

Научная статья/Research Article

УДК 633.18

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-36-42

Роман Витальевич Тимошинов¹, Татьяна Александровна Потенко^{2✉},

Елена Жоржевна Кушаева³, Александр Алексеевич Дубков⁴

^{1,2,3,4}ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, п. Тимирязевский, Усуйский, Россия

^{1,3,4}o.zemledelia@yandex.ru

²econom_nti@mail.ru

УРОЖАЙНОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СОИ В УСЛОВИЯХ СВЕРХДЛИТЕЛЬНОГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Цель исследования – оценить влияние внесения навоза и минеральных удобрений на урожайность зерна сои и эффективность их использования в условиях сверхдлительного полевого опыта. Эксперимент проводился на участке агрохимического стационара в 1950–2021 гг. Предшественник – многолетние травы. Было изучено действие навоза крупного рогатого скота, известки и минерального удобрения (NPK) на урожайность сои. Линейная регрессия урожайности по годам на удобренных участках имела сходные наклоны по нормам внесения минеральных удобрений. Реакция урожайности на внесение комплексного удобрения $N_{40}I_{4,5}+N_1P_1K_1$ и $N_{40}I_{4,5}+N_2P_2K_2$ была значительно выше по сравнению с другими вариантами. В отдельные годы прибавка урожайности достигала 5,8–7,3 ц/га. Комплексное минеральное удобрение в комбинации: аммиачная селитра в норме 38 кг/га и диаммофоска 172 кг/га – обеспечило лучшую урожайность зерна и высокую валовую прибыль при выращивании сои. Экономический анализ показал, что дополнительный доход от увеличения урожайности, обусловленный внесением минеральных удобрений, компенсировал затраты на внесение удобрений, что привело к увеличению валовой прибыли от 2,75 до 8,65 тыс. руб. на 1 га. Это исследование подчеркивает важность анализа урожайности не только с позиции количественной оценки прироста урожайности, но и экономической целесообразности.

Ключевые слова: соя, урожайность, сверхдлительный полевой опыт, минеральные удобрения, валовая прибыль

Для цитирования: Урожайность и экономический эффект возделывания сои в условиях сверхдлительного полевого опыта / Р.В. Тимошинов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 2. С. 36–42. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-36-42.

Roman Vitalievich Timoshinov¹, Tatyana Aleksandrovna Potenko^{2✉}, Elena Zhorzhevna Kushaeva³, Alexander Alekseevich Dubkov⁴

^{1,2,3,4}FSC for Agrobiotechnologies of the Far East named after A.K. Chaika, Timiryazevsky village, Usuriysk, Russia

^{1,3,4}o.zemledelia@yandex.ru

²econom_nti@mail.ru

YIELD AND ECONOMIC EFFECT OF SOYBEAN CULTIVATION UNDER ULTRA-LONG FIELD EXPERIMENT CONDITIONS

The purpose of the study is to evaluate the effect of applying manure and mineral fertilizers on the yield of soybean grain and the efficiency of their use under conditions of ultra-long-term field experiment. The experiment was carried out on the site of an agrochemical hospital in 1950–2021. The predecessor is perennial herbs. The effects of cattle manure, lime and mineral fertilizer (NPK) on soybean yield were

studied. Linear regression of yield by year on fertilized plots had similar slopes according to the rates of application of mineral fertilizers. The yield response to the application of complex fertilizers $N_{40}I_{4,5}+N_1P_1K_1$ and $N_{40}I_{4,5}+N_2P_2K_2$ was significantly higher compared to other options. In some years, the increase in yield reached 5.8–7.3 c/ha. Complex mineral fertilizer in combination: ammonium nitrate at a rate of 38 kg/ha and diammonfoska 172 kg/ha – provided better grain yield and high gross profit when growing soybeans. Economic analysis showed that additional income from increased yields due to the application of mineral fertilizers compensated for the costs of applying fertilizers, which led to an increase in gross profit from 2.75 to 8.65 thousand rubles for 1 hectare. This study highlights the importance of yield analysis not only in terms of quantifying yield gains, but also in terms of economic feasibility.

