

A. S. Kataev, E. A. Renev, S. L. Eliseev // Agrotekhnologii XXI veka: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Perm, 16-18 oktiabria 2018 goda / Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Permskii gosudarstvennyi agrarno-tekhnologicheskii universitet imeni akademika D.N. Prianishnikova». – Perm: IPTs Prokrostie, 2018. – S. 225-230.

8. Zubr J. (1988). Jerusalem artichoke as a field crop in Northern Europe. In: G. Grassi, G. Gosse (eds.). *Topinambour (Jerusalem Artichoke): Report EUR 11855*. Luxembourg: CEC. P. 105–117.

9. Issledovanie svoistv topinambura sorta Novost Vira pri khraneni v zavisimosti ot naznacheniia klubnei / A. A. Manokhina, O. A. Starovoitova, V. I. Starovoitov, Zh. Zh. Allaia-rov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – T. 13, No. 3 (66). – S. 54-62. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2020.3.54.

10. Bach, V., Clausen, M., Edelenbos, M. (2015). Production of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and Impact on Inulin and Phenolic Compounds. In: *Processing and Impact on Active Components in Food*. Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-12-404699-3.00012-3.

11. Topolska, K., Filipiak-Florkiewicz, A., Florkiewicz, A., Cieslik, E. (2017). Fructan stability in strawberry sorbets in dependence on their source and the period of storage. *European Food Research and Technology*. 243. DOI: 10.1007/s00217-016-2783-0.

12. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezultatov issledovani). – 5-e izd., dop. i pererab. – Moskva: Agropromizdat, 1985. – 351 s.

13. Metod izucheniia vliianiia uslovii khraneniia na lezhkosposobnost morkovi i kartofelia: metodicheskie ukazaniia; sost. M.V. Volokitina i dr. – Leningrad: VIZR, 1981. – 13 s.



УДК 631.84:633.11“324”:621.384.8(510)

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-252-10-11-21

Лай Н., Су Ц., Гэн Ц., Ли Ц., Чжао Х., Чэнь Ш.
Lai N., Su J., Geng Q., Li Q., Zhao H., Chen S.

РЕКОМЕНДОВАННЫЕ НОРМЫ ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ В СИНЬЦЗЯНЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНОГО СПЕКТРОМЕТРА RAPIDSCAN CS-45

STUDY ON NITROGEN FERTILIZER RECOMMENDATION BASED ON RAPIDSCAN CS-45 FOR DRIP-IRRIGATED WINTER WHEAT IN XINJIANG

Ключевые слова: озимая пшеница, капельное орошение, внесение азотных удобрений, нормализованный относительный индекс растительности (NDVI), нормализованный индекс разности красного края (NDRE), вегетация, почва, спектральный анализ, урожайность, наземная часть растения.

Цель исследования – предоставить теоретическую основу для оценки азотного питания и рационального внесения азотных удобрений при капельном орошении озимой пшеницы в Синьцзян-Уйгурском автономном районе Китайской Народной Республики. Был проведен двухлетний полевой эксперимент с использованием местного сорта пшени-

цы Синьдун 22. По результатам эксперимента было установлено пять уровней внесения азота (0, 120, 240, 360, 480 кг·га⁻²). С помощью активного спектрометра RapidScan CS-45 были получены значения NDVI и NDRE вегетативной массы пшеницы на разных стадиях роста, и проанализирована их связь с эффектом внесения азотных удобрений. На основе этого была разработана модель внесения азота для озимой пшеницы при капельном орошении в Синьцзян-Уйгурском автономном районе КНР. Результаты показали, что значения NDVI и NDRE вегетативной массы озимой пшеницы при капельном орошении быстро увеличиваются от фазы восстановления до колошения, замедляются от колошения

до налива зерна, начинают снижаться после вступления в фазу налива зерна. Динамика изменений NDVI и NDRE вегетативной массы озимой пшеницы при капельном орошении имеет постоянство, в целом увеличиваясь с увеличением количества внесенного азота, и демонстрирует значительную линейную зависимость от уровня внесения азота. Показатели NDVI и NDRE могут помочь в рекомендациях по внесению удобрений для пшеницы, что, по сравнению с традиционным внесением удобрений, позволяет снизить нормы внесения азота, повысить эффективность использования удобрений, урожайность и экономическую выгоду.

Keywords: *winter wheat, drip irrigation, nitrogen fertilizer application, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Red Edge Index (NDRE), growing season, soil, spectral analysis, yielding capacity, crop canopy.*

The research goal is to provide a theoretical basis for real-time evaluating nitrogen nutrition and rational nitrogen fertilization of drip-irrigated winter wheat in Xinjiang

province through two-year fixed position experiment by using the local popular variety 'Xindong 22' as materials under five nitrogen application levels (0, 120, 240, 360, 480 kg·ha⁻²); the models of nitrogen fertilizer recommendation of drip-irrigated winter wheat growing stage was constructed based on the analysis of the relationship between the application of nitrogen fertilizer and remote sensing indicators as NDVI and NDRE at different growth stages which was measured by using the portable active remote sensing spectrometer RapidScan CS-45 on canopy. The results show that the values of NDVI and NDRE in drip-irrigated winter wheat canopy increase rapidly during the recovering stage and the booting stage; during the booting stage and the filling stage, the values of NDVI and NDRE increase slowly, and they begin to decrease after entering the filling stage; the dynamic change trend of NDVI and NDRE in drip-irrigated winter wheat canopy is significantly consistent. The values of NDVI and NDRE may be useful in developing fertilizer application guidelines for wheat which compared with conventional fertilizer application may reduce nitrogen application rates, improve fertilizer use efficiency, yields, and economic benefits.

Лай Нин, науч. сотр., Институт почвоведения, удобрений и водосберегающего земледелия; Центр сельскохозяйственного дистанционного зондирования; Синьцзянская академия сельскохозяйственных наук, г. Урумчи, Китайская Народная Республика, e-mail: 441270771@qq.com.

