

АГРОХИМИЯ

ГРНТИ 68.33.29

DOI: 10.51886/1999-740X_2025_1_56

Б.М. Амиров^{1*}, С.О. Базарбаев^{1*}, О. Жандыбаев¹, О.С. Курманакын¹
МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ДОЗ И СООТНОШЕНИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ЗАСОЛЕННЫХ
СВЕТЛЫХ СЕРОЗЕМАХ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

*Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии
имени У.У. Успанова, 050060, Алматы, пр. аль-Фараби, 75 В, Казахстан,*

**e-mail: bak.amirov@gmail.com, sultan-13_01@mail.ru*

Аннотация. В статье представлены результаты изучения различных доз и соотношений минеральных удобрений на староорошаемых засоленных светлых сероземах Шаульдерского массива в Туркестанской области на кукурузе, выращиваемой на зерно, для оптимизации минерального питания растений и моделирования формирования биомассы и урожайности. Проведен анализ динамики накопления сырой биомассы и формирования урожайности, а также экономической эффективности применения удобрений под кукурузу. Исследование основывалось на использовании принципов многофакторных полевых опытов с применением пошагового регрессионного анализа. Исследования показали, что на засоленном светлом сероземе биомасса кукурузы увеличивается с ростом доз удобрений, особенно азотных. Без удобрений биомасса одного растения составляет 328 и 408 г в фазы цветения и созревания, а при максимальных дозах N200P150K150 она достигала 641 и 907 г, соответственно. В фазе цветения, как показывает уравнение регрессии с высоким коэффициентом детерминации ($R^2=0,963$), отмечается положительный эффект азота и фосфора, причем первый оказывает наибольшее влияние, а эффект от калия оказался незначимым ($P>0,05$). При созревании также получена модель множественной регрессии с высоким коэффициентом детерминации ($R^2=0,979$), подтверждающий, что удобрения ответственны за 98% изменчивости биомассы, где все три элемента питания в одностороннем действии и азот во взаимодействии с калием оказывают положительное влияние. Уравнение регрессии, описывающее зависимость урожайности зерна кукурузы с высокой точностью ($R^2=0,979$), указывает на ведущую позитивную роль азота и фосфора, но взаимодействие азота с калием оказывало негативное влияние на продуктивность. Урожайность в варианте без удобрений составляет 6,3 т/га, а в варианте с дозами N200P150K150 - 13,0 т/га, при этом длина початка составляет 16,2 и 23,9 см, ширина 4,2 и 5,2 см, число зерен в початке 375 и 593 шт., масса 1000 зерен 303 и 427 г, соответственно. Регрессионная модель с достаточно высоким коэффициентом детерминации ($R^2=0,849$) показывает, что фосфор стимулирует зернообразование, а избыток азота может его снижать на фоне токсического эффекта засоленности почвы. На засоленных почвах экономически наиболее выгодны умеренные и повышенные дозы удобрений - N120P90K0 и N160P120K30, обеспечивающие баланс урожайности и затрат при рентабельности 119 и 107%, соответственно. Максимальный доход (1167 тыс. тг/га), полученный при внесении доз N200P150K150, сопровождается высокими затратами (699 тыс. тг/га). Таким образом, умеренные дозы удобрений более эффективны для повышения урожая кукурузы на засоленных почвах.

Ключевые слова: кукуруза, зерно, засоленная почва, плодородие, моделирование, урожайность, удобрение, элементы питания.

ВВЕДЕНИЕ

Кукуруза на зерно является одной из самых распространенных и значимых в мировом сельском хозяйстве культур. По данным ФАО в 2023 году мировая

посевная площадь под кукурузой составляла 208,2 млн га, а валовое производство зерна – 1241,6 млн тонн, при средней урожайности – 5,96 тыс 1 га. В Казахстане на площади 190,4 тыс. га

произведено 1,189 тыс. тонн, при урожайности 6,2 т/га. Наибольшие урожаи получают в США – 11,1 т/га, Италии – 10,7 т/га, Франции – 9,7 т/га, Канаде – 9,9 т/га и Германии – 9,6 т/га [1]. Кукуруза – растение разностороннего назначения. Зерно содержит 9-12% белка, 4–8% жира и 65–70% углеводов. Один килограмм зерна кукурузы содержит 1,35 кормовых ед., в то время, как ячменя – 1,18, фуражной пшеницы – 1,05, овса – 1. Регулярное употребление в пищу кукурузы помогает снизить уровень холестерина, улучшает работу пищеварительного тракта. Кукурузные зерна богаты витаминами: РР, Е, D, К и В (В1, В2), аскорбиновой кислотой, в ней много ценных минеральных веществ: соли калия, фосфора, кальция, магния, железа, никеля и меди. В кукурузном белке присутствуют незаменимые аминокислоты: триптофан и лизин [2-4].

Эффективность применения минерального питания играет ключевую роль в формировании урожайности кукурузы. В условиях засоленности почв от сбалансированного питания зависит рост и продуктивность растений [5].

В Туркестанской области почвы сильно подвержены засолению, причем 14,2% имеют сильную степень засоле-

ния, 70,4% – среднюю, а 15,4% – слабую. Наиболее высокое распространение засоленных почв наблюдается в Мактааральском, Шардаринском, Ордабасынском и Отырарском районах [6, 7]. Преобладающий тип засоления в Шаульдерском массиве орошения Отырарского района – хлоридно-сульфатный и сульфатно-хлоридный иногда с присутствием соды [8]. Все почвы массива карбонатные и характеризуются высокой щелочностью (рН=8-9). Территория массива относится к гидрогеологической области интенсивного внешнего притока и затрудненного оттока грунтовых вод. Почвы данного массива склонны к вторичному засолению [9, 10].

В настоящей статье представлены результаты исследований по формированию урожая кукурузы на зерно, возделываемой в условиях засоленных светлых сероземов Шаульдерского массива орошения Туркестанской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые опыты с кукурузой на зерно были проведены на землях крестьянского хозяйства «Сарқырама», с/о Талапты, Отырарский район, Туркестанская область.

Координаты опытного участка – 42°42'21.6"N 68°20'11.2"E. (рисунок 1).



Рисунок 1 – Карта размещения опытного поля кукурузы

Основные метеорологические показатели за период с октября 2023 г. по октябрь 2024 г. представлены на рисунках 2 и 3 по данным метеостанции

г. Арыс. Данные включают ежемесячные показатели осадков и температуры, а также их отклонения от многолетних значений.