Keywords: soybean, yield, ultra-long field experience, mineral fertilizers, gross profit

For citation: Yield and economic effect of soybean cultivation under ultra-long field experiment conditions / R.V. Timoshinov [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(2): 36–42. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-36-42.

Введение. Долгосрочные полевые эксперименты являются важным источником для понимания устойчивых методов ведения сельского хозяйства и продуктивности сельскохозяйственных культур. Длительные исследования также могут объяснить межгодовую изменчивость урожайности сельскохозяйственных культур под влиянием факторов окружающей среды, возбудителей болезней и методов управления [1]. Понимание изменчивости урожайности при различных системах земледелия на протяжении многих лет помогает определить условия для стабильной системы земледелия и устойчивого развития сельского хозяйства. Однако поддержание устойчивого функционирования сверхдлительного полевого опыта требует последовательного и целеустремленного руководства со стороны поколений преданных своему делу ученых. Многие практики со временем могут утратить свою актуальность [2]. Иногда требуется внесение изменений в сверхдлительные полевые опыты для решения актуальных и возникающих вопросов в связи с развитием новых технологий.

Лишь ограниченное число работ посвящено изучению выращивания сельскохозяйственных культур и внесению органических или минеральных удобрений, которые поддерживались на протяжении многих десятков лет [3–6]. Производство и продуктивность сои значительно возросли за последние несколько десятилетий благодаря усовершенствованным сортам и эффективным методам земледелия [7]. Растущий потенциал урожайности и спрос на сою привели к увеличению использования удобрений, особенно азотных. Применение минеральных удобрений оказывает положительное влияние на урожайность сои и качество зерна [8].

Устойчивость использования удобрений в системах сельскохозяйственного производства и монокультурных системах может быть сложной задачей, учитывая что в почвах Дальнего Востока масштабы использования симбиотического азота в посевах сои достигают 50–70 % от общей потребности в элементе [9].

Устойчивое сельскохозяйственное производство требует выращивания высококачественных культур, которые дают максимальную биомассу и урожай зерна на каждую единицу вносимого удобрения. В агрономических исследованиях для оценки эффективности использования азотных удобрений используются различные индексы [10]. Другим важным показателем для определения устойчивой системы является урожайность [11]. Динамическая стабильность урожайности обуславливает увеличение потенциала урожайности с годами и одновременно определяет постоянство урожайности и прироста надбавки. В некоторых случаях высокая стабильность может соответствовать стабильным, но низким средним урожаям [12].

На участке Федерального научного центра агротехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки с 1950 г. выращивается соя в севообороте после многолетних трав, которую возделывают с использованием органических и минеральных удобрений. В нем представлен набор исторических данных, который дает уникальную информацию об управлении продуктивностью сои, чего не дает ни один другой отдельный эксперимент.

Цель исследования – оценить влияние внесения навоза и минеральных удобрений на урожайность зерна сои и эффективность их использования в условиях сверхдлительного полевого опыта.

Материалы и методы. Место проведения исследований – стационар отдела земледелия и агрохимии ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки». Земельный участок для полевого опыта расположен в юго-восточной части Раздольно-Ханкайской низменности. Почва лугово-бурая отбеленная глеевая, тяжелосуглинистая. Навоз в норме 40 т/га и известь 4,5 т/га вносили в занятом пару в начале каждой ротации севооборота. Минеральные удобрения вносились ежегодно весной в одинарной и двойной дозах. С 2003 г. применение навоза было исключено и поступление органического вещества стало осуществляться за счет запашки зеленой массы клевера на сидерат и пожнивных и корневых остатков. В опыте применяли в одинарных дозах аммиачную селитру 38 кг/га и диаммофоску 172 кг/га. Обобщенная схема внесения удобрений следующая: 1. Контроль (без удобрений); 2. N_{40} ; 3. $N_{40}I_{4,5}$; 4. $N_{40}I_{4,5} + N_1P_1K_1$; 5. $N_{40}I_{4,5} + N_2P_2K_2$; 6. $N_{40}I_{4,5} + N_1P_2K_2$; 7. $N_{40}I_{4,5} + N_1P_2K_1$; 8. $I_{4,5} + N_{1,5}P_{1,5}K_2$; 9. $N_{1,5}P_{1,5}K_2$ (Н – навоз, И – известь, N – азот, P – фосфор, K – калий). Предшественник – многолетние травы. Общее количество внесенных удобрений за период исследований (в кг действующего вещества на 1 га) составило: контроль (без удобрений), N_{240} , $N_{240}I_{17}$, $N_{260}I_{17}N_{1150}P_{1860}K_{1290}$, $N_{240}I_{17}N_{3048}P_{3290}K_{2790}$, $N_{240}I_{17}N_{2406}P_{2280}K_{1100}$, $N_{300}I_{17}N_{2258}P_{2610}K_{630}$, $I_{23}N_{1755}P_{2130}K_{1440}$, $N_{2914}P_{3250}K_{2475}$.