Су Цзянь, науч. сотр., Институт сельскохозяйственного оборудования, Синьцзянская академия сельскохозяйственных наук, г. Урумчи, Китайская Народная Республика, e-mail: sulao7@aliyun.com.

Гэн Цинлун, науч. сотр., Институт почвоведения, удобрений и водосберегающего земледелия; Центр сельскохозяйственного дистанционного зондирования; Синьцзянская академия сельскохозяйственных наук, г. Урумчи, Китайская Народная Республика, e-mail: qlgeng@foxmail.com.

Ли Цинцзюнь, науч. сотр., Институт почвоведения, удобрений и водосберегающего земледелия; Синьцзянская академия сельскохозяйственных наук, г. Урумчи, Китайская Народная Республика, e-mail: gyqc@163.com.

Чжао Хайянь, науч. сотр., Синьцзянская академия стандартизации семян Цзюшэнхэ, г. Чанцзи, Китайская Народная Республика, e-mail: jshnykj@jiuheseed.com.

Чэнь Шухуан, науч. сотр., Институт почвоведения, удобрений и водосберегающего земледелия; Центр сельскохозяйственного дистанционного зондирования; Синьцзянская академия сельскохозяйственных наук, г. Урумчи, Китайская Народная Республика, e-mail: chensh66@163.com.

Lai Ning, Researcher, Institute of Soil, Fertilizer and Water Saving Agriculture; Agricultural Remote Sensing Center; Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, People's Republic of China, e-mail: 441270771@qq.com.

Su Jian, Researcher, Agricultural Equipment Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, People's Republic of China, e-mail: sulao7@aliyun.com.

Geng Qinglong, Researcher, Institute of Soil, Fertilizer and Water Saving Agriculture; Agricultural Remote Sensing Center; Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, People's Republic of China, e-mail: qlgeng@foxmail.com.

Li Qingjun, Researcher, Institute of Soil, Fertilizer and Water Saving Agriculture; Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, People's Republic of China, e-mail: gyqc@163.com.

Zhao Haiyan, Researcher, Xinjiang Jiushenghe Academy of Seed Standard Co. LTD, Changji, People's Republic of China, e-mail: jshnykj@jiuheseed.com.

Chen Shuhuang, Researcher, Institute of Soil, Fertilizer and Water Saving Agriculture; Agricultural Remote Sensing Center; Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, People's Republic of China, e-mail: chensh66@163.com.

Внесение азота способствует увеличению урожайности пшеницы, однако, как избыточное, так и недостаточное внесение азота негативно сказывается на высокой урожайности [1]. В последние годы, с развитием и широким внедрением технологий капельного орошения, площадь выращивания озимой пшеницы при капельном орошении в Синьцзяне (Китай) постоянно увеличивается. Согласно исследованиям, в выращивании озимой пшеницы при капельном орошении в Синьцзяне существуют проблемы, такие как необоснованное внесение азота, чрезмерное количество азотных удобрений и нерациональные сроки внесения удобрений [2]. Капельное орошение пшеницы предполагает многократное внесение удобрений в сочетании с водой, что отличается от традиционного орошения с однократным внесением удобрений. Учитывая особенности роста озимой пшеницы при капельном орошении, необходимо проводить соответствующие исследования по рациональному внесению удобрений, что имеет важное значение для научно обоснованного и рационального использования азотных удобрений, а также для устойчивого развития сельского хозяйства в Синьцзяне.

Традиционные методы мониторинга азотных удобрений в основном основаны на анализе почвы и растений на полях. Эти методы позволяют точно оценить потребность растений в азоте и имеют важное значение для управления и рекомендаций по внесению азотных удобрений. Однако они требуют отбора проб в поле и сложного химического анализа в лаборатории, что делает процесс трудоемким и менее оперативным. Технологии дистанционного зондирования обладают преимуществами оперативности и неразрушающего контроля, что делает их важным инструментом для получения информации о питательных веществах растений [3]. Использование технологий дистанционного зондирования для рекомендаций по внесению азота позволяет обеспечить высокую урожайность при снижении использования азотных удобрений и

повышении эффективности их использования [4].

Нормализованный индекс растительности (NDVI) является одним из основных индексов для изучения информации о росте растений и имеет хорошую корреляцию с содержанием хлорофилла в листьях, азотным питанием и урожайностью растений. Он может использоваться для прогнозирования потенциальной урожайности и оценки текущего внесения азота [5, 6]. Нормализованный индекс красного края (NDRE) имеет значительную корреляцию с агрономическими параметрами, такими как содержание питательных веществ, и обладает большим потенциалом для мониторинга роста растений, диагностики питания, оценки биомассы и урожайности [7-10]. Исследования с рисом [10-12], кукурузой [13, 14] и другими культурами показали, что NDVI и NDRE имеют хорошую корреляцию с азотным питанием и урожайностью, но NDRE более стабилен и может повысить точность прогнозирования.

В данном исследовании в качестве экспериментального сорта использовался местный сорт Синьдун 22. Были проведены эксперименты с пятью уровнями внесения азота. С помощью активного спектрометра RapidScan CS-45 были получены значения NDVI и NDRE изображений вегетативной массы озимой пшеницы при капельном орошении на разных стадиях роста. Были проанализированы временные характеристики NDVI и NDRE на разных стадиях роста, а также их связь с количеством внесенного азота и урожайностью.

Общая информация об эксперименте

Эксперимент проводился с сентября 2016 г. по июль 2018 г. в уезде Цитай, Синьцзян, с географическими координатами 89°44'48" в.д., 43°59'6" с.ш. на высоте 843 м над уровнем моря. Климат типичный континентальный засушливый, средняя годовая температура составляет около 5,5°C, сумма активных температур – 3300°C при выше 10°C, среднее годовое количество осадков – 176 мм, среднее годовое испарение –

2141 мм, средний безморозный период – 156 дней, средняя продолжительность солнечного сияния – 2840-3230 часов в год. Тип почвы – суглинистая серая пустынная почва, pH почвы в слое 0-20 см составляет 8,12, содержание солей в пахотном слое – 1,46 г·кг⁻¹, содержание органического вещества – 16,61 г·кг⁻¹, содержание общего азота – 0,94 г·кг⁻¹, содержание доступного фосфора – 19,31 мг·кг⁻¹, содержание доступного калия – 272 мг·кг⁻¹.

