

Урожайность и параметры перехода ^{90}Sr в зелёную массу сорго сахарного при разных системах удобрений и условиях увлажнения вегетационного периода

В. Г. Седукова, кандидат с.-х. наук, Н. В. Крестова, младший научный сотрудник,
С. А. Исаченко, старший научный сотрудник
Институт радиобиологии НАН Беларуси

(Дата поступления статьи в редакцию 18.05.2021)

Представлено влияние систем удобрений на урожайность и коэффициенты перехода (K_n) ^{90}Sr в зелёную массу сорго сахарного, возделываемого на дерново-подзолистой супесчаной почве. Отмечено снижение K_n ^{90}Sr в зелёную массу сорго сахарного при увеличении дозы фосфорных удобрений до 10 %. При внесении NPK в посевах сорго сахарного наименьшие K_n ^{90}Sr в зелёную массу наблюдались при $N_{70}P_{60}K_{80}$ и $N_{70}P_{60}K_{100}$. Установлена обратная сильная корреляционная связь между гидротермическим коэффициентом и K_n ^{90}Sr в зелёную массу сорго сахарного и прямая – с урожайностью. Максимальную урожайность сорго обеспечивает система удобрений $N_{90}P_{60}K_{100}$.

The article presents the effect of fertilizer systems on the yield and Transfer factor (TF) of ^{90}Sr into the green mass of sugar sorghum cultivated on sod-podzolic sandy loam soil. A decrease in TF of ^{90}Sr in the green mass of sugar sorghum was noted with an increase in the dose of phosphorus fertilizers up to 10 %. With the applying of NPK in the crops of sugar sorghum, the lowest TF of ^{90}Sr in the green mass was observed with the fertilizer system like $N_{70}P_{60}K_{80}$ and $N_{70}P_{60}K_{100}$. A strong inverse correlation was established between the hydrothermal coefficient and TF of ^{90}Sr in the green mass of sugar sorghum. It is shown that the maximum yield of sorghum is provided by the fertilizer system $N_{90}P_{60}K_{100}$ and the yield of sorghum depends on the degree of moisture in the growing season.

Введение

Совершенствование кормопроизводства может происходить как за счёт оптимизации технологических приёмов возделывания широко распространённых сельскохозяйственных культур, так и за счёт расширения спектра культур, способных обеспечить в различных почвенно-климатических условиях хороший урожай продукции. Назрела необходимость диверсификации посевов кормовых культур.

Наметившееся потепление климата, проявляющееся в уменьшении количества осадков и увеличении среднегодовой температуры воздуха, диктует необходимость поиска способов улучшения системы производства кормов. Одним из таковых может стать внедрение в севообороты засухоустойчивых культур, которые по сравнению с традиционными культурами могут переносить периоды недостатка влаги и повышенных температур без резкого снижения продуктивности. К таковым культурам можно отнести сорго сахарное, сорго-суданковый гибрид, суданскую траву.

Рассматривая вопрос возможности производства данных культур на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь, необходимо изучить не только изменение урожайности, но и вероятности получения кормов, соответствующих нормативным требованиям по содержанию ^{90}Sr . Даже спустя 35-летний период после катастрофы на Чернобыльской АЭС, острота вопроса производства нормативно чистых кормов, особенно по содержанию ^{90}Sr , не снизилась. В республике определено, что удельная активность радионуклида в зелёной массе кормовых культур не должна превышать 37 Бк/кг для скармливания лактирующим коровам и получения молока цельного, 185 Бк/кг – для скармливания лактирующим коровам и получения молока-сырья на переработку [1]. Руководствуясь нормативными документами Союзного государства, удельная активность

^{90}Sr в зелёных кормах не должна превышать 50 Бк/кг, в сене – 180 Бк/кг [2].

В связи с этим исследования, направленные на изучение влияния системы удобрений на параметры перехода ^{90}Sr в зелёную массу сорго при разных условиях увлажнения вегетационного периода, весьма актуальны.

