

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕВООБОРОТА И ВНЕСЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА АГРОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОСА

МЭН ВАН, магистрант, СИНЬСИНЬ ЦАО, магистрант
БАЙЛИ ФЭН, профессор
E-mail: 18545544953@163.com

СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СЕЛЬСКОГО И ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА,
ПРОВИНЦИЯ ШЭНСИ, КНР

Аннотация. Севооборот и совместное внесение органических удобрений эффективно увеличивали высоту растений проса в каждый период роста, диаметр стебля растения в фазе колошения/налива зерна и функциональную площадь листьев в фазу вегетативного роста, что полезно для морфологического развития растений проса. В условиях непрерывного посева по сравнению с обработкой СК высота растений, диаметр стебля и функциональная площадь листьев проса под обработками OF и NPO достоверно увеличились на 2,37% и 15,17%, 0,27% и 10,66%, 19,05% и 56,37% соответственно; по сравнению с непрерывным возделыванием, модель севооборота способствовала увеличению высоты растений проса, диаметра стебля и площади флагового листа на 0,40%-6,74%, 0,66%-23,08% и 2,30%-54,11% соответственно. При этом сочетание внесения органических удобрений и севооборота также увеличивало накопление сухого вещества растениями проса в каждый период роста, а обработка NPO увеличивала на 61,24% в период налива зерна в условиях севооборота и органики. Внесение удобрений, по сравнению с обработкой СК, урожайность проса значительно увеличивалась на 8,74%-19,48%. Внесение органических удобрений улучшает росту растений, способствует накоплению сухого вещества, нормальному росту и развитию растений проса, влияет на урожайность сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: просо, севооборот, органические удобрения, физиологические характеристики.

Для цитирования: Мэн Ван, Синьсинь Цао, Байли Фэн. Исследование влияния севооборота и внесения органических удобрений на агрономические показатели проса. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2024; 3(51):138-149. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-3-138-149

STUDY ON THE EFFECTS OF CROP ROTATION AND ORGANIC FERTILIZER APPLICATION ON THE AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF MILLET

Meng Wang, Xinxin Cao, Baili Feng

NORTHWEST A&F UNIVERSITY, SHAANXI PROVINCE, CHINA

Abstract: Crop rotation and combined application of organic fertilizers effectively increased the height of millet plants in each growth period, the stem diameter of the plant in the heading/grain filling phase, and the functional leaf area in the vegetative growth phase, which is beneficial for the morphological development of millet plants. Under continuous sowing conditions, compared with SK treatment, plant height, stem diameter and functional leaf area of millet under

OF and NPO treatments significantly increased by 2.37% and 15.17%, 0.27% and 10.66%, 19.05% and 56.37%, respectively; compared with continuous cultivation, the crop rotation model increased the millet plant height, stem diameter and flag leaf area by 0.40%-6.74%, 0.66%-23.08% and 2.30%-54.11%, respectively. Moreover, the combination of organic fertilizer application and crop rotation also increased the accumulation of dry matter by millet plants in each growth period, and NPO treatment increased it by 61.24% during the grain filling period under crop rotation and organic conditions. The application of fertilizers, compared with the treatment with SK, significantly increased the yield of millet by 8.74%-19.48%. The application of organic fertilizers improves plant growth, promotes the accumulation of dry matter, promotes the normal growth and development of millet plants, and affects the yield of agricultural crops.

Keywords: millet, crop rotation, organic fertilizers, physiological characteristics.

Введение. Являясь одной из важных зерновых культур в засушливых районах северного Китая, просо имеет долгую историю выращивания и высокую пищевую и экономическую ценность. В последние годы, в связи с сокращением объемов зерновых культур и посевных земель, площади под данными культурами постепенно сокращались, а проблема препятствий для непрерывного посева проса становится все более заметной и обостряющейся. Поэтому изучение разумных методов выращивания и методов внесения удобрений имеет решающее значение для устранения препятствий на пути непрерывного выращивания проса и обеспечения зеленого и устойчивого развития различных зерновых культур.

Система возделывания – это разумное сочетание способов посева культур и планирования структуры. Соответствующий режим посева может улучшить урожайность и качество полученной продукции. В последние годы, благодаря научному развитию и технологическим инновациям, способы посева сельскохозяйственных культур изменились. Системы одиночного земледелия и непрерывная посадка больше не подходят для модели развития современного сельского хозяйства. Из-за постоянного сокращения посевных площадей в различных регионах возникли серьезные препятствия для непрерывного выращивания многих культур (Чжан Минь и др., 2012). При непрерывном возделывании корни сельскохозяйственных культур в течение длительного времени поглощают питательные вещества из одного и того же слоя почвы, что приводит к их неравномерному распределению в почвенном слое, недостатку для роста растений, и изменению баланса питательных веществ в почве (Лю Шаньтин, 2020). Непрерывный посев одной и той же культуры на одном и том же поле потребляет много земельных ресурсов, а также приносит другие проблемы; неразумная система земледелия снижает эффективность использования питательных веществ почвы и снижает экономическую выгоду от поля. В условиях широкомасштабного выращивания крупных продовольственных культур сокращается площадь возделывания мелких продовольственных культур, и рациональное использование земли становится насущной проблемой, требующей решения. При существующих земельных ресурсах сплошная посадка стала нормой, а рациональное использование методов посадки – это проблема, которую мы должны решить.