В течение двух лет проводился стационарный эксперимент с пятью уровнями внесения азота: без внесения азота (0 кг·га⁻², N0), низкое внесение азота (120 кг·га⁻², N1), оптимальное внесение азота (240 кг·га⁻², N2), традиционное внесение азота фермерами (360 кг·га⁻², N3) и высокое внесение азота (480 кг·га⁻², N4). Каждый уровень имел три повторности, участки были расположены случайным образом. Азотные удобрения вносились в виде мочевины, 30% от общего количества – перед посевом, а оставшиеся 70% – с поливной водой. Распределение азота по фазам роста составляло: 20% в фазу всходов, 10% в фазу кущения, 15% в фазу колошения, 15% в фазу цветения и 10% в фазу налива зерна. Перед посевом вносилось 150 кг·га⁻² P₂O₅ и 75 кг·га⁻² K₂O. Площадь каждого опытного участка составляла 48 м² (4,8×10 м). Испытуемым сортом был местный сорт Синьдун 22, норма высева – 300 кг·га⁻². Посев проводился 22 сентября 2016 г. и 27 сентября 2017 г., а уборка урожая – 10 июля 2017 г. и 13 июля 2018 г. Общий объем полива за весь период роста составил 4050 м³·га⁻² (450 м³·га⁻² после посева для прорастания, 900 м³·га⁻² для зимнего полива и по 450 м³·га⁻² на фазы всходы, кущения, колошения, цветения, налива зерна и молочной спелости). Капельная лента располагалась по схеме «одна лента на четыре ряда» (4 ряда пшеницы на одну капельную ленту, расстояние между рядами – 15 см). Остальные методы управления соответствовали обычной практике, значительных повреждений от вредителей, болезней и сорняков не наблюдалось.

Методы и параметры измерений

Использовался портативный активный спектрометр RapidSCAN CS-45 производства компании Holland Scientific (США) для измерения значений NDRE и NDVI вегетативной массы озимой пшеницы при капельном орошении на фазах всходов, кущения, колошения, цветения, налива зерна и молочной спелости (когда 20% растений проявляли признаки соответствующей стадии роста). Прибор обеспечивает стабильные и надежные результаты измерений [11, 12]. Измерения проводились с 13:00 до 15:00 ч при ясной погоде, без ветра или при слабом ветре. Датчик спектрометра располагался параллельно кроне пшеницы на высоте 0,40 м над кроной. На каждом участке проводилось 8 измерений, каждое измерение длилось 4 с. Точки измерения располагались на расстоянии около 1 м друг от друга, по возможности вдали от краев участка, чтобы избежать краевого эффекта. Во время измерений записывалась информация о номере участка. После завершения измерений данные оперативно экспортировались, и среднее значение использовалось как наблюдаемое значение NDRE и NDVI для данного участка. На стадии уборки урожая на каждом участке случайным образом отбирались 2 образца площадью 1 м² для расчета урожайности на единицу площади (пересчитанной на стандартную влажность 12,5%).

Для обработки данных использовались программы Microsoft Excel 2010 и IBM SPSS Statistics 20.0, включая систематизацию данных, статистический анализ и построение графиков.

Результаты и анализ

На разных фазах роста значения NDVI и NDRE вегетативной массы озимой пшеницы при капельном орошении в целом увеличивались с увеличением количества внесенного азота, причем различия между обработками были значительными (табл.). В период от всходов до колошения значения NDVI и NDRE вегетативная масса быстро увеличивались по мере роста и развития озимой пшеницы. В период от колоше-

ния до налива зерна рост значений NDVI и NDRE замедлялся, а после вступления в фазу налива зерна значения начинали снижаться. Это согласуется с экспериментальными результатами, которые показывают, что в период от всходов до колошения растения пшеницы активно растут, потребление азота резко увеличивается и остается на высоком уровне от колошения до цветения. В начале налива зерна азот начинает

перемещаться в зерно и накапливаться, что приводит к постепенному снижению спектральной отражательной способности в красной и красной краевой областях и увеличению отражательной способности в ближней инфракрасной области [16]. Таким образом, значения NDVI и NDRE могут быть выбраны в качестве индикаторов азотного питания озимой пшеницы при капельном орошении.

Таблица

**Значения NDVI и NDRE вегетативной массы озимой пшеницы
при капельном орошении на разных фазах роста при различных уровнях внесения азота**

Спектральный индекс spectral index	Экспериментальная обработка experimental treatment	Всходы Recovering	Кущение Jointing	Колошение Booting	Цветение Flowering	Налив зерна Filling	Молочная спелость Milking
NDVI	N0	0,1289a	0,6114a	0,7575a	0,7695a	0,7824a	0,6166a
	N1	0,1366b	0,6788b	0,7896b	0,8002b	0,8077b	0,6674b
	N2	0,14593c	0,7093c	0,8237c	0,8296c	0,8310c	0,7456c
	N3	0,1516d	0,7241c	0,8405d	0,8530d	0,8459d	0,7830d
	N4	0,1587e	0,7656d	0,8631e	0,8730e	0,8607e	0,8157d
NDRE	N0	0,0384a	0,1709a	0,2559a	0,2920a	0,3019a	0,2175a
	N1	0,0458b	0,2072b	0,2820b	0,3205b	0,3320b	0,2657b
	N2	0,0526c	0,2329c	0,3061c	0,3452c	0,3572c	0,3158c
	N3	0,0560c	0,2505d	0,3308d	0,3581d	0,3744d	0,3406d
	N4	0,0635d	0,2752e	0,3431e	0,3682e	0,3955e	0,3777e

Примечание. Разные строчные буквы в одном столбце означают значимое различие на уровне 0,05.

