irrigation capacities: Crop water use. *Agronomy Journal*, 114(2), 1324-1337. doi: 10.1002/agj2.21011.

92. Salvador, R.J. and Pearce, R.B. 1995. Proposed standard system of nomenclature for maize grain filling events and concepts. *Maydica*, Bergamo 40(1):141-146.

93. Singh, R.P.; Das, S.K.; Bhaskara, R.U.M.; Narayana, R.M. *Towards Sustainable Dryland Agricultural Practices*; Research Bulletin; Central Research Institute for Dryland Agriculture: Hyderabad, India, 1990; p. 106.

94. Srinivasan, G., Zaidi, P. H., Singh, N. N., Sanchez, C. (2004). Increasing productivity through genetic improvement for tolerance to drought and excess-moisture stress in Maize (*Zea mays* L.). Seng, V., Craswell, E., Fukai, S., and Fischer, K. eds, *Australian Centre for International Agricultural Research* Canberra. pp. 227-239.

95. Subbaiah, C.C., Sachs, M.M. (2003). Molecular and Cellular Adaptations of Maize to Flooding Stress. *Annals of Botany* 91: 119-127.
96. Subedi, K.D., Ma, B.L. (2005). Ear Position, Leaf Area, and Contribution of Individual Leaves to Grain Yield in Conventional and Leafy Maize Hybrids. *Crop Science* 45: 2246-2257.
97. Suszkiw, J. (1994). After the flood - satellites show damage to Midwest farmlands. *Agricultural Research* 42: 20-21.
98. Tang, L.; Ma, W.; Noor, M.A.; Li, L.; Hou, H.; Zhang, X.; Zhao, M. Density Resistance Evaluation of Maize Varieties Through New “Density–Yield Model” and Quantification of Varietal Response to Gradual Planting Density Pressure. *Sci. Rep.* 2018, 8, 17281. [Google Scholar] [CrossRef]
99. Tojo Soler, C.M., Sentelhas, P.C., Hoogenboom, G. (2005). Thermal time for phenological development of four maize hybrids grown off-season in a subtropical environment. *Journal of Agricultural Science* 143: 169-182.
100. Tokatlidis, I.S. Adapting Maize Crop to Climate Change. *Agron. Sustain. Dev.* 2013, 33, 63–79.
101. Yue, H.; Gauch, H.G.; Wei, J.; Xie, J.; Chen, S.; Peng, H.; Bu, J.; Jiang, X. Genotype by Environment Interaction Analysis for Grain Yield and Yield Components of Summer Maize Hybrids across the Huanghuaihai Region in China. *Agriculture* 2022, 12, 602. [Google Scholar] [CrossRef]
102. Zhang, M.; Song, Z.W.; Chen, T.; Yan, X.G.; Zhu, P.; Ren, J. Differences in Responses of Biomass Production and Grain-Filling to Planting Density Between Spring Maize Cultivars. *J. Maize Sci.* 2015, 23, 57–65. [Google Scholar]
103. Zhang, Y.; Xu, Z.; Li, J.; Wang, R. Optimum Planting Density Improves Resource Use Efficiency and Yield Stability of Rainfed Maize in Semiarid Climate. *Front. Plant Sci.* 2021, 12

104. Zinselmeier, C., Westgate, M.E., Schussler, J.R., Jones, R.J. (1995). Low water potential disrupts carbohydrate metabolism in maize (*Zea mays* L.) ovaries. *Plant Physiology* 107: 385-391.

105. Valentinuz, O.R., Tollenaar, M. (2004). Vertical profile of leaf senescence during the grain-filling period in older and newer maize hybrids. *Crop Science* 44: 827-834

106. Salvador and Pearce, 1995.

107. Huang at. el., 2011; Lu at. el., 2016; Wu at. el., 2014