В 1960-е и 1970-е годы продуктивность земель была низкой. Для решения проблемы с продовольствием и одеждой китайцев на сельскохозяйственные угодья вносилось большое количество химических удобрений и пестицидов. Со временем баланс питательных веществ на полях был нарушен. Использование пестицидов, химических удобрений, особенно азотных, стало серьезной проблемой в сельскохозяйственном производстве. За существенным увеличением производства стоит разрушение экосистем сельскохозяйственных угодий, что также вызвало ряд экологических проблем. В настоящее время в Китае насчитывается около 128 миллионов гектаров пахотных земель, для которых ежегодно требуется около 113 миллионов тонн удобрений, что делает его крупнейшим в мире импортером химических удобрений и потребителем удобрений, однако эффективность использования химических удобрений составляет всего около 40%, что приводит к большой

трате ресурсов, экологическим и природоохранным проблемам (Zhang Ran 2020). Население Китая велико, при этом площадь пахотных земель на душу населения незначительное и под длительным давлением расширяющегося промышленного землепользования непрерывная обработка земли стала наиболее распространенным методом возделывания в интенсивном современном сельскохозяйственном производстве. В основных положениях Тринадцатого пятилетнего плана национального экономического и социального развития (2016-2020 гг.) выдвигается национальная стратегическая установка «продовольствие в земле и продовольствие в технологии». С развитием сельского хозяйства и технического прогресса большинство ученых считают, что использование органических удобрений и севооборота может эффективно смягчить вред от химических удобрений, сократить использование азотных удобрений, а органические удобрения могут улучшить состояние плодородия почвы, не вызывая значительного снижения урожайности. Органические удобрения богаты органическими веществами, содержат комплексные питательные вещества, имеют длительный питательный эффект и содержат большое количество микроорганизмов, ферментов и т. д. Севооборот может значительно улучшить физико-химические свойства почвы, облегчить подкисление почвы, увеличить количество эффективных питательных веществ в почве и поддерживать баланс питательных веществ (Gong et al., 2019; Lin et al., 2019), а использование органических удобрений и режима севооборота может помочь сохранить воду и удобрения, а также улучшить буферную способность почвы. Режим севооборота и сочетание органических и неорганических удобрений могут значительно увеличить содержание органического вещества и питательных веществ в почве, что способствует снижению объемной плотности почвы и улучшению свойств почвы по удержанию воды и удобрений, повышению урожайности, улучшению качества урожая и облегчению проблем почвы, вызванных непрерывным земледелием, при условии снижения загрязнения окружающей среды (Zhang Feifei 2023), что имеет большое значение для устойчивого зеленого развития сельского хозяйства.

Поэтому в данных исследованиях в качестве экспериментального материала использовался сорт «Shaan Yu Valley No.3» в режиме непрерывного посева и севооборота проса и бобовых, а также были установлены различные методы внесения удобрений для изучения влияния севооборота и органических удобрений на качество проса.

Условия и методика проведения исследований

Эксперимент проводился на базе Яньаньского научно-исследовательского центра мелкозерновой промышленности Северо-Западного университета сельского и лесного хозяйства (NWAFSU). Экспериментальная площадка расположена недалеко от деревни Шацюань города Яньхэвань района Ансай города Яньань провинции Шэньси (109,36° з.д., 36,81). ° с.ш.), расположенный в лессе северо-запада внутри страны. Во внутренних районах плато и на краю котловины Ордос расположены лессовые холмы в форме Лянмао, а почва - лессовая. В этой области типичный умеренно-континентальный полузасушливый муссонный климат с выраженными сухими и влажными условиями, дождливым летом и осенью и суровой холодной и сухой зимой. Годовая продолжительность солнечного сияния 2415,5 ч, суммарная радиация 480,06 кДж/см², безморозный период 160-180 сут, средняя температура 8,8 °С, активная суммарная температура ≥ 10 °С 3177,4 °С, годовая испаряемость составляет 1645,4 мм (Лю Мэньюнь и др., 2002; Хан Лэй и др., 2011). Основные физико-химические свойства почвы в окультуренном слое 0-20 см опытного участка в 2020 году составляют: содержание подвижного фосфора 4,66 мг/кг, содержание подвижного калия 95,00 мг/кг, содержание подвижного азота 35,67 мг/кг, общее содержание фосфора 0,43 г/кг, содержание калия общее – 16,80 г/кг, содержание общего азота – 0,43 г/кг, значение рН – 8,50, месячная сумма осадков и изменения температуры на полигоне с 2022 по 2023 гг. показаны на рисунке 1.