Рисунок 2 – Атмосферные осадки (мм) за период октябрь 2023 г. - октябрь 2024 г. в районе проведения полевых опытов (данные метеостанции г. Арыс)

За период октябрь 2023 г. - октябрь 2024 г. выпало 339 мм осадков, что на 73,2 мм выше среднемноголетнего значения (183,7 мм). Это свидетельствует о более влажных условиях в исследуемый период по сравнению с многолетней нормой. Самые высокие среднемесячные показатели осадков зафиксированы в марте (51,7 мм) и мае (48 мм). В июне и августе выпало менее 1 мм

осадков соответственно. Самое большое положительное отклонение наблюдалось в мае (36 мм), тогда как наибольшее отрицательное отклонение зафиксировано в феврале (-16,8 мм), когда осадков выпало значительно меньше нормы. В целом, отмечается высокий уровень осадков в межсезонье и весной, тогда как летние месяцы остаются засушливыми.



Рисунок 3 – Среднесуточная температура воздуха (°C) за период октябрь 2023 г. - октябрь 2024 г. в районе проведения полевых опытов (данные метеостанции г. Арыс)

Средняя температура за учетный период составила 14,8°C, что на 2,8°C выше средней многолетней нормы (12,0°C). Это указывает на общую тенденцию к потеплению в течение периода. Самые высокие средние месячные температуры зафиксированы в июне (29,2°C), июле (29,8°C) и августе (27,0°C), что превышает многолетние нормы на 1,2–2,7°C (рисунок 3).

Таким образом, осенне-весенний период оказался более влажным, что положительно сказалось на росте и развитии кукурузы на зерно. К тому же, если учесть традиционное использование промывных поливов в зимне-ранневесенний периоды в регионе, где почвы в той или иной степени засолены, запасы влаги в предпосевной период были достаточны для получения дружных всходов растений и полноценного роста и развития до возобновления летних поливов.

Шаульдерский массив, представляет собой зону с аридным и полуаридным климатом, где преобладающим типом засоления почв являются хлоридно-сульфатный и сульфатно-хлоридный. Здесь засоление почв обусловлено несколькими основными факторами. При близком расположении грунтовых вод к поверхности происходит капиллярный подъем солей, что приводит к

их накоплению в верхних слоях почвы. Высокая температура и низкая влажность воздуха способствуют активному испарению, из-за чего соли остаются в поверхностных слоях почвы, образуя так называемую соляную корку. Использование минерализованной воды для полива и недостаточная мелиоративная обработка приводят к вторичному засолению.

Одним из эффективных приемов снижения засоленных почв, используемых в регионе, является регулярное их выщелачивание путем промывания в осенне-ранневесенний период. Вода при промывке вымывает растворимые соли, такие как хлориды и сульфаты вниз по профилю, что эффективно при хорошей почвенной проницаемости. При неправильной промывке или высоком уровне грунтовых вод соли могут вернуться к поверхности, вызывая вторичное засоление. Кроме того, обильные осенне-весенние осадки усиливают инфильтрацию воды и вымывание солей в нижние горизонты.

Почва опытного участка представлена светлым сероземом с содержанием солей в пахотном и подпахотном слоях 0,3–0,5%. Основные характеристики светлого серозема почвы под кукурузой в КХ «Сарқырама» приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные агрохимические характеристики светлого серозема под кукурузой, КХ «Сарқырама», Отырарский район, Туркестанская область, весна 2024 г.

Слой почвы, см	Общий гумус, %	Легкогидролизуемый азот, мг/кг	Подвижный фосфор, мг/кг	Обменный калий, мг/кг	pH	CO ₂ , %	Сумма солей, %
0-25	0,83	33,6	18,0	440,0	8,94	11,13	0,281
25-50	0,58	30,8	4,0	370,0	8,51	11,06	0,499

Пахотный слой почвы под кукурузой отличается небольшим содержанием гумуса –0,83%, низким содержанием гидролизуемого азота –33,6 мг/кг, низким - подвижного фосфора –18 мг/кг,

высоким – обменного калия –440,0 мг/кг. Щелочность почвы высокая – pH=8,94. Распределение суммы солей в изучаемых слоях почвы имеет тенденцию к увеличению, составляя 0,281% в верх-

нем слое и 0,499% в нижнем. Вероятно, в результате промывных поливов значительная часть растворимых солей переместилась в нижние горизонты, однако их содержание остается высоким в подпахотном слое на глубине 25–50 см.

Полевые опыты под кукурузой были заложены по неполной факториальной схеме, представляющую 1/9 (6×6×6), с 24 вариантами в двух повторностях и в 4-х блоках для нивелирования пестроты участка. Площадь опытной делянки - 50 м².

Дозы удобрений для удобства обработки были закодированы: одинарные дозы по азоту 40 кг/га, по фосфору и калию – по 30 кг/га. Комбинации доз и соотношении удобрений позволяют использовать метод статистической обработки для опытов с неполными факториальными схемами и проверить статистическую значимость факторов и их вклад в изменение результирующего показателя с помощью коэффициентов детерминации (R^2) и критериев, таких как критерий Фишера, для оценки качества модели [11-13].

Для посева кукурузы (15.05.2024 г.) использовали гибрид - Гладиус F1 - ФАО 700 (Syngenta, Italia), предназначенный для зон с высоким температурным режимом. Растения имеют хорошо развитый стебель с полупрямостоящими листьями. Початки с глубокой насадкой крупных зерен. Гибрид не обладает избирательностью к почве, срок вегетации составляет 130-135 дней.

Агротехника возделывания культуры в опыте принятая в регионе.

Перед закладкой полевых опытов, а также в основные фазы вегетации растений были проведены отборы почвенных проб и выполнены агрохимические анализы для определения содержания основных питательных элементов и уровня засоления в пахотном и подпахотном горизонтах. В качестве удобрений использовали аммиачную

селитру (34 %), аммофос (12-52 %) и сульфат калия (51 %), которые вносили однократно перед посевом культуры над предпосевную культивацию.

В основные фазы роста и развития растений кукурузы проведены биометрические учеты с отбором растительных образцов для изучения динамики ростовых параметров в зависимости от различных видов и доз минеральных удобрений [14].

Аналитические работы с отобранными почвенными образцами были выполнены по общепринятым методикам и ГОСТам.

Биометрические исследования по фазам развития растений проводили по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [15].

Экономическая эффективность изучаемых вариантов удобрений определялась с учетом фактических технологических затрат и стоимости использованных средств.

Статистическая обработка полученных данных проведена методом дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов с использованием программного приложения Excell на персональном компьютере.

В современных условиях развития системы земледелия и растениеводства возникает потребность в прогнозе урожайности культур, соответственно оценки продукционных показателей в ходе формирования конечного урожая. Существует множество подходов к оценке продуктивности культур [16-18].