Условия и методика проведения исследований

Исследования проведены в полевом опыте в условиях недостаточного (ГТК = 0,9), обеспеченного (ГТК = 1,1) и избыточного увлажнения (ГТК = 1,9). При определении условий увлажнения вегетационного периода использовали классификацию Селянинова [3].

Почва опытного участка – дерново-подзолистая супесчаная, характеризующаяся среднекислой реакцией почвенной среды ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 4,8$), недостаточным содержанием гумуса (1,7 %), средним содержанием подвижных форм калия ($\text{K}_2\text{O} = 169$ мг/кг) и высоким содержанием $\text{P}_2\text{O}_5 = 341$ мг/кг. Индекс агрохимической окультуренности почвы составил 0,74, что позволяет отнести её к категории среднеокультуренной.

Плотность загрязнения пахотного горизонта почвы ^{90}Sr составляла в среднем 16,65 Бк/кг : кБк/м² (0,45 Ки/км²).

Площадь опыта – трёхкратная, размер делянки – 10 м², учётной – 4 м². Отбор проб для определения удельной активности ^{90}Sr в зелёной массе и определения урожая проводили в фазе начала выброса метёлки. Урожай зелёной массы учитывали с учётной площади делянки.

Агрохимические показатели почвы определяли по ГОСТИрованным методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО [4]; pH_{KCl} – потенциометрическим методом [5]; подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову [6]. Удельную активность ^{90}Sr в пахотном горизонте почвы и в зелёной массе сорговых культур определяли путём радиохимического выделения ради-

онуклида по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на аттестованном α - β счётчике Canberra-2400 [7].

Исследования проводили на сорго сахарном сорта Порумбень 4. Культуру возделывали при применении следующих систем удобрений: $P_{40}K_{80}$; $P_{40}K_{100}$; $P_{60}K_{80}$; $P_{60}K_{100}$; $N_{70}P_{40}K_{80}$; $N_{90}P_{40}K_{80}$; $N_{70}P_{40}K_{100}$; $N_{90}P_{40}K_{100}$; $N_{70}P_{60}K_{80}$; $N_{90}P_{60}K_{80}$; $N_{70}P_{60}K_{100}$; $N_{90}P_{60}K_{100}$. В качестве контроля использовали вариант без применения минеральных удобрений.

Результаты исследований и их обсуждение

Установлено, что внесение минеральных удобрений способствует уменьшению коэффициентов перехода (K_p) ^{90}Sr в продукцию сорго сахарного в среднем на 28 %. Так, в среднем по опыту значения K_p ^{90}Sr для зелёной массы сорго сахарного в зависимости от применяемой системы удобрений изменялись от 2,55 Бк/кг : кБк/м² до 3,74 Бк/кг : кБк/м² (рисунок 1).

Эффективность различных систем удобрений не одинакова. Увеличение дозы фосфора с 40 до 60 кг/га д. в. на фоне K_{80} обеспечило снижение K_p ^{90}Sr в зелёную массу культуры на 10 %, на фоне K_{100} – всего на 3 %.

При внесении $N_{70}P_{40}K_{80}$ K_p ^{90}Sr в зелёную массу сорго было на 7 % выше, чем при $N_{70}P_{60}K_{80}$. Также положительное влияние фосфора на интенсивность накопления радионуклида отмечено и на более высоком фоне азотных удобрений ($N_{90}P_{40}K_{80}$ и $N_{90}P_{60}K_{100}$).

Следует отметить, что при применении азотных удобрений в дозе N_{70} на фонах $P_{40}K_{80}$ и $P_{40}K_{100}$ наблюдалась тенденция снижения K_p ^{90}Sr в зелёную массу культуры. При увеличении дозы азота до 90 кг/га д. в. параметры перехода радионуклида увеличились. Однако это увеличение было в пределах наименьшей существенной разницы.

Установлено, что изменение K_p ^{90}Sr в зелёную массу сорго сахарного имеет обратную корреляционную связь с гидротермическим коэффициентом, отражающим условия увлажнения вегетационного периода (рисунок 2).