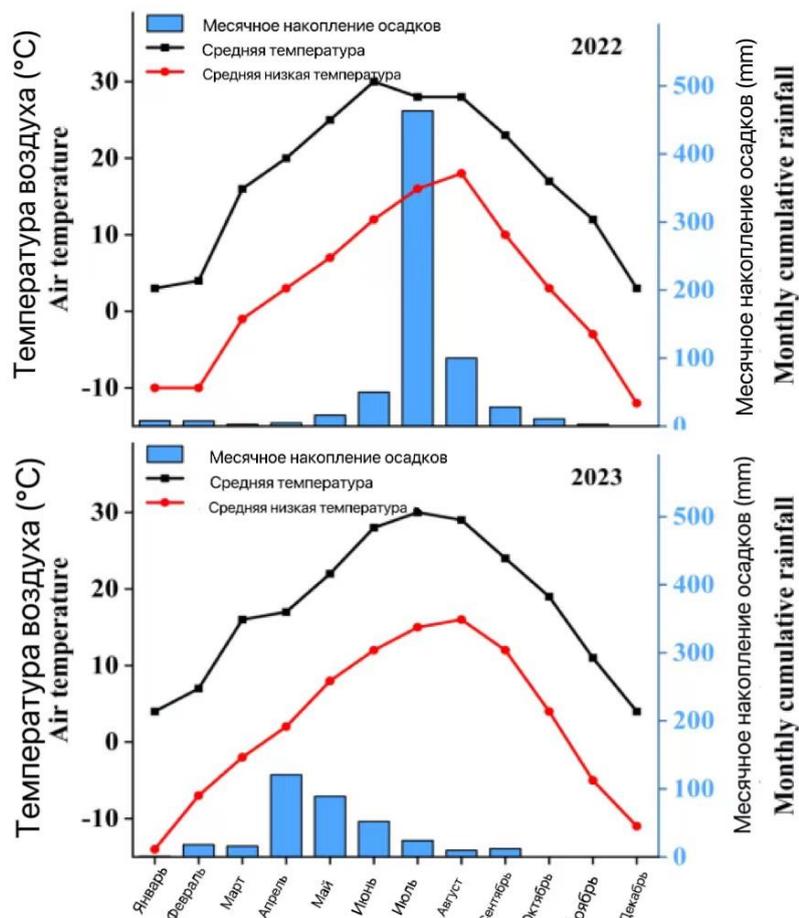


Рис. 1. Температура и количество осадков на испытательном полигоне в 2022 – 2023 годах

Этот опыт представляет собой долгосрочный эксперимент по испытаниям, которые начались в 2020 году. Объектами исследований были: сорт проса — Shaanxi Yu Valley 3 и сорт маша севооборота — West Green 1. В этом эксперименте анализируются и данные, собранные с полей проса в условиях непрерывного возделывания и севооборота с органическими удобрениями в 2022-2023 годах; полей проса непрерывного выращивания и севооборота в 2022 году в 3-й год, а зерновые непрерывного выращивания и севооборота в 2023 году в 4-й год. Модель севооборота проса и маша представляет собой межгодовой севооборот (то есть просо сеют в первый год, а маш сеют во второй год). Убирают урожай один раз в год, а остальное время оставляют под паром. После сбора урожая каждый год солому проса и остатки на поле убирают полностью и не возвращают на поле для использования. Агронамические мероприятия проводятся в соответствии с местными условиями выращивания.

В эксперименте применялся разделенный план посева. Основной участок представлял собой посев с двумя режимами сева: сплошной посев проса и севооборот проса и маша. Подучасток представлял собой способ внесения удобрений с 4 обработками, а именно без внесения удобрений (СК) и обычных азотно-фосфорных удобрений (NP), однократное внесение органических удобрений (OF), снижение обычных азотных и фосфорных удобрений на 30% и внесение органических удобрений (NPO). Каждую обработку проводили в 3 повторностях, всего 24 делянки, площадь каждой делянки составила 30 м² (5м×6м). Каждый участок имел 15 рядков, междурядья 33,33 см и расстоянием между растениями 6 см. Плотность посадки составляет около 510 000 растений/га. Срок посева проса в 2022 году – 23 мая, дата сбора урожая – 5 октября; срок посева проса в 2023 году – 18 мая, дата сбора урожая – 15 октября.

В качестве удобрений использовались: мочевина (содержит 46,00% чистого азота), суперфосфат кальция (содержит 12,00% фосфора), органические удобрения (содержание органического вещества 70,00%, чистого азота 1,12%, P₂O₅ 1,10%, K₂O 3,20%, pH 7,90; производитель - Anhui Anxin Pasture Industry Development Co.). Удобрения были внесены в качестве основного удобрения перед посевом, дополнительные удобрения не вносились. Просо: чистый азот 150 кг/гм², P₂O₅ 105 кг/гм².

Конкретное количество удобрений, внесенных на испытательном участке, приведено в таблице 1, а схема посева в полевых условиях приведена на рисунке 2.

Таблица 1

Количество удобрений, внесенных за одну обработку

Культура	Вариант	Азот N (кг/м ²)	Фосфор P ₂ O ₅ (кг/м ²)	Органические удобрения (кг/м ²)
Просо	СК	0	0	0
	NP	150	105	0
	OF	0	0	13393
	NPO	105	73.5	4017



Рис. 2. Схема опыта

Пять репрезентативных и здоровых растений с одинаковыми условиями роста были случайным образом отобраны и пронумерованы на каждой делянке на стадиях кущения, выметывания, цветения и полной спелости, на которых производился замер высоты растений, толщины стебля, длину и ширину листьев проса при каждой обработке измеряли отдельно в течение каждого репродуктивного периода. Площадь функциональных листьев выражалась как «длина функционального листа × ширина функционального листа × 0,75».

Накопление сухого вещества в растениях измеряли методом сушки и взвешивания. Растения проса, отобранные в течение каждого репродуктивного периода, разделяли на три части - стебли, листья и репродуктивные органы, и помещали в пакет из крафт-бумаги. После 30-минутной стерилизации при температуре 105°C в духовке их высушивали при температуре 80°C до получения постоянного веса. Использовали электронные весы (точность 0,001 г) для взвешивания полученного материала.

После того, как просо достигало стадии зрелости, для каждой обработки отбирали по 5 растений и измеряли такие показатели, как длина метелки проса, толщина и вес одного соцветия; затем все метелки на каждом участке обработки собирали вручную, а после сушки

и при обмолоте в естественных условиях измеряли массу тысячи зерен и рассчитывали фактический урожай зерна при каждой обработке.

Результаты и их обсуждение

В таблице 2 представлены изменения морфо-физиологических показателей проса непрерывного выращивания и севооборота в каждый период роста при различных сочетаниях удобрений в 2022 году.

Таблица 2

Изменение агротехнических показателей проса при севообороте и внесении органических удобрений в 2022 г.