Корреляция и линейный регрессионный анализ были выполнены в программном обеспечении Статистика 6.

Экономический эффект от применения удобрений определен посредством расчета валовой прибыли, представляющей разницу между стоимостью прибавки урожая и суммой затрат на удобрения [13, 14].

Валовая прибыль = (Δ урожайности × цена зерна) – (доза удобрений × цена удобрения)

Для базового анализа были использованы средние цены на сою и удобрение в Приморском крае за 2019–2021 гг. Средняя рыночная цена сои составляла 44,3 руб. за 1 кг семян, цена диммофоски – 42 руб/кг, аммиачной селитры – 25 руб/кг.

Данный анализ предназначен только для общего обсуждения экономического эффекта от внесения минеральных удобрений под сою, с тем учетом, что фактические результаты могут существенно различаться.

Результаты и их обсуждение. Урожайность сои после многолетних трав в 1950 г. составляла в среднем 10,7 ц/га, она значительно колеблется в отдельные годы, что обусловлено в основном складывающимися метеорологическими условиями. Резкое снижение урожайности наблюдалось в 1982 г. – 3,4 ц/га (рис.1).

Прошедший в этом году над территорией Приморского края тайфун Эллис (Этанг) нанес ущерб посевам сои. Площади, занятые соей, оказались подтопленными.

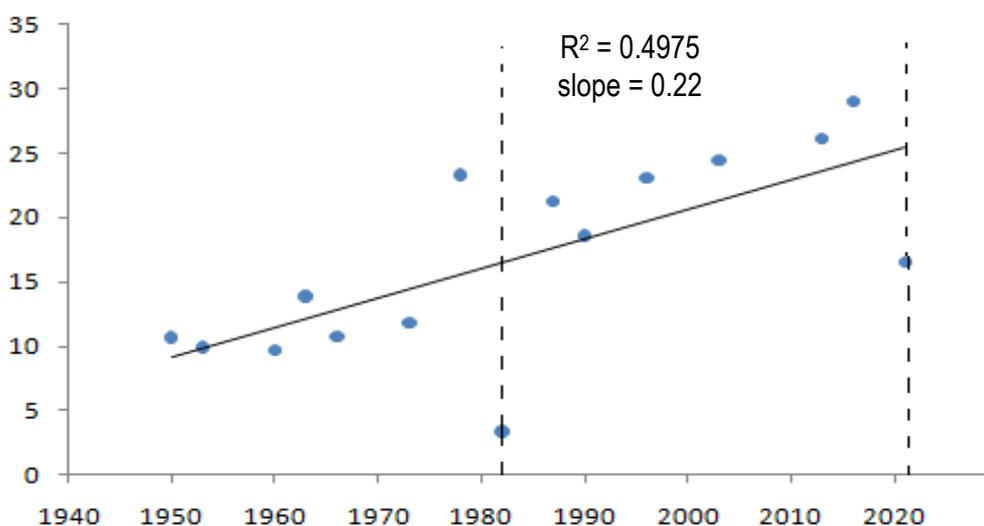


Рис. 1. Средняя урожайность сои

В 1987–2016 гг. наблюдалось линейное увеличение урожайности зерна (наклон от линейной регрессии 0,22). В 2021 г. средняя урожайность за период 1950–2021 гг. составила 16,8 ц/га. Максимум урожайности был достигнут в 2016 г. – 29,0 ц/га.