Коэффициент корреляции 0,99 признан значимым на уровне 0,95 по критерию Стьюдента. По шкале Чеддока [8] данная связь характеризуется как весьма высокая.

Рассчитано уравнение регрессии $y = -0,264x + 3,12$ при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,99$ и интервальная оценка для коэффициента корреляции: доверительный интервал составил 2,47–3,24 Бк/кг : кБк/м².

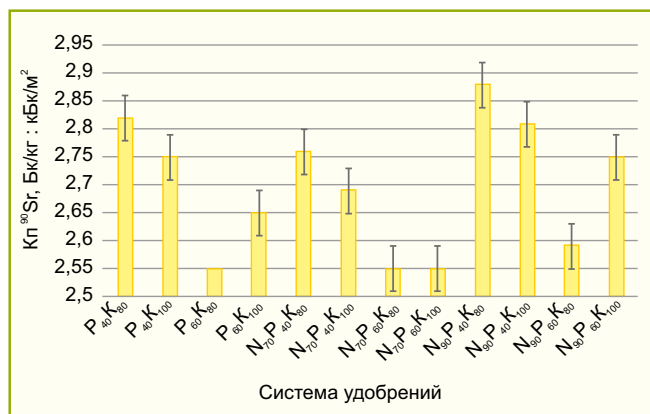


Рисунок 1 – Влияние системы удобрений на коэффициент перехода ^{90}Sr в зелёную массу сорго сахарного

Проводя оценку коэффициентов уравнения регрессии со стороны экономической составляющей, рассчитали и бета-коэффициент, который показывает: на какую часть величины своего среднего квадратичного отклонения изменится в среднем значение резульативного признака (K_p ^{90}Sr в зелёную массу сорго) при изменении факторного признака (ГТК) на величину его среднеквадратического отклонения при фиксированном на постоянном уровне значении остальных независимых переменных. Расчёт бета-коэффициента показал, что при увеличении ГТК на величину среднеквадратического отклонения ГТК приведёт к уменьшению среднего значения K_p ^{90}Sr на 99,8 % среднеквадратического отклонения K_p .

Средний коэффициент эластичности, показывающий на сколько процентов в среднем по совокупности изменится результат от своей средней величины при изменении фактора на 1 % от своего среднего значения, в нашем эксперименте равен -0,12. Следовательно, при изменении ГТК на 1 %, K_p ^{90}Sr в зелёную массу сорго уменьшится на 0,12 %.

Для оценки качества уравнения регрессии провели оценку с помощью ошибки абсолютной аппроксимации. Среднее отклонений расчётных значений от фактических в эксперименте составило 0,22 %. Следовательно, данное уравнение можно использовать в качестве регрессии.

Средний по опыту K_p ^{90}Sr в вегетативную массу сорго сахарного в условиях недостатка влаги был на 3 % выше, чем в год с достаточным увлажнением и на 9 % больше по сравнению с годом, характеризующимся избыточным увлажнением.

Урожайность зелёной массы сорго сахарного также значительно изменялась при разных условиях увлажнения вегетационного периода. Несмотря на то что сорго относится к засухоустойчивым культурам, при недостатке влаги в период активного роста урожайность зелёной массы снижается. Минимальный сбор зелёной массы с единицы площади был получен при засушливом периоде вегетации. Дефицит атмосферных осадков наблюдался на протяжении всего периода роста и развития культуры. Особенно критичным оказался июнь, когда выпало менее 60 % осадков от климатической нормы. Средняя урожайность по всем вариантам опыта в этом году составила 485 ц/га при изменениях от 401 ц/га до 553 ц/га.

