

УДК 633:631.465:631.5(470.61)

ВЛИЯНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ¹

© 2020 г. Т. В. Минникова^{1,*}, Г. В. Мокриков¹, К. Ш. Казеев¹, С. И. Колесников¹

¹ Южный федеральный университет
344006 Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42, Россия

*E-mail: loko261008@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.09.2019 г.

После доработки 07.02.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

В производственных условиях исследовано воздействие сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы, нута, кориандра, льна) в агроценозах Ростовской обл. на активность почвенных ферментов (каталазы, дегидрогеназы, уреазы, фосфатазы и β -фруктофуранозидазы) при разных технологиях обработки почвы. Сравнивали влияние на ферментативную активность почв под озимой пшеницей при прямом посеве (No-Till) после разных культур-предшественников. В течение сезона нут ингибировал активность оксидоредуктаз на 42 и 53% больше, чем подо льном и кориандром. Активность гидролаз под этой культурой была больше на 39 и 65% соответственно. Под прямым посевом нута показано наибольшее по сравнению со льном и кориандром ингибирование активности оксидоредуктаз и стимуляция активности гидролаз. В почвах с прямым посевом озимой пшеницы, выращиваемой после кориандра и льна, показано увеличение активности инвертазы на 15–25% и значительное ингибирование активности уреазы после кориандра и рыжика на 58–67%. При сравнении технологий обработки при выращивании озимой пшеницы, благодаря наличию мульчирующего слоя и сохранению влаги при прямом посеве активность β -фруктофуранозидазы была простимулирована, уреазы – ингибирована.

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, технология No-Till, плодородие, биологическая активность, способы обработки почвы, биодиагностика,

DOI: 10.31857/S0002188120100051

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивная обработка почв в различных климатических зонах вызывает переуплотнение, осолонцевание, дефляцию и дегумификацию почв и, как следствие, снижение уровня плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур [1–4]. Длительное использование традиционной технологии с глубокой отвальной вспашкой на глубину >20–30 см оказывает негативное влияние на структуру, плотность почв, баланс элементов питания, содержание органического углерода и ферментативную активность почв [5–14]. Применение такой ресурсосберегающей и почвозащитной технологии обработки почвы, как прямой посев или нулевая технология (No-Till), способствует снижению затрат топливных ресурсов, сохранению влаги и повышению содержания органического углерода за счет мульчирующего

слоя, что ведет к повышению плодородия и оптимизации экологического состояния почв [3, 15–18].

В процессе роста и развития каждая культура выделяет специфичные конкретной культуре экссудаты, вносящие существенный вклад в биологическую активность почвы. Состав растительных экссудатов зависит от стадии развития растения (ритмичности корневых выделений), условий его роста и типа почв. Корневые экссудаты разных видов сельскохозяйственных культур проявляют различные физиологические свойства и представлены широким диапазоном органических соединений: аминокислот, органических кислот, сахаров, фенольных смол и высокомолекулярных соединений, фитонцидов, гликозидов, флавоноидов, алкалоидов и других соединений [19]. Разнообразие корневых выделений растений является звеном связи между растением и микроорганизмами ризосферы, обеспечивая микроорганизмы питательными веществами [20]. Корневые

¹ Исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы РФ (НШ–2511.2020.11).

Таблица 1. Исследованные сельскохозяйственные культуры при прямом посеве и их предшественники

Поле, №	Сельскохозяйственная культура	Культура-предшественник
1	Кориандр (<i>Coriandrum sativum</i> L.)	Ячмень озимый (<i>Hordeum aestivum</i> L.)
3	Лен (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.)
12	Нут (<i>Cicer arietinum</i> L.)	Пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.)