Линейная зависимость между значениями NDVI и NDRE вегетативной массы озимой пшеницы при капельном орошении и количеством внесенного азота на разных фазах роста. Регрессионный анализ показал, что значения NDVI и NDRE вегетативной массы озимой пшеницы при капельном орошении имеют значительную линейную зависимость от количества внесенного азота (рис. 1, 2). На фазе всходов и цветения линейная зависимость между NDVI и количеством внесенного азота была наилучшей, с коэффициентами детерминации r^2 0,9254 и 0,9445 соответственно. На фазе кущения, колошения, налива зерна и молочной спелости линейная зависимость между NDRE и количеством

внесенного азота была наилучшей, с коэффициентами детерминации r^2 0,9297; 0,9596; 0,9410 и 0,953.

Взаимосвязь между нормой внесения азота и урожайностью озимой пшеницы при капельном орошении. С помощью регрессионного анализа была установлена квадратичная зависимость между нормой внесения азота и урожайностью озимой пшеницы при капельном орошении (рис. 3), выраженная уравнением $y = -0,0483x^2 + 24,619x + 5676,1$, с коэффициентом детерминации $r^2 = 0,9523$. Согласно этому уравнению, максимальная урожайность пшеницы 8813,24 кг·га⁻¹ достигается при норме внесения азота 254,86 кг·га⁻¹.

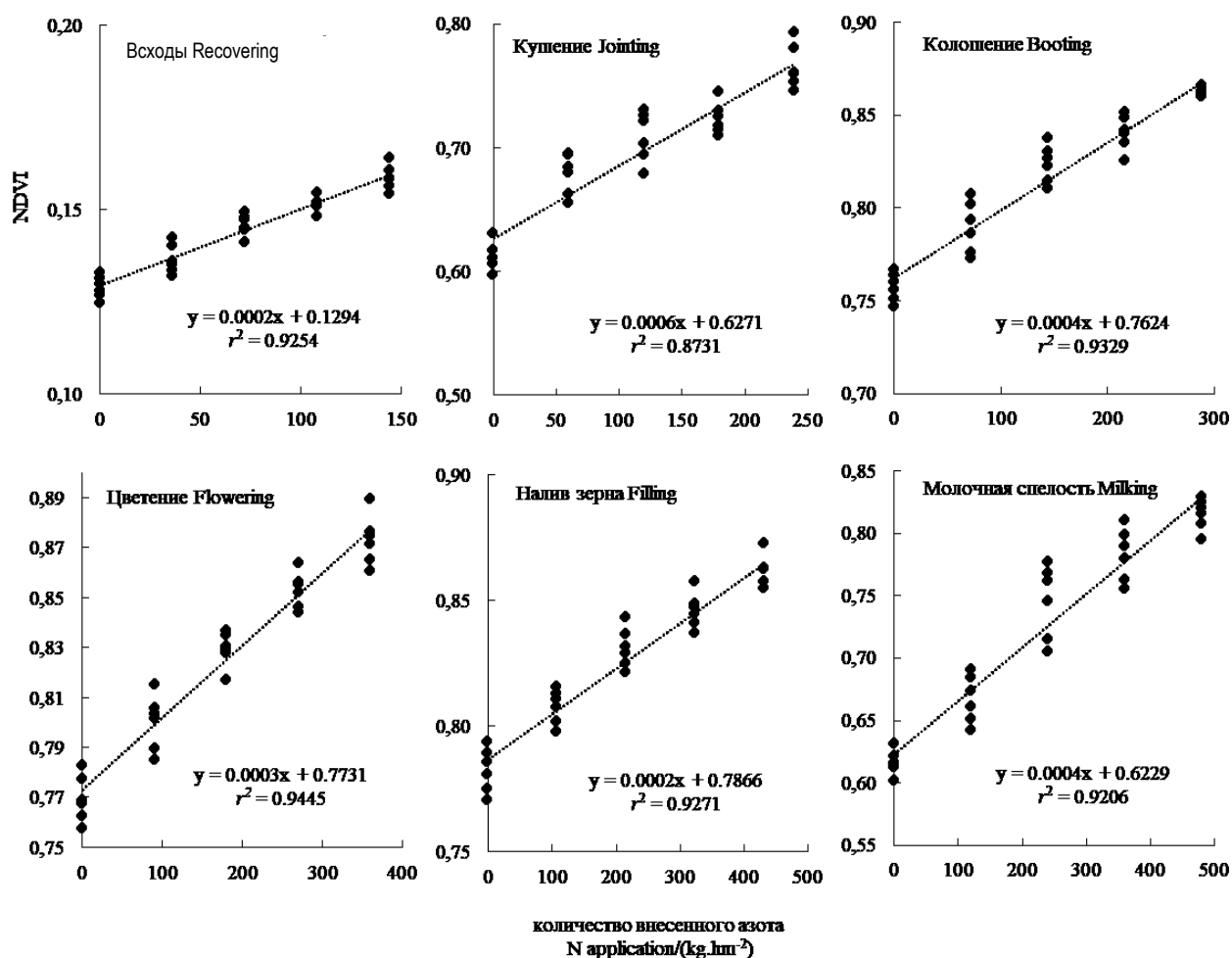


Рис. 1. Зависимость между значениями NDVI вегетативной массы озимой пшеницы при капельном орошении и количеством внесенного азота на разных фазах роста

Корреляция между значениями NDVI и NDRE вегетативной массы и урожайностью озимой пшеницы при капельном орошении в период вегетации. Значения NDVI и NDRE вегетативной массы озимой пшеницы при капельном орошении в периоды всходов, кушения, колошения, цветения, налива зерна и молочной спелости имеют высокосignификантную корреляцию с урожайностью (рис. 4, 5). В определенных пределах с увеличением значений NDVI и NDRE вегетативной массы урожайность также увеличивается, однако при превышении определенных значений NDVI и NDRE урожайность начинает снижаться. Регрессионный анализ показал, что оба спектральных индекса имеют квадратичную зависимость с урожайностью. На основе функций

зависимости между значениями NDVI и NDRE вегетативной массы и урожайностью в различные периоды вегетации были определены критические значения NDVI вегетативной массы для достижения оптимальной экономической урожайности в периоды всходов, кушения, колошения, цветения, налива зерна и молочной спелости: 0,1508; 0,7213; 0,8206; 0,8288; 0,8316 и 0,7410 соответственно. Критические значения NDRE составили 0,0593; 0,2425; 0,3076; 0,3465; 0,3604 и 0,3225 соответственно. Если измеренные значения ниже критических, необходимо внесение азотных удобрений, в противном случае это указывает на избыток азота, и внесение удобрений не требуется.