Максимальная средняя урожайность по всем вариантам опыта – 1 035 ц/га получена в год, характери-

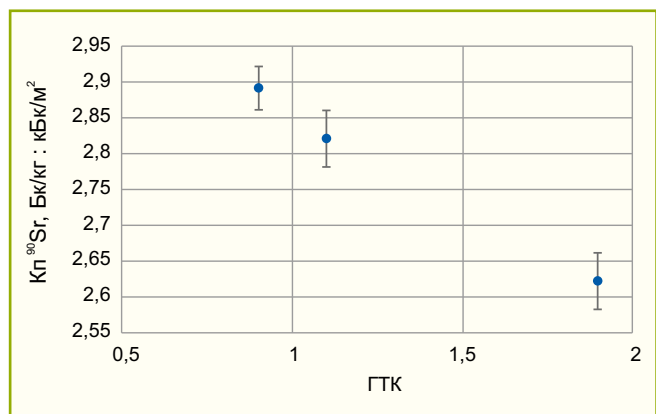


Рисунок 2 – Изменение коэффициента перехода ^{90}Sr в зелёную массу сорго сахарного при разных значениях ГТК

зующийся высокой температурой воздуха (на уровне 19–21 °С) и достаточным количеством осадков (более 100 мм) на протяжении июня – июля, т. е. в период активного роста культуры. Средняя урожайность зелёной массы сорго сахарного, выращенного при обеспеченном увлажнении, составила 659 ц/га, что на 174 ц/га больше, чем в засушливом, и на 377 ц/га меньше, чем в год с избыточным увлажнением.

Анализ зависимости между средней урожайностью зелёной массы сорговых культур и гидротермическим коэффициентом показал наличие прямой корреляционной связи (рисунок 3).

Параметры уравнения регрессии, описывающего зависимость урожайности сорговых культур от ГТК, было получено с помощью метода наименьших квадратов. Коэффициент линейной парной корреляции составил 0,99. Полученное значение коэффициента корреляции признано значимым на уровне значимости 0,95 по критерию Стьюдента. По шкале Чеддока данная связь характеризуется также как весьма высокая. Интервальная оценка ГТК для коэффициента корреляции составляет от 0,3 до 1,67 ед.

Бета-коэффициент показал, что увеличение ГТК на величину среднеквадратического отклонения приведёт к увеличению средней урожайности на 98,8 % среднеквадратического отклонения урожайности.

Средний коэффициент эластичности в эксперименте равен 0,99. Следовательно, при изменении ГТК на 1 % урожайность изменится чуть менее чем на 1 %.

Среднее отклонений расчётных значений от фактических в нашем эксперименте составило 4,5 %. Поскольку ошибка меньше 7 %, то данное уравнение можно использовать в качестве регрессии.

На урожайность зелёной массы сорго сахарного существенное влияние оказывает система применения минеральных удобрений.

Средняя по опыту урожайность зелёной массы сорго за все годы исследований находилась в интервале 540–919 ц/га. В зависимости от системы удобрений прибавка зелёной массы по отношению к контрольному варианту варьировала от 56 ц/га в варианте P₄₀K₁₀₀ до 379 ц/га при внесении N₉₀P₆₀K₁₀₀ (таблица).

Средний сбор зелёной массы с гектара посевов сорго на фоне применения фосфорных и калийных удобрений увеличился на 56–88 ц/га по сравнению с вариантом, где удобрения не применяли. При этом увеличение дозы внесения фосфора с 40 кг/га д. в. до 60 кг/га д. в. на фоне K₈₀ способствовало увеличению урожайности

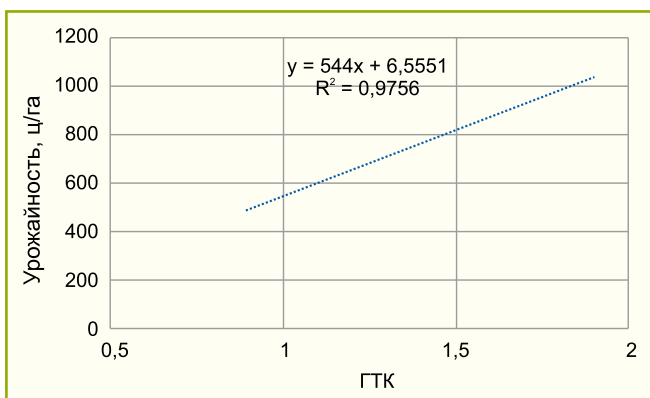


Рисунок 3 – Изменение урожайности зелёной массы сорго сахарного при различном ГТК

на 18 ц/га, на фоне K₁₀₀ – на 32 ц/га. Положительное влияние калия проявилось только на фоне внесения фосфора в дозе 60 кг/га д. в. Прибавка урожая зелёной массы при увеличении дозы калия с 80 до 100 кг/га д. в. при P₆₀ составила 13 ц/га.