Фаза развития	Режим сева	Внесение удобрений	Высота растений, см	Толщина стеблей, мм	Площадь листьев, см ²
Фаза кущения	СМ	СК	89.00±1.00e	8.83±0.40c	86.75±4.31e
		NP	94.33±1.53bcd	10.27±0.31ab	110.55±8.32bc
		OF	90.67±1.53de	8.57±1.07c	102.03±6.28cd
		NPO	97.67±2.31ab	10.40±0.53ab	123.98±6.53a
	RM	СК	93.33±3.06cd	10.6±1.20ab	92.05±5.78de
		NP	96.67±2.31bc	11.13±0.57a	117.50±6.38ab
		OF	93.33±3.06cd	9.50±0.46bc	100.65±6.16cd
		NPO	101.00±1.73a	11.00±0.53a	119.65±5.50ab
Фаза выметывания	СМ	СК	93.67±1.53e	8.07±0.06e	63.58±2.14f
		NP	114.67±3.51c	8.63±0.25c	77.03±0.93d
		OF	94.67±1.15e	8.33±0.15e	91.23±1.13b
		NPO	127.67±5.13a	10.20±0.10b	97.63±0.42a
	RM	СК	99.00±1.00de	9.03±0.06c	87.75±1.30c
		NP	116.67±2.52bc	10.20±0.10b	92.45±1.21b
		OF	104.33±4.04d	10.17±0.15b	69.21±1.77e
		NPO	121.33±3.51b	10.63±0.31a	93.73±2.25b
		СК	121.10±0.70e	10.43±1.04ab	54.37±9.50bc
		NP	132.87±1.63c	9.50±3.10ab	65.23±8.87bc
		OF	136.03±0.38ab	9.73±1.86ab	47.61±11.68c
		NPO	134.73±1.40bc	8.67±1.40ab	66.33±9.04bc
	RM	СК	123.53±0.15e	7.63±0.60b	72.14±8.67b
		NP	134.60±1.87bc	11.27±0.80a	100.53±14.02a
		OF	128.57±1.25d	9.13±1.32ab	58.88±11.07bc
		NPO	137.67±1.20a	10.67±1.50ab	67.85±19.57bc
Фаза полной спелости	СМ	СК	122.53±1.15c	9.27±0.29d	49.94±2.66e
		NP	133.20±3.25b	10.67±0.21ab	111.12±3.73a
		OF	121.17±4.12c	10.07±0.42bc	62.29±4.43d
		NPO	137.83±4.45b	11.23±0.25a	110.25±3.43a
	RM	СК	126.83±3.49c	9.77±0.15cd	57.21±2.87d
		NP	133.73±4.70b	11.30±0.95a	99.28±6.74b
		OF	125.23±1.95c	10.13±0.06bc	78.61±2.57c
		NPO	147.13±2.61a	10.53±0.35abc	105.55±4.94ab
Режим сева (P)			0.277 ^{ns}	7.544 ^{**}	2.217 ^{ns}
Внесение удобрений (F)			4.922 ^{**}	7.760 ^{**}	12.981 ^{**}
Режим сева× Внесение удобрений (P×F)			0.007 ^{ns}	1.020 ^{ns}	1.040 ^{ns}

Как видно из таблицы, различные схемы посева могут существенно влиять на диаметр стебля растений проса ($P < 0,05$), но не оказывают существенного влияния на высоту растения и площадь флагового листа, влияние состава удобрений на высоту растений,

толщину стебля и площадь флагового листа зерновых растений было высоко значимым ($P < 0,01$). С наступлением репродуктивного периода высота и толщина растений проса при каждой обработке постепенно увеличивались. По сравнению с режимом непрерывного выращивания, в режиме севооборота все морфо-физиологические характеристики проса лучше, что позволяет увеличить высоту растений проса, диаметр стебля и площадь флагового листа на 0,40–6,74%, 0,66%-23,08% и 2,30%-54,11%. На ранней стадии роста проса севооборот может увеличить высоту растений проса на 2,08%-6,65% и диаметр стебля на 5,00%-16,39%, что влияет на рост и урожайность, развитие растений проса в течении вегетативного роста. При непрерывном режиме сева общая высота растений проса составляет $NPO > NP > OF > СК$. А обработка NP и NPO в период плодоношения на 5% выше, чем при обработке $СК$, соответственно 27%-22.41% и 10.74%-36.30%, причем наибольшее увеличение произошло в период налива зерна. За исключением стадии зрелости, площадь флагового листа показала лучшие результаты при обработке NPO . В режиме севооборота высота растений проса была лучшей при обработке NPO в период роста, что позволило увеличить растения проса на 15,60%. По сравнению с обработкой $СК$ диаметр стебля проса в период налива увеличился на 47,71% и 19,66% при каждой обработке комбинацией удобрений 38,84%, а диаметр стебля проса, обработанного NPO и NP , достигал максимального значения на стадии налива зерна, а площадь флагового листа была оптимальной для обработки NPO на стадии вегетативного роста, а обработка NP была оптимальна на этапе репродуктивного роста. Из таблицы 2 видно, что разные схемы сева и способы внесения удобрений по-разному влияют на показатели проса: высота растения, диаметр стебля и площадь флагового листа проса на каждой стадии роста в 2022 году будут иметь большее значение. Различия при разных условиях внесения удобрений, что указывает на то, что разные способы внесения удобрений оказывают более существенное влияние на агротехнические признаки проса.