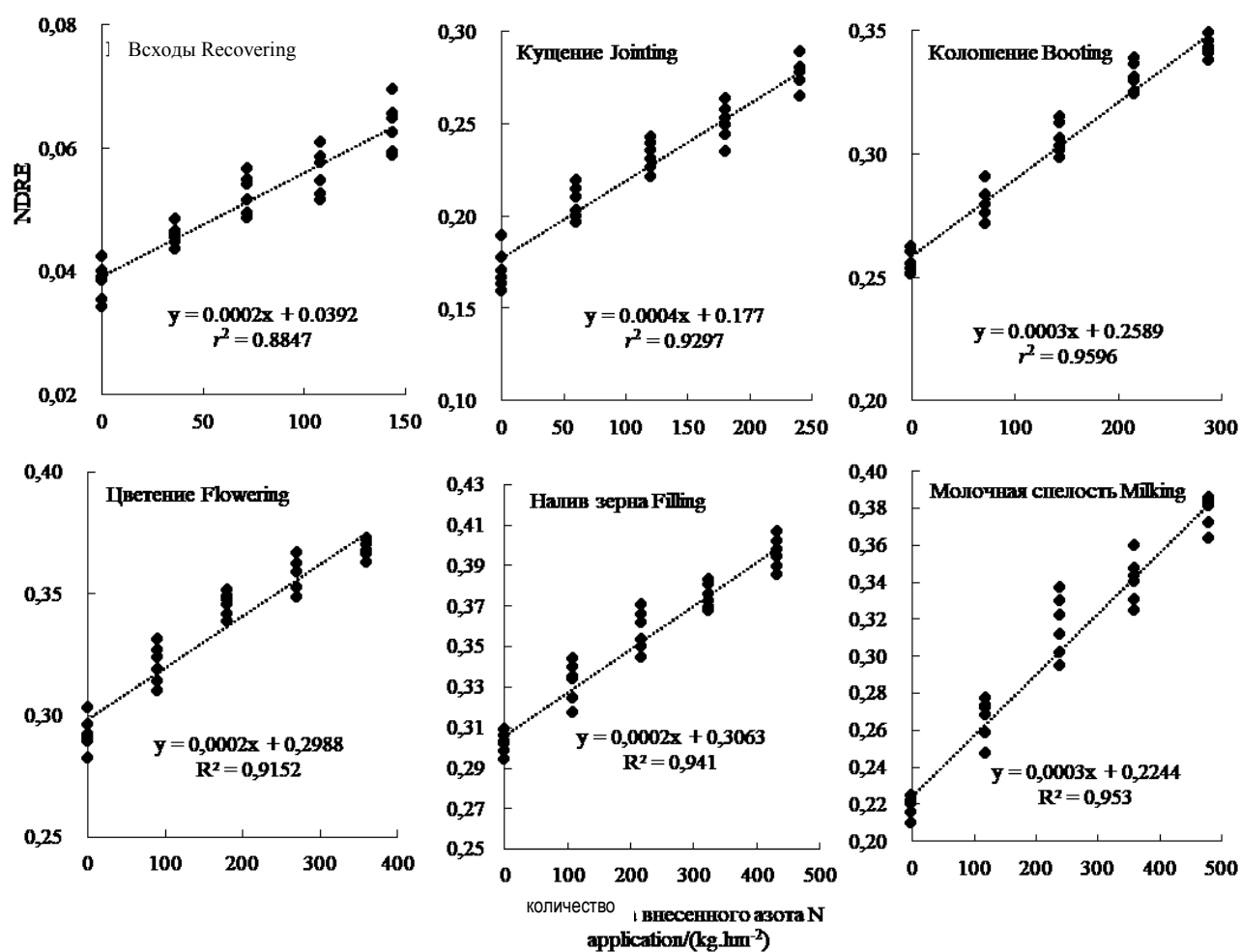


Рис. 2. Зависимость между значениями NDRE вегетативной массы озимой пшеницы при капельном орошении и количеством внесенного азота на разных фазах роста

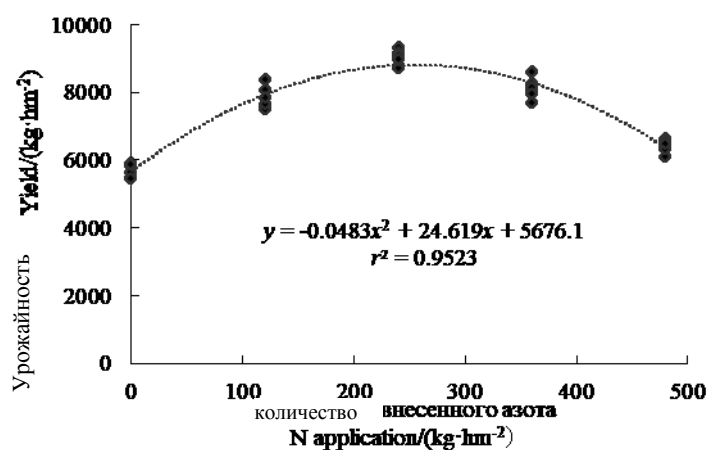


Рис. 3. Зависимость урожайности озимой пшеницы от нормы внесения азота при капельном орошении