Полевые опыты с традиционно малым количеством вариантов не могут обеспечить сбор необходимой информации для определения действия разных видов удобрений, мелиорантов и других независимых факторов, их взаимодействия. Использование неполных факториальных схем позволяет при широкой амплитуде доз минеральных удобрений с использованием математических

методов установить закономерности их действия и взаимодействия [19, 20].

Для установления количественной зависимости урожая культур от действия удобрений и их сочетаний исследователи в основном использовали модель с половинными и целыми степенями, а для описания парных взаимодействий изучаемых в опыте факторов – с половинными степенями [21]. Имея опыт планирования и проведения факториальных полевых исследований [22], нами в настоящих исследованиях были оценены различные регрессионные уравнения, наиболее точно описывающие продукционные процессы при формировании урожая кукурузы в зависимости от удобрений в условиях засоленных светлых сероземов.

Составление регрессионного уравнения осуществлялось по программному приложению Excell, позволяющему вести последовательную оценку и исключение незначимых коэффициентов регрессии ($P < 0,05$). Согласованность теоретических и фактических данных оценивалась с использованием коэффициента детерминации (R^2).

Действия и взаимодействия изучаемых факторов были представлены половинной моделью в виде уравнения регрессии:

$$Y = a_0 + a_1N + a_2P + a_3K + a_4N^{0,5} + a_5P^{0,5} + a_6K^{0,5} + a_7(NP)^{0,5} + a_8(NK)^{0,5} + a_9(PK)^{0,5} \quad (1),$$

где:

Y – результирующий (зависимый) фактор;

a_0 – свободный член, отражающий величину результирующего фактора без внесения минеральных удобрений; $a_1, a_2, a_3, \dots a_n$ – регрессионные коэффи-

циенты, отражающие действие и взаимодействие факторов;

N, P и K – изучаемые в опыте факторы (N – азотные, P – фосфорные и K – калийные удобрения, кг/га).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Накопление сырой надземной биомассы кукурузы — важный показатель, отражающий интенсивность роста растений и эффективность фотосинтетической деятельности в течение всего вегетационного периода. Этот показатель напрямую связан с потенциальной урожайностью и зависит от многих факторов, включая уровень минерального питания, качество почвы, климатические условия и агротехнические мероприятия. Формирование сырой биомассы происходит наиболее активно в фазе цветения и достигает максимума в фазе созревания, когда растение накапливает наибольшее количество органического вещества. Оптимизация условий роста, таких как сбалансированное внесение азота, фосфора и калия, способствует улучшению структуры и общего состояния растения, что в конечном итоге повышает накопление биомассы [23]. Анализ рисунка 4 показывает, что на засоленном светлом сероземе накопление биомассы кукурузы увеличивается с повышением доз удобрений, особенно азотных и фосфорных. Азот оказывает наиболее значительное влияние на прирост биомассы, особенно в сочетании с фосфором и калием. Например, при внесении N200 в комбинации с высокими дозами фосфора и калия (вариант 24) наблюдается максимальное накопление биомассы на обоих этапах вегетации.

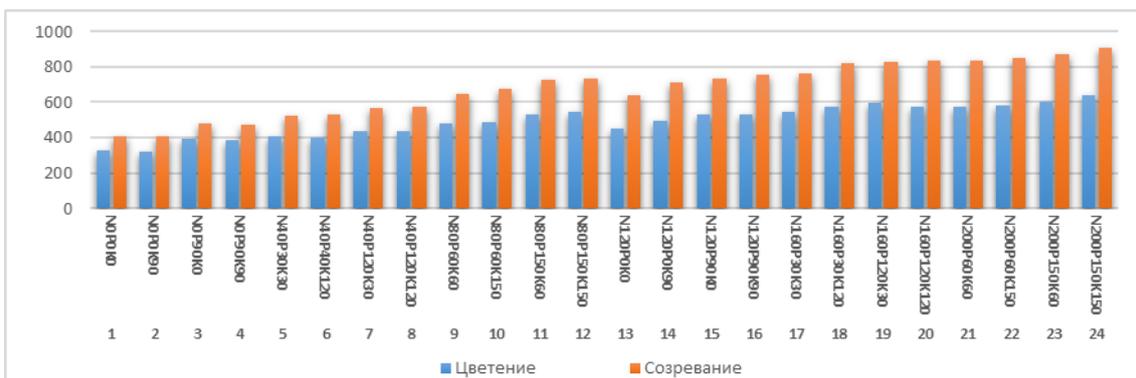


Рисунок 4 - Динамика накопления сырой надземной биомассы кукурузы на засоленном светлом сероземе в зависимости от удобрений, г/растение, КХ «Сарқырама», Отырарский район, Туркестанская область, 2024 г.

Фосфор также оказывает значительное влияние на накопление биомассы, особенно в сочетании с высокими дозами азота. Сравнение вариантов 1 (N0P0K0) и 4 (N0P90K90) показывает, что фосфор без азота способствует умеренному увеличению биомассы — с 328 до 388 г/растение в фазе цветения. Калий оказывает менее выраженное, но положительное влияние на накопление биомассы. Варьирование его доз, особенно при высоких уровнях азота и фосфора, способствует дополнительному увеличению биомассы в фазе созревания.

Таким образом, эффективное накопление биомассы кукурузы достигается при максимальных дозах азота и оптимальном сочетании с фосфором и калием, что особенно важно для оптимизации урожайности на засоленных землях.

Накопление сырой надземной биомассы кукурузы на засоленном светлом сероземе в разные фазы развития в зависимости от удобрений также достаточно точно описывается уравнениями множественной регрессии (1 и 2).

Сырая надземная масса растений в фазе цветения, г/раст.:

$$Y = 331,67 + 0,701N + 6,132N^{0,5} + 0,518P; R^2=0,963 \quad (1)$$

Коэффициент детерминации $R^2=0,963$ в модели (1) указывает, что удобрения обеспечивают 96,3% вариации биомассы на этой стадии. Азот оказывает положительное влияние как через линейную составляющую, так и через квадратную корневую, на увеличение биомассы. Фосфор также оказывает положительное, хотя и более слабое линейное влияние, что свидетельствует о его поддерживающей роли в росте биомассы на стадии цветения.

Сырая надземная масса растений в фазе созревания, г/раст.:

$$Y = 409,24 + 1,134N + 0,578P + 10,205N^{0,5} + 0,315(NK)^{0,5}; R^2=0,979 \quad (2)$$

Коэффициент детерминации $R^2=0,979$, указывает на то, что удобрения ответственны за 97,9% изменчивости биомассы. Согласно данной модели азот продолжает играть ключевую роль, фосфор также оказывает положительное влияние, а сочетание азота с калием подтверждает важность этого взаимодействия для оптимального накопления биомассы на завершающей стадии развития кукурузы.