Урожайность на контрольных участках варьировала от 6,3 до 26,3 ц/га (рис. 2). При возде-

лывании сои без применения удобрений в почве складывался отрицательный баланс гумуса. Его годовой дефицит составил 0,5–0,7 т/га. Установлено, что рост продуктивности севооборота невозможен без дополнительного внесения минеральных удобрений, которые позволяют в необходимом объеме обеспечивать растения элементами питания.

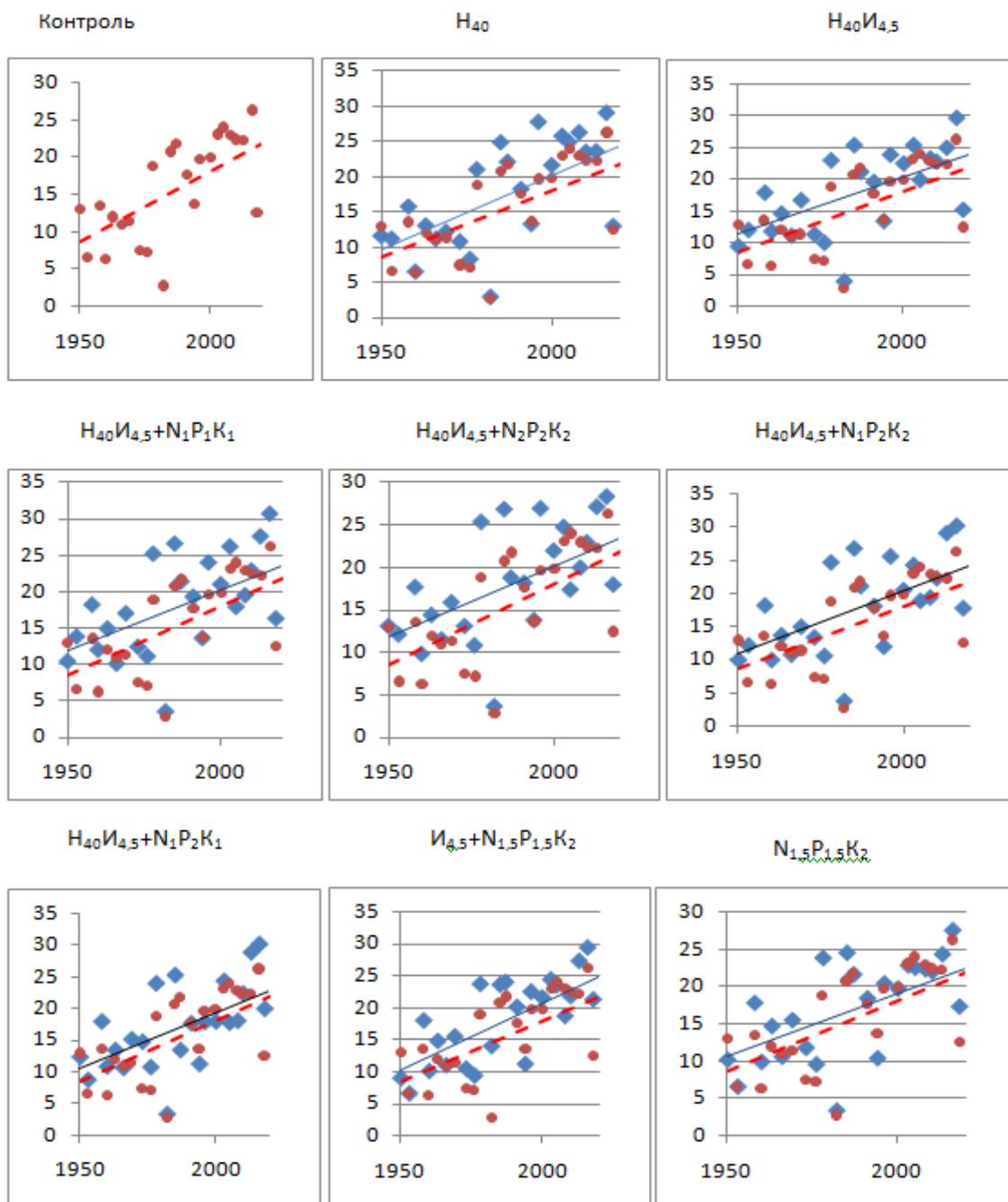


Рис. 2. Линейная регрессия урожайности сои для каждой обработки удобрением (сплошная линия и квадраты) и без удобрения (прерывистая линия и точки) по годам с 1950 по 2021 г. (Н – навоз, И – известь, N – азот, P – фосфор, K – калий)