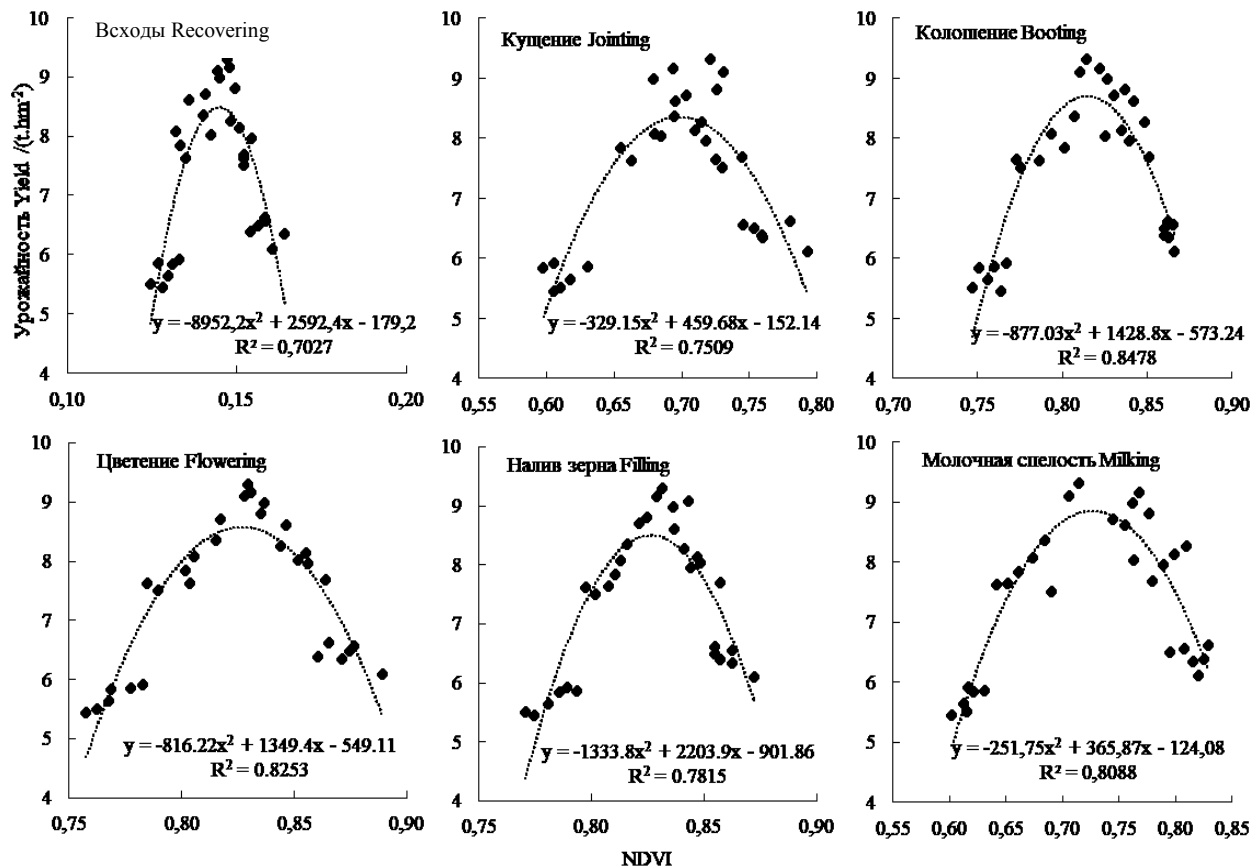


Рис. 4. Зависимость между значением NDVI вегетативной массы и урожайностью озимой пшеницы при капельном орошении на разных фазах роста

Заключение

NDVI является одним из важных показателей для мониторинга сельскохозяйственных условий с использованием технологий дистанционного зондирования. Многие исследователи проводили исследования по мониторингу питания растений и рекомендациям по внесению удобрений на основе индекса NDVI, достигнув хороших результатов [5, 6, 16-19]. Однако NDVI подвержен влиянию фоновых помех от почвы и листового покрова, и когда плотность растительности, индекс листовой поверхности (LAI) и уровень азотного питания достигают определенного уровня, NDVI перестает увеличиваться с ростом растений, что свидетельствует о явлении насыщения [20, 21]. Некоторые ученые считают, что NDRE менее чувствителен к фоновым условиям почвы, атмосферным условиям и углу наблюдения датчиков, и использование NDRE для обратного расчета LAI, биомассы, содержания хлорофилла и азота в растениях может обеспечить более высокую точность по сравнению с NDVI [22-24].

В данном исследовании с использованием активного спектрометра RapidScan CS-45 был проведен анализ рекомендаций по внесению азотных удобрений для озимой пшеницы при капельном орошении в Синьцзяне на основе NDVI и NDRE. Результаты показали, что как NDVI, так и NDRE вегетативной массы озимой пшеницы имеют значительную линейную зависимость с нормой внесения азота и могут хорошо отражать ее азотный статус. При этом корреляция NDVI с нормой внесения азота была выше, чем у NDRE, в периоды всходов и цветения, тогда как NDRE показал лучшую корреляцию в периоды кущения, колошения и налива зерна. Эти результаты согласуются с выводами Лю Ся и др. [25] и Трой и др. [26]. Diacono и др. [27], которые считают, что использование индексов NDVI и NDRE может помочь в рекомендациях по внесению удобрений для пшеницы, что, по сравнению с традиционным внесением удобрений, позволяет снизить нормы внесения азота, повысить эффективность использования удобрений, урожайность и экономическую выгоду.