Данные в таблице представляют собой среднее значение \pm стандартное отклонение ($n=3$); разные строчные буквы указывают на значительные различия на уровне 5% между различными обработками в течение одного и того же репродуктивного периода. RM : сплошной посев проса; RM : севооборот проса; CM : без внесения удобрений; NP : исключительное внесение азотных и фосфорных удобрений; NPO : 30% сокращение обычных азотных и фосфорных удобрений; органические удобрения. **Разница достоверна на уровне 0,01, нс. Разница недостоверна.

В таблице 3 показаны изменения признаков в различные периоды плодоношения при использовании различных составов удобрений в 2023 году на зерновых культурах сплошного посева. Из таблицы видно, что органические удобрения очень сильно ($P < 0,01$) повлияли на толщину стебля и площадь флаговых листьев растений злаков, в то время как на высоту растений они не оказали существенного влияния. По мере продвижения репродуктивного периода высота растений и толщина стебля демонстрировали непрерывную тенденцию к увеличению, в то время как площадь флаговых листьев сначала увеличивалась, а затем уменьшалась, что в основном соответствовало 2022 году. При непрерывном режиме возделывания удобрения увеличили высоту растений зерновых на 12,12%-27,10%, 1,07%-14,95% и 12,32%-36,60% по сравнению с обработкой CM , при этом обработка NP показала наибольшее увеличение на стадии налива, а обработка NPO - на стадии колошения. Толщина стебля зерна при обработке $NPO > NP > OF > CM$ значительно увеличилась на 21,42%, 6,34% и 23,23% по сравнению с обработкой CM в репродуктивный период; площадь листьев флага при каждой обработке была максимальной на стадии роста, лучшей на стадии завязывания метелки при обработке NPO , и лучшей на стадии прорастания и созревания при обработке NP , что указывает на то, что применение органических удобрений может способствовать развитию листовых пластинок на стадии интенсивного роста проса.

Таблица 3

Изменение агротехнических показателей проса сплошного посева при внесении органических удобрений в 2023 г.

Фаза развития	Режим сева	Внесение удобрений	Высота растений, (см)	Толщина стеблей, мм	Площадь листьев флага (см ²)
Фаза кущения	СМ	СК	66.00±3.08b	7.53±0.21c	68.30±5.29b
		NP	74.20±1.71a	8.10±0.10a	91.26±6.33a
		OF	64.20±1.71b	7.63±0.06bc	93.25±5.94a
		NPO	74.13±1.68a	7.80±0.10b	98.75±0.99a
Фаза выметывания	СМ	СК	92.90±1.49c	9.53±0.15b	84.89±3.71b
		NP	113.40±2.71b	10.67±0.21a	95.46±3.71a
		OF	93.27±1.07c	9.57±0.25b	65.61±4.79c
		NPO	126.93±4.05a	10.77±0.15a	93.98±1.10a
Фаза налива зерна	СМ	СК	107.10±1.84c	8.03±0.38c	45.11±4.87c
		NP	136.00±2.33a	11.30±0.36a	101.29±21.27a
		OF	123.93±4.18b	10.07±0.49b	66.28±19.68bc
		NPO	135.93±1.36a	11.03±0.32a	81.85±7.14ab
Фаза полной спелости	СМ	СК	111.80±1.68c	8.50±0.53bc	60.91±2.77b
		NP	139.67±2.63a	9.43±0.50ab	95.67±5.98a
		OF	116.70±1.42b	8.07±0.25c	51.92±3.83b
		NPO	135.50±3.47a	10.40±0.78a	87.42±9.66a
Внесение удобрений (F)			2.747 ^{ns}	5.349 ^{**}	15.163 ^{**}

На рисунке 3 показаны изменения накопления сухого вещества растениями проса при различных режимах посева и применении органических удобрений (2022 г.). В период роста накопление сухого вещества растениями проса постепенно увеличивается. Результаты полевых экспериментов показывают, что севооборот позволяет увеличить накопление сухого вещества растениями в каждый период роста проса (за исключением стадии севооборота проса) значительно увеличивает накопление сухого вещества растениями на 8,40%-30,86% по сравнению с сплошным посевом проса. Частичное накопление сухого вещества показало наиболее очевидный эффект улучшения от обработки NP и NPO. При различных способах внесения удобрений обработка NPO имела самое высокое накопление сухого вещества в каждый период роста, а производительность режимов непрерывного посева и севооборота была стабильной. При непрерывном режиме посева накопление сухого вещества проса на стадии зрелости при каждом внесении удобрений увеличивалось на 65,41%, 4,92% и 70,97% соответственно по сравнению с режимом севооборота, накопление сухого вещества проса при севообороте. Каждая обработка увеличилась на 85,62% по сравнению с обработкой СМ 44,79%, 76,28%. На стадии выметывания надземная биомасса проса значительно увеличивалась и достигала пика в стадии зрелости, в течение каждого периода роста общее накопление сухого вещества растения имело следующую закономерность: NPO/NP>OF>СК, что указывает, на что сокращение применения химических удобрений не повлияло на надземный рост растения. Накопление сухого вещества в сухой части проса при сплошном режиме посева не выявило очевидной разницы при однократном внесении органических удобрений (OF); обработка и отсутствие внесения удобрений (обработка СК) на стадиях кущения и колошения проса, обработки NP и NPO показали очевидные различия на стадии налива зерна, обработка NPO может значительно увеличить количество накопленного сухого вещества в период налива зерна на 61,24%.