экссудаты влияют на ризобиоту, выделяя хелатирующие, солубирующие и окислительные вещества. Кроме того, корневые системы растений самостоятельно выделяют ферменты. Вклад растений в ферментный пул почвы осуществляется как прямым путем в результате выделения экзоферментов корневой системой в процессе метаболизма и пожнивными остатками в процессе разложения, так и косвенным, проявляясь через регуляцию продуцирования ферментов микроорганизмами [21]. Культуры могут оказывать как ингибирующее воздействие на ферментативную активность почв (яровая пшеница), так и стимулирующее (просо, кукуруза, бобовые) [22, 23]. Ферментативная активность — это чувствительный индикатор состояния и степени изменения почв в условиях различных систем ее обработки и выращивания сельскохозяйственных культур [8, 9, 21, 24]. При разных технологиях обработки почв интенсивность выделения растениями разных видов корневых экссудатов и соответственно выработка почвенной микробиотой ферментов изменяется неоднозначно.

В связи с этим цель работы — исследование влияния различных сельскохозяйственных культур на ферментативную активность черноземов Ростовской обл., а также сравнение влияния технологий обработки почвы на ферментативную активность почв агроценозов озимой пшеницы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на 16-ти полях, возделываемых с использованием технологии прямого посева (No-Till). Опытные участки расположены в Октябрьском р-не Ростовской обл. В качестве контрольных участков исследовали поля соседних хозяйств, обрабатываемые по традиционной технологии (отвальная вспашка). Расстояние между опытными и контрольными полями — 50–100 м. На исследованных объектах технологию прямого посева применяют с 2009 г. на общей пло-

щади 5.5 тыс. га. Площади исследованных полей и название хозяйства и/или собственника при прямом посеве и традиционной обработке почвы представлены в табл. 1.

Почвы исследованной территории представлены черноземами обыкновенными разной мощности, степени выщелоченности от карбонатов и гумусированности [25]. Исследованные почвы, согласно Классификации и диагностики почв России, относят к агрочерноземам миграционно-сегрегационным, по World Research Base (WRB) к — Voronic Chernozems [26, 27]. Мощность гумусовых горизонтов черноземов, по литературным данным, составляет в среднем ≈70–80 см, гранулометрический состав — тяжелосуглинистый, содержание гумуса — 4–5%, $pH_{KCl} = 7.2–7.8$ [25]. Образцы отбирали из верхнего слоя почвы (0–10 см) с максимальным распространением корней растений в 3–6-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторностях. Образцы почв отбирали в течение вегетационного сезона: июнь, июль и сентябрь. Уборку пшеницы, ячменя и льна проводили в июле, нута и кориандра — в августе. Культуры, возделываемые по технологии No-Till: лен (*Linum usitatissimum* L.) сорта Небесный с урожайностью 12 ц/га (поля № 1, 2); кориандр (*Coriandrum sativum* L.) сорта Алексеевский-190 с урожайностью 10 ц/га (поле № 4); ячмень озимый (*Hordeum vulgare* L.) сорта Агродеум с урожайностью 67 ц/га (поле № 5); озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Зустрич с урожайностью 57 ц/га (поля № 6, 7, 8); нут (*Cicer arietinum* L.) сорта Приво-1 с урожайностью 15 ц/га (поле № 12). Участки с традиционной обработкой почвы были засеяны озимой пшеницей (*Triticum aestivum* L.) сорта Гром. Практически все исследованные поля, опытные и контрольные, за исключением контрольного поля № 12 были свободны от сорно-полевой (сегетальной) растительности. На контрольном поле № 12 сафлор был засорен злаковой растительностью (просяница, пырей и др.).

Поля с кориандром, нутом, подсолнечником и льном были удобрены до посева N40 в первой декаде апреля, при посеве — аммофосом (12% N, 40–60% P₂O₅) — 80 кг/га, поля с озимой пшеницей и ячменем (№ 5, 6, 7, 8) были удобрены при посеве аммофосом (12% N, 40–60% P₂O₅) — 100 кг/га. Весной в фазе кушения проводили подкормку N50 и после выхода в трубку — 2-ю подкормку N40. Кроме того, для стимуляции роста, развития и ускорения прохождения фенологических фаз кориандра, льна, нута, пшеницы и ячменя использовали удобрение “Росток”: 0.5 л/га — для кориандра и льна и 1 л/га — для зерновых. В фазе цветения льна (1-я декада мая–3-я декада июня)