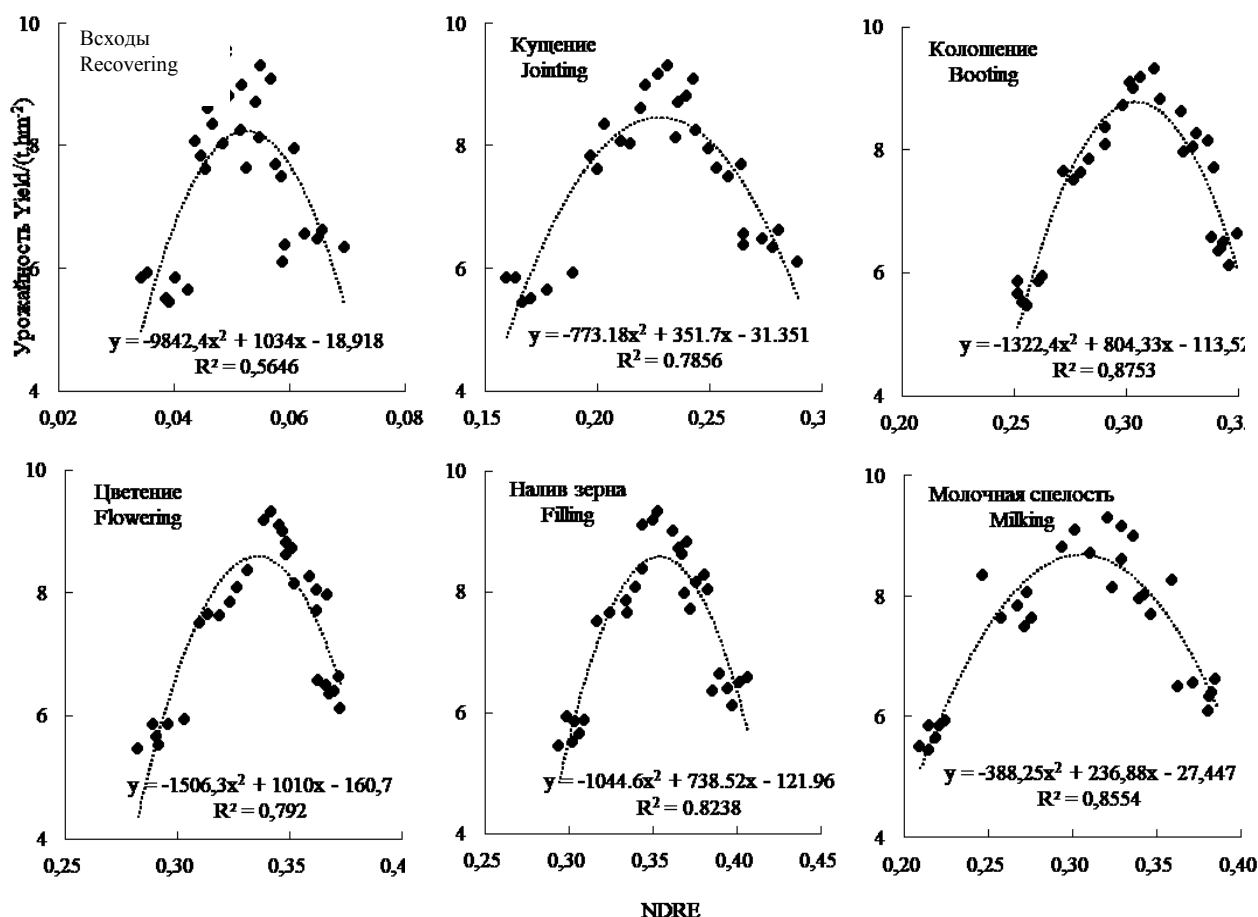


Рис. 5. Зависимость между значением NDRE вегетативной массы и урожайностью озимой пшеницы при капельном орошении на разных фазах роста

Библиографический список References

1. Zhang F S, Cui Z L, Wang J Q, *et al.* Current status of soil and plant nutrient management in China and improvement strategies [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2007 (6): 687.
2. Li Q J, Lai N, Chens H, *et al.* Evaluation and present situation of fertilization for winter wheat and spring wheat under different irrigation methods in Qitai county [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2016, 53 (5): 893.
3. Mulia D J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps [J]. *Bio-Systems Engineering*, 2013, 114: 358.
4. Zhang Y T, Wang H Y, Liu H B, *et al.* Recommended methods for optimal nitrogen application rate [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51 (15): 117.
5. Raun W R, Solie J B, Stone M L, *et al.* Improving nitrogen use efficiency in cereal grain pro-

duction with optical sensing and variable rate application [J]. *Agronomy Journal*, 2002, 94: 815.

6. Raun W R, Solie J B, Stone M L, *et al.* Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2005, 36 (19-20): 2759.

7. Zhao C J, Huang W J, Wang J H, *et al.* Studies on the red edge parameters of spectrum in winter wheat under different varieties, fertilizer and water treatments [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35 (8): 980.

8. Pimsteyin A, Eitel J U H, Long D S, *et al.* A spectral index to monitor the head-emergence of wheat in semi-arid conditions [J]. *Field Crops Research*, 2008, 111 (3): 218.

9. Eitel J U H, Keefe R F, Long D S, *et al.* Active ground optical remote sensing for improved monitoring of seedling stress in nurseries [J]. *Sensors*, 2010, 10 (4): 2843.