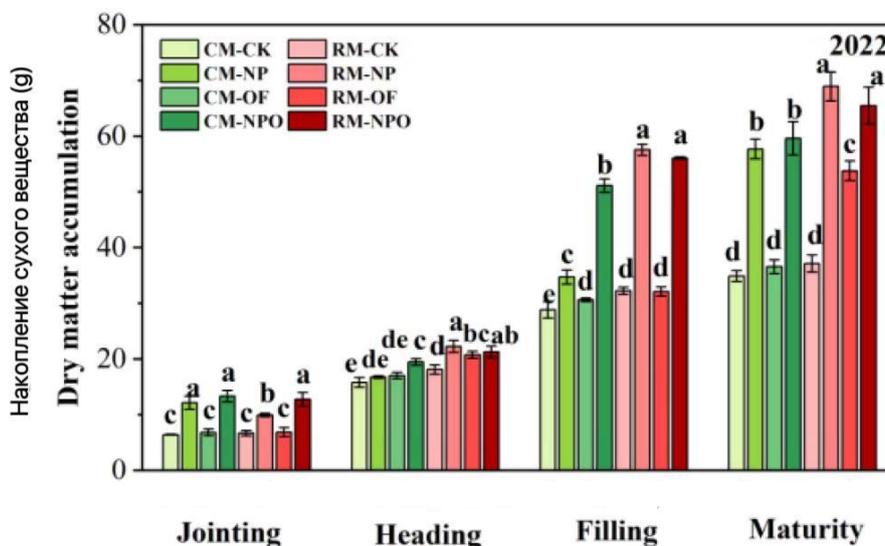


Рис. 3. Изменения в накоплении сухих веществ при севообороте и применении органических удобрений в 2022 году

На рисунке 4 показаны изменения в накоплении сухого вещества растениями проса при непрерывном режиме выращивания при сочетании органических и минеральных удобрений (2023 г.). Из рисунка видно, что по мере развития идет процесс роста накопление сухого вещества проса постепенно увеличивается. При внесении различных удобрений накопление сухого вещества проса в каждый период роста оно имеет существенные различия ($P < 0,05$). Общие показатели NPO/NP>OF>СК, имеют ту же тенденцию, что и в 2022 год. По сравнению с обработкой CM–СК накопление сухого вещества при обработке CM-NPO значительно увеличивалось на 175,14%, 38,21%, 44,85% и 43,47% в каждый период роста, при этом наибольшее увеличение наблюдалось на стадии соединения по сравнению с обычным способом. Внесение удобрений (обработка CM-NP), внесение только органических удобрений (обработка CM-OF) уменьшало накопление сухого вещества в надземной части растения в диапазоне 16,73–28,97 % в сочетании со снижением содержания азота. Органические удобрения (CM-NPO) могут увеличить накопление сухого вещества на 2,22%, общая производительность является лучшей обработкой NPO.

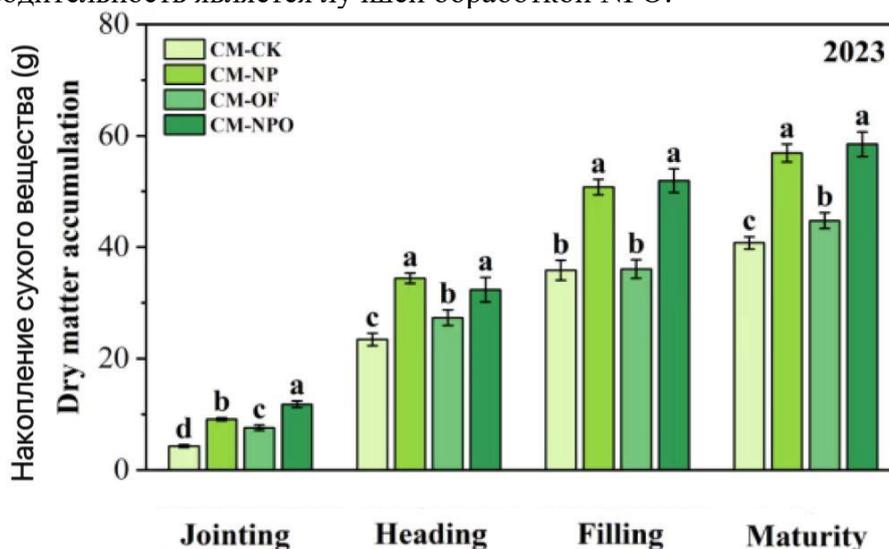


Рис. 4 Изменения в накоплении сухого вещества проса при применении органических удобрений в 2023 году

На рис. 5-6 показано, изменение массы тысячи зерен, массы колосовидной метелки с растения проса при различных режимах посева и внесении органических удобрений. Из рисунка видно, что масса 1000 семян проса сплошного посева в 2022 и 2023 годах составляет

2,62-3,39 г и 2,46-4,22 г соответственно. По сравнению с обработкой СК каждая обработка удобрениями существенно увеличивалась на 31,05%, 6,17% и 49,84%. Масса 1000 семян проса в севообороте в 2022 году составила 2,82-3,52 г. По сравнению с обработкой СК, обработка NPO значительно увеличила данный показатель на 24,93% по сравнению с режимом сплошного посева, а в севообороте увеличилось на 3,99%-13,24%.