Таблица 2. Озимая пшеница (над чертой) и культуры-предшественники (под чертой) при разных технологиях возделывания

Поле, №	Прямой посев	Традиционная технология
5	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) кориандр (<i>Coriandrum sativum</i> L.)	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) подсолнечник (<i>Helianthus annuus</i> L.)
6	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) лен (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) кукуруза (<i>Zea mais</i> L.)
7	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) лен (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.)
8	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) рыжик озимый (<i>Camelina silvestris</i> Waller)	пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.) рыжик озимый (<i>Camelina silvestris</i> Waller)

повторно применяли “Росток” в дозировке 1 л/га. Это удобрение применяли в фазе настоящих листьев кориандра, фазе колошения и молочной спелости зерна пшеницы и ячменя (1 л/га), фазе настоящих листьев подсолнечника (0.5 л/га).

Территория Октябрьского р-на Ростовской обл. расположена на юге европейской части России в жарком сухом климате. Сумма положительных температур воздуха ($>10^{\circ}\text{C}$) составляет 3200°C . Лето – жаркое (температура июля 24.6°C), зима – умеренно холодная (температура января -4.2°C). Годовое количество осадков в 2016 г. составило 704 мм, в том числе выпавших за период вегетации (при температуре $>10^{\circ}\text{C}$) – 399 мм. Превышение количества атмосферных осадков в 2016 г. по сравнению с нормой составило 66%. Повышенная влажность в 2016 г. была обусловлена очень влажным маем, когда выпало 43% от го-

довой нормы осадков. Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК = 3.2) в 2016 г. превысил показатель 2015 г. на 48% (ГТК = 2.1).

Особенности технологии прямого посева заключаются в использовании следующих агрегатов: трактор Buhler Versatile 2375 с пневматической сеялкой Great Plains NTA 3510 (10.7 м) и трактором Case Magnum 315 с пневматической сеялкой Great Plains NTA 3510 (10.7 м). Все культуры высевали с междурядьем шириной 19 см.

В первой части эксперимента исследовали влияние разных сельскохозяйственных культур на ферментативную активность почв при прямом посеве (культуры и их предшественники представлены в табл. 2). Во второй части эксперимента оценивали изменение ферментативной активности почв в период максимальной вегетации озимой пшеницы (июнь) при прямом посеве в сравнении с традиционной технологией обработки. Культуры-предшественники озимой пшеницы на полях с прямым посевом и традиционной обработкой представлены в табл. 3.

Средняя урожайность культур в агроценозах с прямым посевом в исследованном хозяйстве в 2016–2018 гг. существенно превышала урожайность на контрольных полях соседних хозяйств, где применяли традиционную технологию, а также среднюю урожайность в Ростовской обл. [28].

Ферментативную активность (ФА) почв оценивали традиционными в почвенной энзимологии методами при естественной реакции почвенной среды [29, 30]. Были определены следующие показатели ферментативной активности: активность каталазы ($\text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}_2$ – оксидоредуктаза, КФ 1.11.1.6.), дегидрогеназ (субстрат : НАД(Ф)-оксидоредуктазы, КФ 1.1.1), фосфатазы (фосфогидролазы моноэфиров ортофосфорной кислоты, КФ 3.1.3.1–2), уреазы (карбамид-амидогидролаза, КФ 3.5.1.5) и β -фруктофуранозидазы (инвертаза, сахараза, КФ 3.2.1.26).

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Statistica 12.0 с

Таблица 3. Влияние различных сельскохозяйственных культур на ферментативную активность при использовании технологии прямого посева в динамике ($M \pm m$)

Поле, №	Культура	Активность фосфатазы, мг $\text{P}_2\text{O}_5/100$ г почвы/ч			Активность β -фруктофуранозидазы, мг глюкозы/г почвы/сут		
		июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
1	лен	1.8 ± 0.01	1.8 ± 0.01	$2.2 \pm 0.12^*$	$7.9 \pm 0.04^{**}$	6.3 ± 0.03	6.6 ± 0.06
3	кориандр	4.6 ± 0.10	$1.8 \pm 0.03^{**}$	4.3 ± 0.26	$6.5 \pm 0.02^*$	7.2 ± 0.01	$5.6 \pm 0.04^*$
12	нут	$9.2 \pm 0.1^{**}$	$3.5 \pm 0.07^*$	$4.8 \pm 0.22^*$	7.8 ± 0.01	$8.9 \pm 0.03^*$	$9.2 \pm 0.05^*$

Достоверность различия: $*p < 0.05$, $**p < 0.001$.