Систематическое применение минеральных удобрений на протяжении исследованного периода обеспечивало стабильную прибавку урожая, но рост продуктивности достигался при оптимизации минерального удобрения не в первый год внесения, а в течение 4–5-летнего цикла. Прибавка урожайности до 6 кг зерна на внесенный 1 кг д.в. наблюдалась в годы с достаточной обеспеченностью влагой. В засушливые годы отдача от минеральных удобрений снижалась до 60 % по сравнению с благоприятными годами.

Существенная прибавка урожая зерна получена при выращивании сои на вариантах с внесением комплексного удобрения $N_{40}I_{4,5} + N_1P_1K_1$ и $N_{40}I_{4,5} + N_2P_2K_2$, со средней урожайностью 2,4 и 2,5 ц/га, соответственно. Максимальные значения были достигнуты в варианте $N_{40}I_{4,5} + N_1P_1K_1$ в 1985, 2013, 2021 гг. – 5,8 ц/га, 5,4 и 5,3 ц/га соответственно. При внесении в варианте $N_{40}I_{4,5} + N_2P_2K_2$ в 1985 г. – 6,1 ц/га; 1996 г. – 7,3; 2018 г. – 5,5 ц/га.

Линейная регрессия урожайности по годам с внесением $N_{40}I_{4,5} + N_1P_1K_1$ и $N_{40}I_{4,5} + N_2P_2K_2$ показала увеличение наклона линии регрессии, равное 0,16, по двум вариантам. Остальные варианты обработки не показали видимого отклика урожайности на нормы внесения удобрений по сравнению с контролем.

Из литературы известно, что соя отзывчива на применение минеральных удобрений. Для производителей сои, однако, ключевой вопрос заключается в том, будет ли внесение минеральных удобрений экономически выгодно. Для изучения этого вопроса мы использовали средние цены на удобрения и сою в качестве базового показателя за 2019–2021 гг. Расчет экономического эффекта приведен для варианта $N_{40}I_{4,5} + N_1P_1K_1$, поскольку при внесении двойной нормы $N_2P_2K_2$ на фоне внесения навоза и извести средняя прибавка урожайности колеблется в пределах $\pm 0,1$ ц/га. Следовательно, принесет меньше экономической выгоды из-за расходов на удобрения.

При прибавке урожайности в 0,44 т/га валовая прибыль составила 8,65 тыс. руб. на 1 га. Поскольку в 2022 г. закупочная цена на сою упала по сравнению с 2021 г. и составила 28 руб/кг, то в качестве альтернативы рассмотрен сценарий низких цен на сою, при котором средняя цена на сою на 30 % ниже средней. Валовая прибыль при фиксированной цене на удобрения составила 2,75 тыс. руб. на 1 га. При

менее благоприятном сценарии внесения минеральных удобрений (т.е. вдвое ниже средней цены на сою и в 1,5 раза выше средней цены на удобрения), агрономическая эффективность должна увеличиться на 33 %, чтобы использование удобрений вообще было прибыльным.

Заключение. В условиях сверхдлительного полевого опыта соя положительно реагировала на внесение комплексных минеральных удобрений. Колебания урожайности сои вокруг тренда (средне-многолетних данных) в основном связаны с погодными условиями. Применение двойных доз минеральных удобрений под сою после многолетних трав не оказывает видимого влияния на прибавку урожая.

Комплексное минеральное удобрение при комбинации: аммиачная селитра в норме 38 кг/га и диаммофоска 172 кг/га – обеспечило лучшую урожайность зерна и высокую валовую прибыль при выращивании сои.