Масса одной метелки проса сплошного посева в 2022 и 2023 гг. составляет 19,86-41,97 г и 13,27-30,88 г. По сравнению с вариантами СК, варианты NP, OF и NPO увеличились на 111,35%, 16,27%, 106,98% (2022 г.), и 97,34% соответственно 39,84%, 132,73% (2023 г.) при режиме севооборота при каждой обработке удобрениями увеличивалась на 13,86%-126,49% по сравнению с обработкой СК. Производительность проса непрерывного посева в 2022 году равна NPO>NP>OF>СК, а производительность в 2023 году в основном такая же, как и в 2022 году. Каждая обработка удобрения увеличилась на 38,96%, 16,89% и 62,99% по сравнению с СК. Обработки в 2022 г. все с существенными различиями. Урожайность проса составила 3372,24-4766,69 кг/м², при обработке NPO увеличилась на 41,35% по сравнению с обработкой СК. По сравнению с режимом непрерывного земледелия севооборот позволяет значительно увеличить массу метелки и урожайность проса с растения, с увеличением на 2,74%-14,19% и 8,74%-19,48%, причем обработка NPO лучше, чем обработка NP. Из этого видно, что при сплошном режиме посева комбинированное применение органических удобрений позволяет существенно увеличить массу тысячи зерен, массу метелки с растения и урожайность проса. По сравнению с моделью непрерывного земледелия севооборот в разной степени повысил урожайность проса и компонентов, а также в большей степени улучшил вес метелки и урожайность одного растения.

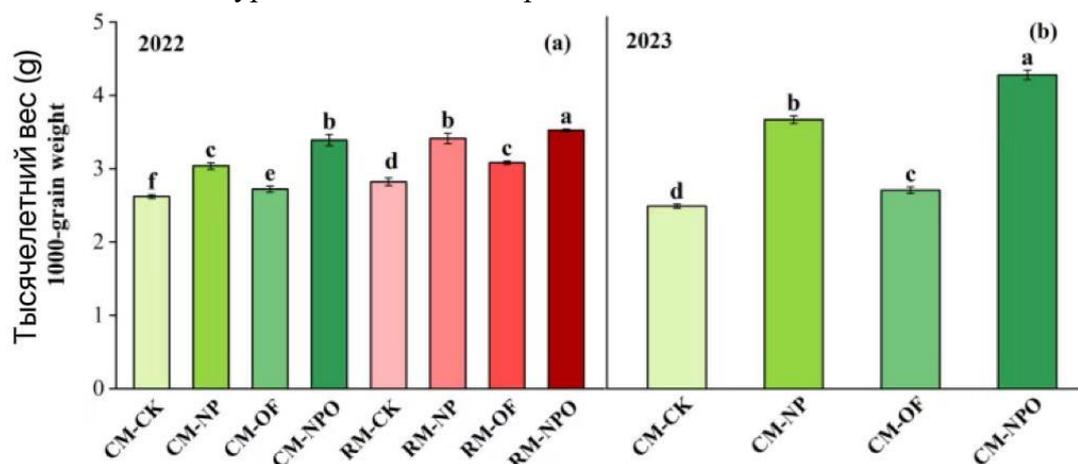


Рис. 5. Изменение массы зерна при севообороте и применении органических удобрений

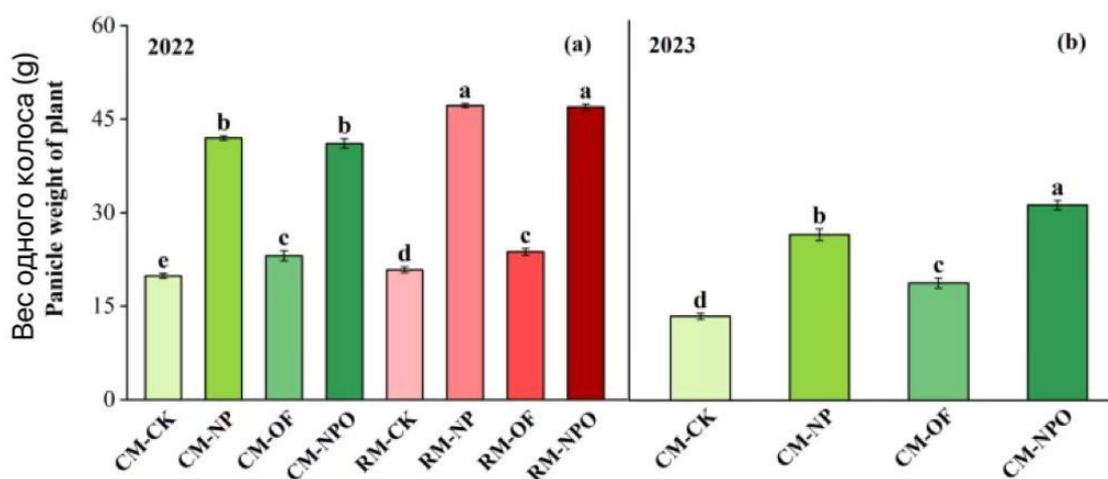


Рис. 6. Изменение веса отдельных колосьев при севообороте и применении органических удобрений

Результаты двухлетних полевых испытаний показывают, что севооборот и комбинированное внесение органических удобрений в разной степени влияют на агрономические показатели, накопление сухого вещества, показатели урожайности и состава проса на каждой стадии роста при модели непрерывного посева, комбинированном внесении органические удобрения эти показатели значительно улучшаются. Изменялись высота растений, диаметр стебля, площадь флагового листа и накопление сухого вещества в каждый период роста проса. Наибольшее увеличение высоты растений происходило в период налива зерна, что способствовало накоплению сухого вещества в более поздний период роста проса. При каждой обработке удобрениями обработка NPO оказала наиболее существенное влияние на улучшение комплексных показателей. Кроме того, внесение органических удобрений позволяет значительно увеличить массу тысячи зерен, массу метелки с растения и урожайность непрерывного посева проса, причем прирост при обработке NPO больше, чем при обработке NP. По сравнению с моделью непрерывного земледелия севооборот может в разной степени увеличить накопление сухого вещества проса, высоту растения, диаметр стебля и площадь флагового листа, что в конечном итоге повышает урожайность проса при севообороте.