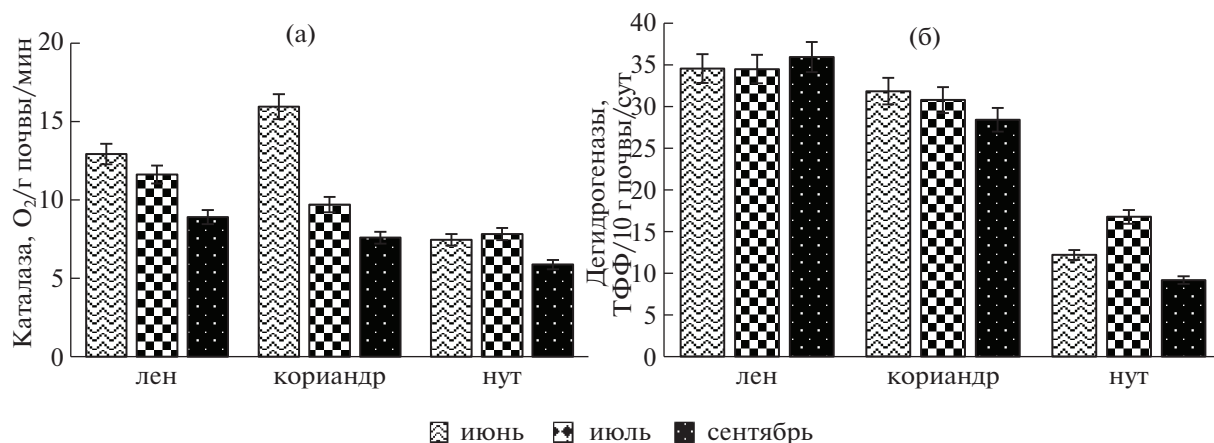


Рис. 1. Влияние сельскохозяйственных культур на активность каталазы (а) и дегидрогеназ (б) в динамике при использовании технологии прямого посева.

оценкой *t*-критерия Стьюдента на 5%-ном уровне значимости при доверительном интервале 95–99% ($p < 0.01$ и 0.05). Данные представлены как среднее величины из 3-х повторностей ($M \pm m$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В первой части работы сравнивали влияние нута, льна и кориандра на ферментативную активность почв, возделываемых по технологии прямого посева в течение вегетационного сезона. Обнаружена существенная вариабельность активности каталазы: от 5.8 мл O₂/г почвы/мин на поле с нутом в сентябре до 15.8 мл O₂/г почвы/мин на поле с кориандром в июне (рис. 1а). Все сравниваемые культуры благоприятно влияли на активность каталазы в течение вегетационного сезона, обеспечивая высокое обогащение почв. Максимальная активность каталазы была зафиксирована в июне на участках со льном и кориандром — 12.8 и 15.8 мл O₂/г почвы/мин соответственно.

Подобный эффект был обусловлен фазой активной вегетации растений и соответственно максимальным выделением органических веществ и физиологически активных соединений в почву. Максимальная величина активности каталазы под кориандром в июне со снижением в июле и сентябре на 39 и 25%, вероятно, была обусловлена воздействием L-триптофана кориандра на ризосферную микрофлору и ферментативную активность почвы в том числе [31]. В сентябре обнаружено снижение активности под всеми культурами на 22–25%. Для нута наблюдали меньшую активность каталазы, чем для кориандра и льна на 42 и 53% соответственно. Подобный эффект обусловлен более поздним посевом нута и, как

следствие, смещением сроков вегетации. При этом нут относят к высоко требовательным к температуре и влажности почвы культурам. В связи с этими гидротермическими условиями максимальная активность каталазы (7.8 мл O₂/г почвы/мин) под нутотом отмечена именно в сухом жарком июле.