Длительное использование минеральных удобрений на фоне навоза и извести показало более высокую эффективность, может обеспечить стабильный и надежный урожай и помочь создать экономически и экологически устойчивую систему производства сои.

Список источников

1. Maize yields from manure and mineral fertilizers in the 100-year-old knorr–holden plot / *Bijesh Maharjan* [et. al.] // *Agronomy journal*. 2021. Vol. 113. № 6. P. 2–16.
2. *Aref S., Wander M.M.* Long-term trends of corn yield and soil organic matter in different crop sequences and soil fertility treatments on the morrow plots // *Advances in Agronomy*. 1997. Vol. 62(C). P. 153–197.
3. *Ступин А.Ф.* Продуктивность и качество культур севооборота при длительном применении удобрений в условиях стационарных опытов // *Агрохимия в XXI веке: мат-лы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти акад. РАН В.Г. Минеева*. М., 2018. С. 68–72.
4. *Парамонов А.В., Пасько С.В.* Влияние систематического применения удобрений на плодородие почвы в длительном стационарном полевом опыте // *75 лет Географической сети опытов с удобрениями: мат-лы Всерос. совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями*. М., 2016. С. 204–209.

5. Лукин С.М. Длительные стационарные полевые опыты с органическими удобрениями: значение, результаты и перспективы исследований на дерново-подзолистых почвах // Мат-лы Междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» и 80-летию Географической сети опытов с удобрениями: тез. докл. / под ред. С.И. Шкуркина. М., 2022. С. 107–116.
6. Отзывчивость сельскохозяйственных культур на отдельные виды минеральных удобрений и их сочетания в длительном стационарном опыте / Лазарев В.И. [и др.] // Агрохимия. 2017. № 2. С. 28–33.
7. Страшненко Т.Н., Бутовец Е.С. Сравнительная оценка сортов сои дальневосточной селекции в условиях Приморского края // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: мат-лы всерос. науч.-практ. конф.: в 4 т. Благовещенск. 2022. Т. 1. С. 284–294.
8. Эффективность применения различных форм азота при возделывании ярового рапса и сои в Алтайском крае / В.И. Беляев [и др.] // Вестник АПК Верхневолжья. 2022. № 2 (58). С. 12–18.
9. Тильба В.А. Вирулентность клубеньковых бактерий сои и масштабы усвоения симбиотического азота в почвах Приамурья // Масличные культуры. 2016. № 4 (168). С. 61–66.
10. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management / K.G. Cassman [et. al.] // *Ambio: a journal of the human environment*. 2002. Vol.31 (2). P. 132–140.
11. Tollenaar M., Lee E.A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize // *Field crops research*. 2002. Vol. 75 (2-3). P. 161–169.
12. Soybean profitability and yield component response to nitrogen fertilizer in Iowa / Cordova S.C. [et al.] // *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2020. Vol. 3. № 1. DOI: 10.1002/agg2.20092.
13. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer n in soybeans / F. Salvagiotti [et al.] // *A review. Field crops research*. 2008. Vol. 108. P. 1–13.
14. Site-specific nitrogen and plant density management in irrigated maize / Ping J.L. [et al.] // *Agronomy journal*. 2008. Vol. 100. № 4. URL: <https://hybridmaize.unl.edu/assets/publications/pdf453.pdf>.