Таким образом, полученные данные демонстрируют, как дозы удобрений влияют на накопление сырой надземной биомассы кукурузы в условиях засоленного светлого серозема в раз-

личные фазы развития растения кукурузы. Уравнения множественной регрессии позволяют более точно оценить вклад удобрений в накопление биомассы. Азот является основным фактором, определяющим накопление биомассы кукурузы, как на стадии цветения, так и на стадии созревания. Фосфор оказывает положительное, но менее выраженное влияние на накопление биомассы в период цветения-созревания кукурузы. В условиях засоленных почв важным фактором для роста и развития растений является взаимодействие азота и калия. Разработанные модели позволяют точно прогнозировать накопление биомассы кукурузы в условиях засоленного светлого серозема.

Изменение условий минерального питания в конечном итоге существенно повлияло на урожайность и структуру урожая кукурузы (таблица 2).

Урожайность зерна в варианте без удобрений (вариант 1) составляет 6,3 т/га. Максимальная урожайность в опыте (13,0 т/га) достигается при внесении дозы N200P150K150 (вариант 24), что показывает позитивное влияние высоких доз азота, фосфора и калия даже в условиях значительного засоления. Урожайность возрастает с увеличением доз удобрений, особенно при добавлении фосфора и калия в сочетании с азотом.

Длина початка кукурузы увеличивается с ростом доз удобрений, достигая максимума в 23,9 см (вариант 24). Это указывает на благоприятное влияние удобрений на развитие початка. Ширина початка колеблется от 3,4 см (вариант 9) до 5,5 см (вариант 7).

Наибольшая ширина наблюдается при умеренных дозах азота, фосфора, калия, и это подтверждает, что при оптимальных дозах удобрений улучшаются структурные показатели початка. Максимальное количество зерен в початке кукурузы (633 шт.) отмечается при дозе N80P150K150 (вариант 12). Это свидетельствует о том, что удобрения стимулируют зернообразование, хотя влияние засоления все же ограничивает развитие початка.

Масса 1000 зерен кукурузы варьируется от 303 г (без удобрений, вариант 1) до 427 г (вариант 24 с N200P150K150). Это показывает, что повышение доз удобрений на засоленном светлом сероземе также способствует увеличению массы зерен, что улучшает качество урожая.

Таким образом, на засоленных почвах применение удобрений положительно влияет на урожайность и структуру урожая кукурузы, несмотря на негативное влияние солей. Наилучшие показатели структурных элементов урожая и урожайности достигаются при высоких дозах удобрений N200P150K150. Это подтверждает, что кукуруза хорошо реагирует на минеральное питание даже в стрессовых условиях засоления.

Из структурных элементов урожая кукурузы на засоленных почвах только количество зерен в початке поддается описанию математической моделью. Остальные элементы структуры урожая не имеют достоверную зависимость от применяемых доз и соотношений минеральных удобрений, показав незначимый уровень ($F < 3,47$).

Таблица 2 - Урожайность и элементы структуры урожая кукурузы на засоленном светлом сероземе в зависимости от уровня минерального питания, КХ «Сарқырама», Отырарский район, Туркестанская область, 2024 г.

№ варианта	Дозы удобрений	Урожай зерна, т/га	Длина початка, см	Ширина початка, см	Количество зерен в початке, шт.	Масса 1000 зерен, г
1	N0P0K0	6,3	16,2	4,2	375	303
2	N0P0K90	6,2	22,5	5,0	350	327
3	N0P90K0	7,5	18,7	4,6	451	324
4	N0P90K90	7,5	17,9	4,4	426	346
5	N40P30K30	8,7	18,4	4,6	502	315
6	N40P40K120	7,9	21,6	4,8	436	347
7	N40P120K30	9,9	22,4	5,5	522	349
8	N40P120K120	9,7	17,7	3,8	518	343
9	N80P60K60	10,2	16,1	3,4	570	324
10	N80P60K150	10,2	19,2	4,7	550	350
11	N80P150K60	11,7	20,8	4,8	611	349
12	N80P150K150	11,4	18,4	4,2	633	341
13	N120P0K0	10,1	20,9	5,2	572	338
14	N120P0K90	9,9	17,2	4,3	596	336
15	N120P90K0	11,2	18,6	4,6	581	370
16	N120P90K90	11,0	21,3	5,3	625	336
17	N160P30K30	11,2	17,7	5,0	540	387
18	N160P30K120	10,3	18,0	4,5	550	363
19	N160P120K30	12,3	18,0	4,3	617	369
20	N160P120K120	11,4	21,2	5,1	590	387
21	N200P60K60	11,5	22,7	5,4	566	417
22	N200P60K150	11,4	15,7	4,2	550	405
23	N200P150K60	12,6	17,9	4,2	578	426
24	N200P150K150	13,0	23,9	5,2	593	427
НСР05		1,22				7,5

Зависимость количества зерен в початке от удобрений, шт.:

$$Y = 372,8 - 1,034N + 26,59N^{0,5} + 0,442P; R^2 = 0,849 \quad (3)$$

Полученная полиномиальная модель (3) указывает на положительное влияние фосфора и нелинейное положительное влияние азота, в то время как линейный член азота показывает отрицательное влияние. Отрицательный коэффициент при азоте означает, что при высоких дозах азота наблюдается снижение количества зерен, вероятно, из-за токсического эффекта засоления в сочетании с избытком азота. Фосфор оказывает положительное влияние на количество зерен даже

на засоленных почвах. Уравнение объясняет, что 85% изменчивости обусловлено действием азотных и фосфорных удобрений, что свидетельствует о хорошей прогнозирующей способности модели.

Зависимость урожая зерна кукурузы от удобрений, т/га:

$$Y = 6,2 + 0,35N^{0,5} + 0,015P - 0,004(NK)^{0,5}; R^2 = 0,979 \quad (4)$$

Установлено нелинейное положительное влияние азота, умеренное положительное влияние фосфора и негативный эффект от сочетания азота и калия при засолении на урожай зерна кукурузы. Высокое значение R^2 указывает на высокую точность модели

(98%) для оценки урожайности кукурузы в зависимости от минеральных удобрений на засоленной почве.

Таким образом, полученные уравнения подчеркивают, что в условиях засоления оптимальные дозы и соотношения удобрений играют критическую роль. На засоленных почвах азот и фосфор играют положительную роль в формировании зерна кукурузы, в то время как сочетание высоких доз азота с калием могут вызывать негативный эффект из-за осмотического стресса.