Максимальная активность дегидрогеназ (рис. 1б) обнаружена в течение всего вегетационного сезона в почве на участке подо льном — 34.3–35.7 мг ТФФ/10 г почвы/сут и под кориандром — 30.6–31.7 мг ТФФ/10 г почвы/сут. Согласно шкале обогащенности ферментами Д.Г. Звягинцева (1978), почвы подо льном и кориандром относят к богатым, а под нутотом — средней обогащенности. Подо льном с июня по сентябрь активность дегидрогеназ не изменилась и осталась на высоком уровне обогащения. Вероятно, стабильные показатели активности дегидрогеназ в течение сезона обусловлены постоянным поступлением других экссудатов корневой системы льна. На поле с кориандром также отмечали высокую активность дегидрогеназ (28.3–31.7 мг ТФФ/10 г почвы/сут), но это было на 8–20% меньше, чем подо льном. Не выявлено различий в активности дегидрогеназ в течение вегетационного сезона в почвах агроценозов кориандра и льна. Для нута продемонстрирована меньшая активность дегидрогеназ на 62 и 65%, чем для почв под кориандром и льном. В почве с нутотом прослежена высокая активность в июле, на 37% больше, чем в июне, что было связано с более поздним посевом культуры по сравнению с кориандром и льном и, соответственно, более поздним выделением экссудатов корневой системой нута, повышавшим выработку дегидрогеназ. Поскольку субстратами дегидрирования

служат органические вещества, вероятно, что снижение активности было связано с развитием растений и, соответственно, снижением количества и обеднением состава корневых экссудатов, неспецифических (углеводы, аминокислоты, фитонциды, колины, маразмины) и специфических (гуминовых кислот и фульвокислот) соединений в почве.

В отличие от оксидоредуктаз, активность всех изученных гидролаз не показала какой-либо одной закономерности (табл. 4). Согласно шкале Звягинцева (1978), почвы под всеми сельскохозяйственными культурами были достаточно обогащены фосфатазой (1.8–9.2 мг $P_2O_5/100$ г почвы/ч). В июне в активные фазы роста нута при оптимальных температуре и влажности почв фосфатазная активность почв была максимальной – 9.2 мг $P_2O_5/100$ г почвы/ч ($p < 0.01$). Однако в почве под посевом льна был обнаружен максимум активности фермента в сентябре – 2.2 мг $P_2O_5/100$ г почвы/ч. Сезонная динамика активности фосфатазы различалась для разных культур. Под нутом в июле активность снизилась на 61%, далее с повышением на 27%; подо льном, наоборот, повысилась на 20%. Повышение активности фермента в сентябре было обусловлено разложением органических остатков культуры-предшественника (пшеницы озимой) и вовлечением фосфора в биогенный круговорот. Вероятно, снижение активности фосфатазы в почве под нутом в июле определяли цветение и формирование семян. Черноземы обыкновенные относят к почвам с нестабильным уровнем содержания подвижных форм фосфора, содержание которых зависит от температуры, влажности почв и периода вегетации культур.

Активность β -фруктофуранозидазы при прямом посеве варьировала в диапазоне 5.6–9.2 мг глюкозы/г почвы/сут. Выявлено снижение активности β -фруктофуранозидазы под посевами кориандра и льна в течение сезона на 17 и 13% ($p < 0.05$). В то же время нут простимулировал активность фермента с июня по сентябрь на 17% ($p < 0.05$). Активность β -фруктофуранозидазы под нутом в сентябре была больше на 39 и 65% по сравнению со льном и кориандром. Нут, как представитель бобовых, содержит в своей корневой системе азотфиксирующие бактерии и способствует выделению органических кислот, аминокислот и витаминов в большем объеме, чем зерновыми и прочими культурами. Активность β -фруктофуранозидазы коррелировала с содержанием гумуса, что подтверждает связь фермента с плодородием почв при различных видах землепользования [3, 24].