Внесение полного минерального удобрения обеспечило более высокую прибавку урожая зелёной массы сорго – от 176 до 379 ц/га. Эффективность применения азота в дозе 70 кг/га д. в. на фоне P₄₀K₈₀ и P₆₀K₈₀ составила соответственно 118 ц/га и 116 ц/га зелёной массы по сравнению с безазотным фоном. При увеличении дозы азота с 70 до 90 кг/га д. в. дополнительно получено соответственно 131 ц/га и 128 ц/га зелёной массы.

Прибавка урожая, полученная за счёт внесения N₇₀ на фоне P₄₀K₁₀₀, составила 153 ц/га, N₉₀ – 265 ц/га, на фоне P₆₀K₁₀₀ – 154 и 291 ц/га соответственно. То есть увеличение дозы внесения азота с 70 до 90 кг/га д. в. на фоне P₄₀K₁₀₀ обеспечило получение дополнительно 113 ц/га, на фоне P₆₀K₁₀₀ – 137 ц/га зелёной массы сорго.

Заключение

Внесение минеральных удобрений обеспечивает снижение коэффициентов перехода ⁹⁰Sr в зелёную массу сорго сахарного в среднем на 28 %. Минимальный коэффициент перехода ⁹⁰Sr в зелёную массу сорго сахарного составляет 2,55 Бк/кг : кБк/м² при системе удобрений N₇₀P₆₀K₈₀ и N₇₀P₆₀K₁₀₀.

Существует обратная высокая корреляционная связь между коэффициентом перехода (Кп) ⁹⁰Sr в зелёную массу сорго и гидротермическим коэффициентом, характеризующим степень увлажнения вегетационного периода. Между урожайностью зелёной массы сорго и гидротермическим коэффициентом корреляционная связь также весьма высокая, однако прямая.

Внесение фосфорно-калийных удобрений позволяет увеличить урожай зелёной массы сорго на 56–88 ц/га, полного минерального удобрения (NPK) – на 176–379 ц/га по сравнению с контрольным вариантом.

Наибольшую урожайность зелёной массы сорго сахарного обеспечивает система удобрений N₉₀P₆₀K₁₀₀.

Влияние системы удобрений на урожайность зелёной массы сорго сахарного

| Система удобрений | Урожайность, ц/га зелёной массы | Прибавка к контролю, ц/га |
|--------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Контроль | 540 | – |
| P ₄₀ K ₈₀ | 598 | 58 |
| N ₇₀ P ₄₀ K ₈₀ | 716 | 176 |
| N ₉₀ P ₄₀ K ₈₀ | 847 | 308 |
| P ₄₀ K ₁₀₀ | 596 | 56 |
| N ₇₀ P ₄₀ K ₁₀₀ | 748 | 209 |
| N ₉₀ P ₄₀ K ₁₀₀ | 861 | 321 |
| P ₆₀ K ₈₀ | 616 | 76 |
| N ₇₀ P ₆₀ K ₈₀ | 732 | 192 |
| N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀ | 860 | 321 |
| P ₆₀ K ₁₀₀ | 628 | 88 |
| N ₇₀ P ₆₀ K ₁₀₀ | 782 | 242 |
| N ₉₀ P ₆₀ K ₁₀₀ | 919 | 379 |
| HCP _{0,5} | 48 | – |

Литература

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]. – Минск, 2012. – 123 с.
2. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности кормов и кормовых добавок», Проект (ТР 201_00_ТС).
3. Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Дата доступа: 09.04.2021.
4. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 01.07.93. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
5. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение pH по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. – Введ. 01.07.86. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 4 с.
6. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. – Введ. 01.07.93. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
7. Методические указания по определению ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах и растениях / А. В. Кузнецов [и др.]. – М.: ЦИНАО, 1985. – 64 с.
8. Эконометрика: учебник / И. И. Елисеева [и др.]; под ред. И. И. Елисеевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 576 с.