10. Cao Q, Wang H Y, Khosla R, *et al.* Non-destructive estimation of rice plant nitrogen status with Crop Circle multispectral active canopy sensor [J]. *Field Crops Research*, 2013, 154: 133.
11. Lu J J, Miao Y X, Shi W, *et al.* Using portable RapidSCAN active canopy sensor for rice nitrogen status diagnosis [J]. *Advances in Animal Bio-sciences*, 2017, 8 (2): 349.
12. Lu J J, Miao Y X, Shi W, *et al.* Evaluating different approaches to non-destructive nitrogen status diagnosis of rice using portable RapidSCAN active canopy sensor [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2017, 7 (1): 14073.
13. Li F, Miao Y X, Feng G H, *et al.* Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices [J]. *Field Crops Research*, 2014, 157: 111
14. Sharma L K, Bu H G, Denton A, *et al.* Active-optical sensors using red NDVI compared to red edge NDVI for prediction of corn grain yield in North Dakota, U.S.A [J]. *Sensors*, 2015, 15 (11): 27832.
15. Yang B H, Chen J L, Zhu Y, *et al.* Estimation model of wheat canopy nitrogen content based on sensitive bands [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31 (22): 176.
16. Cao Q, Cui Z L, Miao Y X, *et al.* Quantifying spatial variability of indigenous nitrogen supply for precision nitrogen management in small scale farming [J]. *Precision Agriculture*, 2012, 13 (1): 45.
17. Li W X, Lv X, Zhang Z, *et al.* Diagnosis of nitrogen nutrition and recommended model of top-dressing for cotton [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45 (12): 209.
18. Yao Y K, Miao Y X, Zhang F S, *et al.* Active canopy sensor-based precision N management strategy for rice [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2012, 32 (4): 925.
19. Zhu Y, Shi L C, Hou Z A, *et al.* Nitrogenous fertilizer recommendation model based on NDVI for drip-irrigated spring wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35 (5): 681.
20. Thenkabail P S, Smith R B, De P E. Hyper-spectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 71 (2): 158.
21. Vina A, Gitelson A A, Nguy-Robertson A L, *et al.* Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115 (12): 3468.
22. Clevers J G P W, Kooistra L. Using hyper-spectral remote sensing data for retrieving canopy chlorophyll and nitrogen content [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2012, 5 (2), 574.
23. Fu Y Y, Yang G J, Wang J H, *et al.* A comparative analysis of spectral vegetation indices to estimate crop leaf area index [J]. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 2013, 19 (3): 315.
24. Shu M Y, Gu X H, Sun L, *et al.* High spectral inversion of winter wheat lai based on new vegetation index [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51 (18): 3486.
25. Liu X. Using canopy active sensor to monitor growth status and develop optional dynamic vegetation indicator model in winter wheat [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.
26. Troy S M, Jan U H E, Lee A V. Mapping wheat nitrogen uptake from RapidEye vegetation indices [J]. *Precision Agriculture*, 2017, 18 (4): 429.
27. Diacono M, Rubino P, Montemurro F. Precision nitrogen management of wheat: A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2013, 33 (1): 219.
28. Lei J J, Zhang Y Q, Salihan S, *et al.* Effect of nitrogen application rate on dry matter accumulation, distribution and translocation of winter wheat under drip irrigation [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2017, 37 (8): 1078.
29. Lakesh K S, Sukhwinder K B. A review of methods to improve nitrogen use efficiency in agriculture [J]. *Sustainability*, 2017, 10 (1).
30. Liu H P, Tian C Y, Ma Y J. Study on the recognition of N-nutrient in cotton plants and the development of the recommended index system for applying nitrogenous fertilizer [J]. *Arid Zone Research*, 2005 (4): 125.
31. Shi L C, Zhai Y, Ye J, *et al.* Recommendation model of nitrogen fertilizer based on SPAD of

leaves for drip-irrigated spring wheat [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, 35 (1): 103.

32. Quality and Technical Supervision Bureau of Qitai County, Xinjiang Uygur Autonomous Re-

gion. The technical regulation of high yield management of wheat under drip irrigation (DBN652325/T 043-2017) [S]. 2011.



УДК 579.64:631.445.4:633.34(571.150)
DOI: 10.53083/1996-4277-2025-252-10-21-29

А.А. Ермошкин, В.С. Курсакова, Л.А. Ступина
A.A. Ermoshkin, V.S. Kursakova, L.A. Stupina

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОБОНАСЕЛЕНИЯ В ЧЕРНОЗЁМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СОИ С ИНОКУЛЯЦИЕЙ РАЗЛИЧНЫМИ СИМБИОНТАМИ

CHANGES IN THE MICROBIAL POPULATION IN LEACHED CHERNOZEM DURING SOYBEAN CULTIVATION INOCULATED BY VARIOUS SYMBIONTS

Ключевые слова: соя, сапрофитная микрофлора, амилолитическая микрофлора, грибы, микробиологическая активность чернозема, препараты симбиотических микроорганизмов, препараты ассоциативных бактерий.

Одним из перспективных направлений в повышении урожайности сои является использование биопрепаратов симбиотрофных микроорганизмов для инокуляции их семян. Это позволяет повысить адаптивный потенциал растений, улучшить состояние почвы и снизить негативные последствия традиционного химического земледелия. Основной целью исследований являлось изучение численности и динамики микробного населения в черноземе выщелоченном при инокуляции семян сои сорта Золотистая симбиотрофными бактериями *Bradyrhizobium japonicum* (препарат «Ризоторфин»), ассоциативными бактериями *Artrobacter mysoarens* (препарат «Мизорин») и грибами рода *Glomus* штамм 8 (препарат «Микориза») как отдельно, так и в сочетании. Исследования проводили на полях КФХ «Иванова А.Н.» в лесостепной зоне Био-Чумышской возвышенности Алтайского края в 2021-2023 гг. Оценку микробиологического состава осуществляли общепринятыми посевами почвенных суспензий на твердые питательные среды. Количество сапрофитных микроорганизмов в фазу цветения в благоприятный по увлажнению год достигало 16,06-33,49 млн КОЕ, а амилолитических – 19,05-39,0 млн КОЕ, к осени их количество снижалось. Установлено повышение в

1,4-2,1 раза численности бактерий, растущих на мясопептонном агаре и потребляющих органические формы азота, а амилолитических бактерий и актиномицетов, использующих минеральный азот, – в 1,6-2,2 раза. Наименьшее воздействие оказала инокуляция микоризой, а максимальное – от Ризоторфина – с Мизорином и Микоризой. Численность грибов в летний период от инокуляции сокращается в 1,1-1,4 раза, а к уборке это действие сглаживается. Наибольшее влияние на развитие микроорганизмов оказывают погодные условия – на 17,71-78,54%, а биоудобрения – на 12,16-21,21%. Численность сапротрофных и амилолитических микроорганизмов как в фазу цветения, так и в период уборки оказывает значительное влияние на урожайность сои ($r = 0,60-0,86$), а грибы ингибируют её ($r = 0,01-0,27$).

Keywords: soybeans, saprophytic microflora, amylolytic microflora, fungi, chernozem microbiological activity, preparations of symbiotic microorganisms, preparations of associative bacteria.

One promising approach to increasing soybean yields is the use of symbiotrophic microbial biopreparations for seed inoculation. This enhances plant adaptability, improves soil health, and reduces the negative impacts of conventional chemical farming. The primary research goal was to investigate the abundance and dynamics of microbial populations in leached chernozem soils inoculated with the symbiotrophic bacteria *Bradyrhizobium japonicum* (Rhizotorfin), the associative bacte-