В таблице 3 представлена корреляционная матрица, которая показывает степень взаимосвязи между урожаем зерна и его структурными элементами, такими как длина и ширина початка, количество зерен в початке и масса 1000 зерен.

Анализ показывает, что между урожаем зерна и длиной початка есть сильная положительная связь ($r=0,728$), указывающая на то, что больший размер початка может способствовать повышению урожая. Урожай зерна и ширина початка также хорошо коррелируют ($r=0,687$), что также подтверждает важность ширины початка для урожайности. Получена сильная положительная связь между урожаем зерна и массой 1000 зерен ($r=0,865$), показывающая, что большее количество массы зерен также определяет более высокий урожай зерна с единицы площади. Очень высокая корреляция между длиной и шириной початка ($r=0,907$) указывает на характерную закономерность пропорционального увеличения длины початка с увеличением его ширины. Связь количества зерен в початке с одной стороны, и длины початка ($r=0,630$) и ширины початка ($r=0,592$), с другой, также умеренно тесная, что указывает на то, что размер початка может влиять на количество зерен, но не так значительно, как другие факторы. Наиболее значимые факторы, влияющие на урожай зерна, это количество зерен в початке и масса 1000 зерен с высокими коэффициентами корреляции, $r=0,948$ и $r=0,865$, соответственно.

лируют ($r=0,687$), что также подтверждает важность ширины початка для урожайности. Получена сильная положительная связь между урожаем зерна и массой 1000 зерен ($r=0,865$), показывающая, что большее количество массы зерен также определяет более высокий урожай зерна с единицы площади. Очень высокая корреляция между длиной и шириной початка ($r=0,907$) указывает на характерную закономерность пропорционального увеличения длины початка с увеличением его ширины. Связь количества зерен в початке с одной стороны, и длины початка ($r=0,630$) и ширины початка ($r=0,592$), с другой, также умеренно тесная, что указывает на то, что размер початка может влиять на количество зерен, но не так значительно, как другие факторы. Наиболее значимые факторы, влияющие на урожай зерна, это количество зерен в початке и масса 1000 зерен с высокими коэффициентами корреляции, $r=0,948$ и $r=0,865$, соответственно.

Таблица 3 - Корреляционная матрица зависимости урожая и его структурных элементов, 2024 г.

	Урожай зерна, т/га	Длина початка, см	Ширина початка, см	Количество зерен в початке, шт	Масса 1000 зерен, г
Урожай зерна, т/га	1,000				
Длина початка, см	0,728	1,000			
Ширина початка, см	0,687	0,907	1,000		
Количество зерен в початке, шт	0,948	0,630	0,592	1,000	
Масса 1000 зерен, г	0,865	0,688	0,673	0,736	1,000

Основные экономические показатели производства кукурузы на зерно включают затраты, валовой доход, условно чистый доход, себестоимость и рентабельность, что позволяет оценить эффективность каждого варианта удобрений (таблица 4).

Экономический анализ производства кукурузы на зерно при удобрении

на засоленном светлом сероземе показывает, что затраты варьировали от 323 тыс. тенге/га (вариант 1 без удобрений) до 699 тыс. тенге/га (вариант 24 с N200P150K150). Известно, что варианты с высокими дозами удобрений требуют больших затрат, что увеличивает себестоимость и снижает рентабельность. Валовой доход заметно

повышается с увеличением доз удобрений, достигая максимума в варианте 24 (N200P150K150) - 1167 тыс. тенге/га. Некоторые сравнительно умеренные дозы удобрений вариант 11 (N80P150K60) - 1052 тыс. тенге/га и вариант 19 (N160P120K30) - 1106 тыс. тенге/га, также показывают высокий валовой доход, что говорит об эффективности данных сочетаний удобрений.

Условно чистый доход, отражающий прибыльность после вычета затрат, показывает, что самые выгодные варианты - вариант 19 (N160P120K30) - 572 тыс. тенге/га, вариант 15 (N120P90K0) - 545 тыс. тенге/га и вариант 11 (N80P150K60) - 515 тыс. тенге/га. Минимальные значения условно чистого дохода наблюдаются у вариантов с минимальными или максимальными дозами удобрений: вариант 1 (N0P0K90) - 145 тыс. тенге/га и вариант 22 (N200P60K150) - 388 тыс. тенге/га, где расходы не компенсируются достаточным приростом дохода.

Себестоимость наименьшая у варианта 13 (N120P0K0 - 40 тг/кг) и варианта 16 (N120P90K0 - 41 тг/кг), что говорит о том, что данные нормы удобрений позволяют эффективно снижать затраты на производство 1 кг кукурузы. Высокая себестоимость (67 тг/кг) отмечена при варианте 2 (N0P0K90) и некоторых вариантах с высокими дозами удобрений, что снижает экономическую привлекательность. Рентабельность наиболее высокая при умеренных дозах удобрений: варианты 13 (N120P0K0) - 125% и 15 (N120P90K0) - 119%, что указывает на оптимальное соотношение затрат и прибыли. Низкая рентабельность отмечена у вариантов с несбалансированными дозами удобрений, таких как вариант 2 (N0P0K90) - 35%, вариант 4 (N0P90K90) - 43%, вариант 6 (N40P40K120) - 45% и вариант 8 (N40P120K120) - 61%, где высокие затраты существенно снижают рентабельность.

Таблица 4 - Экономические показатели производства кукурузы на зерно при применении удобрений на засоленном светлом сероземе, КХ «Сарқырама», Отырарский район, Туркестанская область, 2024 г.