УДК [631.16:658.155]:[631.8:636.086.15]

Экономическая эффективность применения органических, макро-, микроудобрений и регулятора роста при возделывании кукурузы на зерно и зелёную массу

С. С. Мосур, ассистент, А. С. Журавский, старший преподаватель
И. Р. Вильдфлуш, доктор с.-х. наук
Белорусская государственная сельскохозяйственная академия

(Дата поступления статьи в редакцию 17.05.2021)

В статье дан анализ экономической эффективности применения органических, макро-, микроудобрений и регулятора роста при возделывании кукурузы на зерно и зелёную массу.

Установлено, что в условиях дерново-подзолистых легкосуглинистых почв северо-востока Беларуси наиболее оптимальные агроэкономические показатели возделывания кукурузы гибрида Ладога возможны при применении комплексного удобрения Кристалон на фоне минеральных удобрений в дозе $N_{90+30}P_{70}K_{120}$.

The article analyzes the economic efficiency of the use of organic, macro-, micronutrient fertilizers and growth regulator in the cultivation of corn for grain and green mass.

It has been established that in the conditions of sod-podzolic light loamy soils in the north-east of Belarus, the most optimal agro-economic indicators of the Ladoga hybrid corn are possible with the use of complex fertilizer Kristalon against the background of mineral fertilizers at a dose of $N_{90+30}P_{70}K_{120}$.

Введение

Кукуруза (*Zea mays* L.) – одна из важнейших сельскохозяйственных культур в мире. У неё высокая потенциальная урожайность и универсальность использования. Возделывание кукурузы на зерно в нашей стране стало одной из важнейших задач сельского хозяйства [1, 2].

Оптимизация питания растений и повышение эффективности внесения удобрений в огромной степени связаны с обеспечением оптимального соотношения в почве макро- и микроэлементов. Важным фактором повышения урожайности кукурузы является оптимизация минерального питания растений путем обеспечения их всеми необходимыми и незаменимыми макро- и микроэлементами [3–5].

В сложных и быстроменяющихся условиях ведения производственной деятельности каждое предприятие стремится получить больше прибыли за счет увеличения производства продукции и повышения ее качества с меньшими затратами. Дополнительные вложения должны давать опережающий прирост денежных поступлений. Достичь этого можно в первую очередь за счет рационального использования химических и биологических средств увеличения продуктивности почвы и растений.

Использование различных удобрений, а также схем их внесения при возделывании сельскохозяйственных

культур позволяет получить дополнительную продукцию по сравнению с контролем при одинаковых условиях выращивания.

При возделывании кукурузы на зерно с экономической выгодой в первую очередь необходимо обращать внимание на продуктивность гибридов. Ю. В. Соколов считает, что возделывание кукурузы на зерно экономически выгодно [6, 7].

Для расчета величины возможной дополнительной прибыли, полученной за счет увеличения урожайности, проведена оценка экономической эффективности возделывания кукурузы в зависимости от внесения различных комбинаций микроудобрений и регуляторов роста, затрат на производство и реализацию, а также цен на продукцию.

Условия и методика проведения исследований

Исследования проводили на опытном поле «Тушково» УНЦ «Опытные поля БГСХА» в 2018–2020 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины около 1 м моренным суглинком.

Почва опытного участка имела кислую и слабокислую реакцию почвенной среды, среднюю обеспеченность гумусом, подвижными формами меди и цинка, повышенное содержание подвижных форм фосфора, повышенное и высокое содержание подвижных форм калия (таблица 1).