Роста надземных частей сельскохозяйственных культур в каждый период вегетации может интуитивно показывать степень роста и развития сельскохозяйственных культур под влиянием света, температуры, воды, питательных веществ и других факторов посредством измерения агрономических характеристик, таких как высота растений проса и диаметр стебля отражает состояние роста и развития проса под влиянием различных схем сева и способов внесения удобрений. Предыдущие исследования показали, что органические удобрения содержат комплекс питательных веществ, могут сбалансировать питательные вещества в почве, улучшить физические и химические свойства почвы, медленно и непрерывно высвобождать питательные вещества, а также способствовать росту и развитию сельскохозяйственных культур на протяжении всего периода роста (Wu et al. 2019; Zhou et. др. 2023). В целях обеспечения нормального роста, развития и урожайности сельскохозяйственных культур сокращение количества вносимых химических удобрений и применение органических удобрений стало одним из важных путей решения проблемы препятствий сплошному посеву проса. Лу Хэюань и др. (2021) в ходе трехлетнего эксперимента по внесению удобрений обнаружили, что по сравнению с отсутствием внесения удобрений комбинированное применение органических удобрений может увеличить количество и вес коробочек хлопчатника, увеличить накопление сухого вещества в растениях хлопчатника и т. д. В то же время увеличение содержания хлорофилла и продуктивности сокращением азота не повлияло на чистую скорость фотосинтеза и накопление сухого вещества хлопка, а урожайность существенно не изменилась в течение 3 лет. В ходе двухлетних полевых экспериментов Гао и др. (2020) обнаружили, что применение биоорганических удобрений может увеличить высоту растений, площадь листьев, количество листьев на растение кукурузы, а также увеличить количество зерен за колосовидной метелке и массу 1000 семян кукурузы, тем самым увеличивая урожайность. Как модель посадки, которая эффективно использует ресурсы, является экологически чистой. Севооборот может эффективно способствовать росту и развитию сельскохозяйственных культур (Noque et al. 2023) и решить такие проблемы, препятствия для непрерывного выращивания сельскохозяйственных культур. В данном исследовании совместное применение органических удобрений и севооборота позволяет существенно повлиять на агротехнические показатели проса сплошного посева, увеличивая высоту растений, диаметр стебля и накопление сухого вещества проса в каждый период роста одновременно; Внесение органических удобрений значительно увеличивает период налива зерна. Стебли растений проса толстые, и существует значительная разница в накоплении сухого вещества в период налива зерна между азотсодержащими удобрениями, в сочетании с органическими удобрениями и только химическими удобрениями. Обработка NP позволяет значительно увеличить накопление сухого вещества в этот период. Количество накопления в фазе

вегетативного роста проса, совместное внесение органических удобрений и севооборота позволяет значительно увеличить листовую площадь функциональные листья (флаговые листья), способствуют росту листьев проса, а также обеспечивают поддержку питательными веществами и важную гарантию развития колосков проса (Сунь Цянь и др., 2020; Хоу Сицин и др., 2023). Совместное применение органических удобрений и севооборота позволяют значительно повысить массу 1000 семян и урожайность проса, что согласуется с результатами исследований Хари и др. (2022) в двухлетнем полевом опыте в условиях непрерывного посева, разница в массе тысяч зерен и урожайности проса не была очевидной. Это может быть связано с влажностью семян в условиях хранения, влага в семенах снижается после обмолота проса. Масса 1000 семян и урожайность проса могут существенно не измениться в течение двух лет, и разница незначительна. В том же году при различных схемах посева и условиях применения органических удобрений, не влияет на урожайность сельскохозяйственных культур, обычное снижение азота и фосфора на 30% в сочетании с органическими удобрениями (обработка НПО) показало более высокую продуктивность и лучший общий эффект. Таким образом, севооборот и применение органических удобрений могут значительно улучшить рост и развитие проса в каждый период роста. Влияя на рост функциональных листьев, увеличивается накопление питательных веществ растением, тем самым влияя на стадии репродуктивного роста проса и увеличивая урожайность.

Заключение

Севооборот и внесение органических удобрений эффективно увеличивали высоту растений проса в каждый период роста, диаметр стебля растения на стадии выметывания/налива зерна и функциональную площадь листьев на стадии вегетативного роста, что благоприятно сказывалось на морфологических показателях. В то же время совместное применение органических удобрений и севооборота также увеличивают накопление сухого вещества растениями проса в каждый период роста, тем самым влияя на урожайность и компоненты культур, способствуя высоким урожаям и устраняя препятствия для непрерывного выращивания проса.

Литература/References

1. Zhang Min, Tan Xianhe, Zhang Yu, Huang Xiaofen. 2012. Continuous cropping obstacles in traditional Chinese medicine [J]. *Modern Chinese Medicine Research and Practice*, 26 (01): 83-85
2. Liu Shanting. 2020. Effects of cassava continuous cropping and rotation on soil physicochemical properties, microbial communities, and yield [D] Guangxi Zhuang Autonomous Region: Guangxi University
3. Zhang Ran. 2020. Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on yield, quality, and soil physicochemical properties of winter wheat in arid areas [D] Yang Ling: Northwest A&F University
4. Chen H, Liang L, Dong J, Liang Z, Zhao L. 2019. Alteration of crop rotation in continuous *Pinellia ternate* cropping soils profiled via fungal ITS amplicon sequencing [J]. *Letters in Applied Microbiology*, 68(6): 522-529.
5. Zhang Feifei. 2023. Study on the effect of buckwheat mung bean rotation and fertilizer application on alleviating continuous cropping obstacles [D] Yang Ling: Northwest A&F University He Z,