№ варианта	Дозы удобрений	Всего затрат, тыс. тенге/га	Валовой доход, тыс. тенге/га	Условно-чистый доход, тыс. тенге/га	Себестоимость, тг/кг	Рентабельность, %
1	2	3	4	5	6	7
1	N0P0K0	323	567	244	51	76
2	N0P0K90	414	559	145	67	35
3	N0P90K0	382	675	293	51	77
4	N0P90K90	474	678	204	63	43
5	N40P30K30	401	782	380	46	95
6	N40P40K120	491	713	222	62	45
7	N40P120K30	461	890	430	47	93
8	N40P120K120	552	868	317	57	57
9	N80P60K60	477	921	443	47	93
10	N80P60K150	569	917	347	56	61
11	N80P150K60	537	1052	515	46	96
12	N80P150K150	628	1024	395	55	63
13	N120P0K0	401	901	501	40	125
14	N120P0K90	492	894	401	50	82
15	N120P90K0	460	1005	545	41	119
16	N120P90K90	551	989	438	50	80

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
17	N160P30K30	475	1006	531	43	112
18	N160P30K120	564	925	360	55	64
19	N160P120K30	534	1106	572	43	107
20	N160P120K120	623	1030	406	54	65
21	N200P60K60	547	1034	486	48	89
22	N200P60K150	639	1027	388	56	61
23	N200P150K60	606	1136	530	48	87
24	N200P150K150	699	1167	468	54	67

Таким образом, наиболее экономически выгодными для условий засоленного светлого серозема при выращивании кукурузы на зерно являются варианты удобрений с умеренными дозами, (N120P90K0) и вариант 19 (N160P120K30), которые обеспечивают высокий валовой доход, низкую себестоимость и высокую рентабельность, соответственно, 1005 тыс. тг/га; 41 тг/кг; 119% и 1106 тыс. тг/га; 43 тг/кг и 107%. Меньшая эффективность отмечена при максимальных дозах удобрений N200P150K150, где увеличение затрат не компенсируется повышением валового дохода, а рентабельность снижается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На засоленном светлом сероземе биомасса кукурузы увеличивается с увеличением доз удобрений, особенно азотных. На контрольном варианте (вариант 1) биомасса составляет 328 г в фазе цветения и 408 г в фазе созревания,

в то время как при максимальных дозах (вариант 24) достигает 641 г и 907 г, соответственно. Азот оказывает наибольшее влияние, особенно в сочетании с фосфором и калием. Модели регрессии с высоким коэффициентом детерминации ($R^2=0,963-0,979$) подтверждают важность азота и фосфора, однако взаимодействие азота с калием негативно сказывается на продуктивности. Урожайность в контрольном варианте составляет 6,3 т/га, а в варианте 24 - 13,0 т/га. Умеренные дозы удобрений (N120P90K0 и N160P120K30) обеспечивают оптимальный баланс урожайности и затрат с рентабельностью 119% и 107%. Таким образом, умеренные дозы удобрений более эффективны для повышения урожая кукурузы на засоленных почвах. Высокие коэффициенты детерминации указывают на надежность прогнозирования биомассы и урожайности кукурузы на зерно.

Исследования проведены в рамках научно-технической программы BR22885097 «Обеспечение рационального использования земель сельскохозяйственного назначения в интенсивном земледелии на основе новых подходов в сохранении и воспроизводстве плодородия почв» МСХ РК на 2024-2026 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL>, свободный.
2. Кочисов С.М. Значение производства кукурузы на зерно в мировом сельском хозяйстве // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2011. – № 4. – С. 86-88.

3. Кишев А.Ю., Ханиева И.М., Жеруков Т.Б., Шибзухов З.С. Применение новых гербицидов на посевах кукурузы на выщелоченных черноземах КБР// ФГБОУ ВО «Кабардино Балкарский ГАУ» статья в сборнике трудов конференции. - 2017. - С.77-79.
4. Юмагулов Г.Л., Бака В.А. Удобрение и урожай кукурузы// Кукуруза. – 1984. – №5. – С. 17-18.
5. Амиров Б.М., Құлымбет Қ.Қ., Сапаров Г.А., Сейтменбетова А.Т., Құрманқың О.С. Урожайность кукурузы при применении различных доз и форм азотных удобрений в Шаульдерском массиве орошения Туркестанской области//Почвоведение и агрохимия. – 2023. – №. 4. – С. 60-71.
6. Кайсанова Г.Б., Шахаров Р.Ж. Приемы повышения продуктивности кукурузы на засоленных почвах Южно-Казахстанской области// Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 3. – С. 20-29.
7. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://kazpravda.kz/n/sol-ne-pomeha-urozhayu>, свободный.
8. Пошанов М.Н., Кененбаев С.Б., Ибраева М.А., Вырахманова А.С., Дуйсеков С.Н., Сулейменова А.И. Влияние степени засоления почв и применения биопрепарата на продуктивность кукурузы// Почвоведение и агрохимия. – 2021. - № 1. - С. 44-56.
9. Жихарева Г.А., Курмангалиев А.Б., Соколов С.С. Почвы Казахской ССР. Чимкентская область. – Выпуск 12. – Алма-Ата: Изд-во Наука КазССР, 1969. – 410 с.
10. Shokri, N., Hassani, A., & Sahimi, M. (2024). Multi-scale soil salinization dynamics from global to pore scale: A review. *Reviews of Geophysics*, 62(4), e2023RG000804.
11. Перегудов В.Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. М.: Колос, 1978. - 184 с.
12. Перегудов В.Н., Иванова В.Н. К вопросу о главных эффектах и взаимодействии факторов в многофакторных опытах с удобрениями. Сообщение 1// Агрохимия. - 1979. - №9. - С. 110–118.
13. Цыгуткин А.С., Васбиева М.Т. Шишков Д.Г. Особенности постановки полевого опыта с минеральными удобрениями на основе неполной факториальной схемы 1/9(6×6×6)// Земледелие. - 2022. - №6. - С. 22–26.
14. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). - 5-е изд., доп. и перераб. - М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.
15. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск четвертый. Картофель, овощные и бахчевые культуры. - Москва, 2015. - 61 с.
16. Степуро М. Ф. Использование методов математического моделирования при оптимизации систем удобрения моркови// Картофель и овощи. – 2013. – № 1. – С. 19–21.
17. Шаповалов Н. К. Математическое моделирование управления продукционным процессом на посевах сахарной свеклы// Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 2. – С. 29–31.
18. Вахонин Н. К. Моделирование урожая в системе точного земледелия// Мелиорация. – 2015. – № 1 (73). – С. 131–136.
19. Лихацевич А. П. Математическая модель урожая сельскохозяйственных культур// Вес. Нац. акад. наук Беларус. Сер. аграр. наук. – 2021. – Т.59, №3. – С.304–318.
20. Иванова Т. И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. М.: Агропромиздат, 1989. - 235 с.
21. Перегудов В.Н., Иванова Т.И. Эффективность метода блоков в уточнении

данных полевых многофакторных опытов с удобрениями// Агрохимия. - 1980. - №2. - С. 135-140.

22. Амиров Б.М., Кулымбет К.К., Сейтменбетова А.Т., Сапаров Г.А., Тулепбергенова Г.Т., Махмаджанов С.П. Моделирование влияния удобрений на урожайность хлопчатника и качество хлопковолокна на засоленных почвах Южного Казахстана// Почвоведение и агрохимия. - 2024. - № 1. - С. 46-61.

23. Quan, H., Feng, H., Zhang, T., Wu, L., & Siddique, K. H. (2024). Response of soil water, temperature, and maize productivity to different irrigation practices in an arid region. *Soil and Tillage Research*, 237, 105962.