References

1. Maize yields from manure and mineral fertilizers in the 100-year-old knorr-holden plot / Bijesh Maharjan [et. al.] // *Agronomy journal*. 2021. Vol. 113. № 6. P. 2–16.
2. Aref S., Wander M.M. Long-term trends of corn yield and soil organic matter in different crop sequences and soil fertility treatments on the morrow plots // *Advances in Agronomy*. 1997. Vol. 62(C). P. 153–197.
3. Stulin A.F. Produktivnost' i kachestvo kul'tur sevooborota pri dlitel'nom primenenii udobrenij v usloviyah stacionarnyh opytov // *Agrohimiya v XXI veke: mat-ly Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyasch. pamyati akad. RAN V.G. Mineeva*. М., 2018. S. 68–72.
4. Paramonov A.V., Pas'ko S.V. Vliyanie sistematicheskogo primeneniya udobrenij na plodododie pochvy v dlitel'nom stacionarnom polevom opyte // *75 let Geograficheskoy seti opytov s udobreniyami: mat-ly Vseros. soveschaniya nauchnyh uchrezhdenij-uchastnikov Geograficheskoy seti opytov s udobreniyami*. М., 2016. S. 204–209.
5. Lukin S.M. Dlitel'nye stacionarnye polevye opyty s organicheskimi udobreniyami: znachenie, rezul'taty i perspektivy issledovaniy na dernovo-podzolistykh pochvah // *Mat-ly Mezhdunar. nauch. konf., posvyasch. 90-letiyu FGBNU «VNIИ agrohimii» i 80-letiyu Geograficheskoy seti opytov s udobreniyami: tez. dokl. / pod red. S.I. Shkurkina*. М., 2022. S. 107–116.
6. Otzyvchivost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur na otidel'nye vidy mineral'nykh udobrenij i ih sochetaniya v dlitel'nom stacionarnom opyte / Lazarev V.I. [i dr.] // *Agrohimiya*. 2017. № 2. S. 28–33.
7. Strashnenko T.N., Butovec E.S. Sravnitel'naya ocenka sortov soi dal'nevostochnoj selekcii v usloviyah Primorskogo kraja // *Agropromyslennyj kompleks: problemy i perspektivy razvitiya: mat-ly vseros. nauch.-prakt. konf.: v 4 t. Blagoveschensk*. 2022. T. 1. S. 284–294.
8. `Effektivnost' primeneniya razlichnykh form azota pri vzdelyvanii yarovogo rapsa i soi v Altajskom krae / V.I. Belyaev [i dr.] // *Vestnik APK Verhnevolszh'ya*. 2022. № 2 (58). S. 12–18.
9. Til'ba V.A. Virulentnost' klubenkovykh bakterij soi i masshtaby usvoeniya simbioticheskogo azota v pochvah Priamur'ya // *Maslichnye kul'tury*. 2016. № 4 (168). S. 61–66.

10. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management / K.G. Cassman [et. al.] // *Ambio: a journal of the human environment*. 2002. Vol.31 (2). P. 132–140.
11. Tollenaar M., Lee E.A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize // *Field crops research*. 2002. Vol. 75 (2-3). P. 161–169.
12. Soybean profitability and yield component response to nitrogen fertilizer in Iowa / Cordova S.C. [et al.] // *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2020. Vol. 3. № 1. DOI: 10.1002/agg2.20092.
13. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer n in soybeans / F. Salvagiotti [et al.] // *A review. Field crops research*. 2008. Vol. 108. P. 1–13.
14. Site-specific nitrogen and plant density management in irrigated maize / Ping J.L. [et al.] // *Agronomy journal*. 2008. Vol. 100. № 4. URL: <https://hybridmaize.unl.edu/assets/publications/pdf453.pdf>.

Статья принята к публикации 28.08.2023 / The article accepted for publication 28.08.2023.

Информация об авторах:

Роман Витальевич Тимошинов¹, заведующий отделом земледелия и агрохимии, кандидат сельскохозяйственных наук

Татьяна Александровна Потенко², ведущий научный сотрудник отдела экономики и научно-технической информации, кандидат экономических наук, доцент

Елена Жоржевна Кушаева³, научный сотрудник отдела экономики и научно-технической информации, отдела земледелия и агрохимии

Александр Алексеевич Дубков⁴, научный сотрудник отдела экономики и научно-технической информации, отдела земледелия и агрохимии

Information about the authors:

Roman Vitalievich Timoshinov¹, Head of the Department of Agriculture and Agrochemistry, Candidate of Agricultural Sciences

Tatyana Aleksandrovna Potenko², Leading Researcher at the Department of Economics and Scientific and Technical Information, Candidate of Economic Sciences, Docent

Elena Zhorzhevna Kushaeva³, Researcher, Department of Economics and Scientific and Technical Information, Department of Agriculture and Agrochemistry

Alexander Alekseevich Dubkov⁴, Researcher, Department of Economics and Scientific and Technical Information, Department of Agriculture and Agrochemistry