REFERENCES

1. [Electronic resource]: Rezhim dostupa: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL>, svobodnyj.

2. Kochisov, S. M. The importance of corn production for grain in global agriculture// *Economics, labor, management in agriculture*. - 2011. - № 4. - S. 86-88.

3. Kishev A.Yu., Khanieva I.M., Zherukov T.B., Shibzukhov Z.S. Application of New Herbicides in Maize Crops on Leached Chernozems of KBR. - *Proceedings of the Conference, FSBEI HE "Kabardino-Balkarian State Agrarian University"*. - 2017. - S. 77-79.

4. Yumagulov G.L., Baka V.A. Fertilization and Maize Yields// *Maize*. - 1984. - № 5. - S. 17-18.

5. Amirov B.M., Kulyumbet K.K., Saparov G.A., Seitmenbetova A.T., Kurmanakyn O.S. Maize Yield Under Different Rates and Forms of Nitrogen Fertilizers in the Shoulder Irrigation Area, Turkestan Region// *Soil Science and Agrochemistry*. - 2023. - № 4. - S. 60-71.

6. Kaysanova G.B., Shakharov R.Zh. Methods for Increasing Maize Productivity on Saline Soils in South Kazakhstan Region// *Soil Science and Agrochemistry*. - 2016. - S. 20-29.

7. [Electronic resource]: Rezhim dostupa: <https://kazpravda.kz/n/sol-ne-pomeha-urozhayu> Salt is Not an Obstacle to Yield, svobodnyj.

8. Poshanov M.N., Kenenbaev S.B., Ibraeva M.A., Vyrakhmanova A.S., Duisekov S.N., Suleimenova A.I. Impact of Soil Salinity and Bio-preparations on Maize Productivity// *Soil Science and Agrochemistry*. - 2021. - № 1. - S. 44-56.

9. Zhikhareva G.A., Kurmangaliev A.B., Sokolov S.S. Soils of the Kazakh SSR. Chimkent Region. - Vol. 12. - Alma-Ata: Nauka KazSSR Publishing House, 1969. - s. 410.

10. Shokri, N., Hassani, A., & Sahimi, M. (2024). Multi-scale soil salinization dynamics from global to pore scale: A review. *Reviews of Geophysics*, 62(4), e2023RG000804.

11. Peregudov V.N. Planning Multifactor Field Experiments with Fertilizers and Statistical Processing of Results. - Moscow: Kolos, 1978. - 184 s.

12. Peregudov V.N., Ivanova V.N. On Main Effects and Interactions of Factors in Multifactorial Fertilizer Experiments// *Agrochemistry*. - 1979. - № 9. - S. 110-118.

13. Tsygutkin A.S., Vasbieva M.T., Shishkov D.G. Features of Setting Up Field Experiments with Mineral Fertilizers Based on an Incomplete Factorial Scheme 1/9 (6×6×6)// *Agriculture*. - 2022. - № 6. - S. 22-26.

14. Dospekhov B.A. Methodology of Field Experimentation (Including Basics of Statistical Data Processing). - 5 ed. revised and supplemented. - Moscow: Agropromizdat, 1985. - 351 s.

15. Methodology of State Variety Testing of Agricultural Crops. Volume Four: Potato, Vegetables, and Melons. - Moscow, 2015. - 61 s.

16. Stepuro M.F. Use of Mathematical Modeling in Optimizing Carrot Fertilization Systems// *Potato and Vegetables*. - 2013. - № 1. - S. 19-21.

17. Shapovalov N.K. Mathematical Modeling of Crop Production Management in Sugar Beet Fields// Achievements in Science and Technology of Agro-Industrial Complex. – 2013. – № 2. – S. 29-31.
18. Vakhonin N.K. Yield Modeling in Precision Agriculture Systems// Land Reclamation. – 2015. – № 1 (73). – S. 131-136.
19. Likhachevich A.P. Mathematical Model of Agricultural Crop Yields// Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Agricultural Sciences Series. – 2021. – Vol. 59. № 3. – S. 304-318.
20. Ivanova T.I. Forecasting Fertilizer Efficiency Using Mathematical Models. – M.: Agropromizdat, 1989. – 235 s.
21. Peregudov V.N., Ivanova T.I. Effectiveness of the Block Method in Refining Data from Multifactor Field Experiments with Fertilizers// Agrochemistry. – 1980. – № 2. – S. 135-140.
22. Amirov B.M., Kulyumbet K.K., Seitmenbetova A.T., Saparov G.A., Tulepbergenova G.T., Makhmadzhanov S.P. Modeling the Effect of Fertilizers on Cotton Yield and Fiber Quality on Saline Soils in Southern Kazakhstan// Soil Science and Agrochemistry. – 2024. – № 1. – S. 46-61.
23. Quan, H., Feng, H., Zhang, T., Wu, L., & Siddique, K. H. (2024). Response of soil water, temperature, and maize productivity to different irrigation practices in an arid region. *Soil and Tillage Research*, 237, 105962.

ТҮЙІН

Б.М. Амиров^{1*}, С.О. Базарбаев^{1*}, О. Жандыбаев¹, О.С. Құрманакын¹
ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАННЫҢ ТҰЗДАНҒАН АШЫҚ СҰР ТОПЫРАҒЫНДА МИНЕРАЛДЫ
ТЫҢАЙТҚЫШТАРДЫҢ МӨЛШЕРІ МЕН ҚАТЫНАСЫНА БАЙЛАНЫСТЫ ДӘНДІК
ЖҮГЕРІНІҢ ӨНІМДІЛІГІН МОДЕЛЬДЕУ

Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты, 050060, Алматы қ, әл-Фараби даңғылы, 75 В, Қазақстан

e-mail: bak.amirov@gmail.com, sultan-13_01@mail.ru

Мақалада Түркістан облысындағы Шәуілдір массивінің ескісуармалы тұзданған ашық сұр топырағында дәндік жүгеріге минералды тыңайтқыштардың әртүрлі дозалары мен қатынастарын зерттеу, өсімдіктердің минералды қоректенуін оңтайландыру және биомассаның қалыптасуын модельдеу нәтижелері ұсынылған. Шикізат биомассасының жинақталу динамикасы мен өнімділіктің қалыптасуына, сондай-ақ тұзданған ашық сұр топырақтарда дәндік жүгеріге тыңайтқыштарды (азот, фосфор, калий) қолданудың экономикалық тиімділігіне талдаулар жасалынды. Зерттеулер көпфакторлы далалық тәжірибелердің қадамдық регрессиондық талдау әдістеріне негізделді. Нәтижелер көрсеткендей, тұзданған ашық сұр топырақта жүгері биомассасы тыңайтқыш дозасы артқан сайын, әсіресе азот тыңайтқыштарының әсерінен көбейеді. Тыңайтқышсыз нұсқада бір өсімдіктің биомассасы гүлдену және пісу фазаларында тиісінше 328 және 408 г құрады, ал ең жоғарғы N200P150K150 дозасында сәйкесінше 641 және 907 г-ға жетті. Гүлдену фазасында детерминация коэффициенті жоғары ($R^2=0,963$) регрессия теңдеуімен көрсетілгендей, азот пен фосфордың оң әсері байқалады, әсіресе біріншісі ең көп әсер етеді, ал калийдің әсері дәлелденбеді ($P>0,05$). Пісу кезеңіндегі нәтижелерді өңдеуден де жоғары детерминация коэффициентімен ($R^2=0,979$) көп реттік регрессия үлгісін алуға мүмкіндік берді, бұл тыңайтқыштардың биомассаның өзгергіштігінің 98%-ына жауап беретінін растайды, мұнда барлық үш қоректік элементтер біржақты әрекетте және азот калиймен әрекеттесуде оң әсер етті. Дәндік жүгері өнімділігінің тәуелділігін жоғары дәлдікпен сипаттайтын регрессия теңдеуі ($R^2=0,979$) азот пен фосфордың жетекші оң ролін көрсетті, бірақ азоттың калиймен әрекеттесуі өнімділікке теріс әсер етті. Тыңайтқышсыз нұсқада өнім 6,3 т/га құрады, ал N200P150K150 дозасы бар нұсқада - 13,0 т/га, ал масақ ұзындығы 16,2 және 23,9 см, ені 4,2 және 5,2 см, жүгері собығындағы дәндер

саны 375 және 593 дана, 1000 дәннің салмағы тиісінше 303 және 427 г құрады. Детерминацияның жеткілікті жоғары коэффициенті ($R^2=0,849$) бар регрессиялық модель фосфор тыңайтқышының дәннің түзілуін ынталандыратынын, ал артық азот топырақтың тұздануының токсикалық әсерінің фонында оны азайтатынын көрсетеді. Экономикалық тұрғыдан ең тиімдісі тыңайтқыштардың орташа дозалары - N120P90K0 және N160P120K30, олар сәйкесінше 119 және 107% рентабельділікпен өнім мен шығындардың тепе-теңдігін қамтамасыз етті. N200P150K150 дозасын қолдану кезінде алынатын ең жоғары табыс (1167 мың теңге/га) жоғары шығындармен (699 мың теңге/га) қатар жүреді. Осылайша, тыңайтқыштың орташа дозалары тұзды топырақтарда жүгері өнімділігін арттыруда тиімдірек.

Түйінді сөздер: жүгері, дән, тұзды топырақ, құнарлылық, модельдеу, өнімділік, тыңайтқыш, қоректік заттар.

SUMMARY

B.M. Amirov^{1*}, S.O. Bazarbaev^{1*}, O. Zhandybaev¹, O.S. Kurmanakyn¹

MODELING MAIZE GRAIN YIELD DEPENDING ON RATES AND RATIOS OF MINERAL FERTILIZERS ON SALINE SEROZEMS OF SOUTHERN KAZAKHSTAN

*U.U. Usпанov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry,
050060, Almaty, al-Farabi Avenue, 75 B, Kazakhstan*

e-mail: bak.amirov@gmail.com; sultan-13_01@mail.ru

The article presents the results of a study of various doses and ratios of mineral fertilizers on old-irrigated saline gray soils of the Shoulder massif in the Turkestan region on corn grown for grain, to optimize the mineral nutrition of plants and model the formation of biomass and yield. An analysis was made of the dynamics of accumulation of raw biomass and the formation of yield, as well as the economic efficiency of using fertilizers (nitrogen, phosphorus, potassium) for corn grain on saline gray soils. The study was based on the principles of multivariate field experiments using stepwise regression analysis. Studies have shown that on saline gray soil, the biomass of corn increases with increasing doses of fertilizers, especially nitrogen. Without fertilizers, the biomass of one plant is 328 and 408 g in the flowering and ripening phases, and with maximum doses of N200P150K150, it reached 641 and 907 g, respectively. In the flowering phase, as shown by the regression equation with a high coefficient of determination ($R^2=0.963$), there is a positive effect of nitrogen and phosphorus, with the former having the greatest effect, and the effect of potassium was insignificant ($P>0.05$). Processing the results for the ripening period made it possible to obtain a multiple regression model with a high coefficient of determination ($R^2=0.979$), confirming that fertilizers are responsible for 98% of the variability of biomass in the ripening phase, where all three nutrients in unilateral action and nitrogen in interactions with potassium have a positive effect influence. The regression equation describing the dependence of corn grain yield with high accuracy ($R^2=0.979$) indicates the leading positive role of nitrogen and phosphorus, but the interaction of nitrogen with potassium had a negative effect on productivity. The yield in the variant without fertilizers is 6.3 t/ha, and in the variant with doses of N200P150K150 - 13.0 t/ha, while the cob length is 16.2 and 23.9 cm, width is 4.2 and 5.2 cm, the number of grains in the cob is 375 and 593 pieces, the weight of 1000 grains is 303 and 427 g, respectively. A regression model with a high coefficient of determination ($R^2=0.849$) shows that phosphorus stimulates grain formation, and excess nitrogen can reduce it against the background of the toxic effect of soil salinity. The most economically beneficial are moderate doses of fertilizers - N120P90K0 and N160P120K30, which provide a balance of yield and costs with a profitability of 119 and 107%, respectively. The maximum income (1167 thousand tenge/ha) obtained when applying doses of N200P150K150 is accompanied by high costs (699 thousand tenge/ha). Thus, moderate doses of fertilizer are more effective in increasing corn yield on saline soils.

Keywords: corn, grain, saline soil, fertility, modeling, yield, fertilizer, nutrients.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Амиров Бахытбек Мустафаулы - заведующий отделом агрохимии, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, e-mail: bak.amirov@gmail.com

2. Базарбаев Султан Оразбаевич - младший научный сотрудник отдела агрохимии, PhD, e-mail: sultan-13_01@mail.ru

3. Жандыбаев Оркен - младший научный сотрудник отдела агрохимии, PhD докторант, e-mail: mr.orken@yandex.kz

4. Құрманәқын Олжас Серікұлы – инженер-аналитик отдела агрохимии, e-mail: k.oljas.s@mail.ru