Активность β -фруктофуранозидазы, как фермента класса гидролаз, связана не только с корневыми экссудатами, пожнивными остатками, а также с плотностью, сопротивлением пенетрации, количеством влаги в почве, величиной рН [4]. Ранее было определено, что в условиях аномально влажной весны и начала лета самыми плотными в сентябре были почвы на участках с прямым посевом нута и кориандра [17]. В этот период плотность почв на этих участках была неблагоприятно высокой (1.40–1.53 г/см³), и сопротивление пенетрации под кориандром на глубине 15 см достигло 9.9 МПа. В связи с этим именно в агроценозе кориандра наблюдали наибольшее снижение активности β -фруктофуранозидазы по сравнению со льном и нутом на 14 и 43% ($p < 0.05$) соответственно.

По А.Ш. Галстяну (1974), активность оксидоредуктаз по сравнению с гидролазами в меньшей степени подвергается изменениям при сельскохозяйственном использовании под пашней. Однако ранее показана информативность и чувствительность применения активности каталазы и дегидрогеназ при оценке состояния почв под бинарными посевами подсолнечника с донником, связи с гидротермическими условиями и ферментативной активностью в динамике при использовании традиционной и почвосберегающей (прямой посев) технологий обработки почвы [9, 10, 24].

Во второй части эксперимента для оценки влияния технологий обработки почвы (прямой посев и традиционная технология) на ферментативную активность черноземов были выбраны поля с одинаковой культурой – озимой пшеницей (рис. 2). Анализ изменения ферментативной активности проводили в период максимальной вегетации озимой пшеницы – в июне. Выбор периода наблюдения был обусловлен тем, что в остальные периоды (в июле и сентябре) было отмечено сезонное снижение активности ферментов: оксидоредуктаз (каталазы и дегидрогеназ) на 19–75% ($p < 0.05$), гидролаз (инвертазы и уреазы) – на 20–60% ($p < 0.05$) [24]. В июле с ростом температуры воздуха и почвы активность каталазы была простимулирована, а активность уреазы, напротив, ингибирована, что обусловлено окислительно-восстановительными реакциями и нитрификацией иммобилизованных форм азота за счет пожнивных остатков культуры-предшественника. При сравнении разных технологий обработки почвы роль культуры-предшественника была значима. При анализе активности дегидрогеназ в поле после предшественника льна (поле № 6) с полем с традиционной обработкой после предшествен-

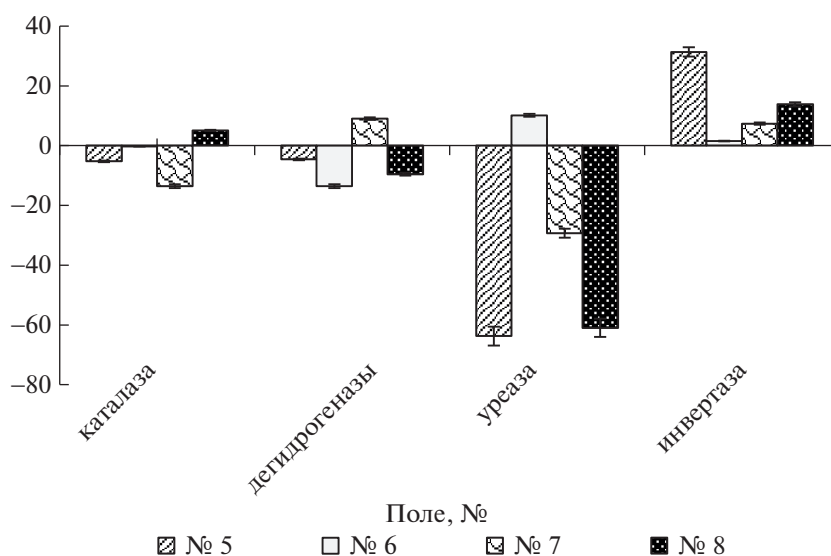


Рис. 2. Изменение ферментативной активности почв под озимой пшеницей в июне при использовании прямого посева, % от ферментативной активности почв, обрабатываемых по традиционной технологии.

ника кукурузы отмечено ингибирование активности дегидрогеназ и стимулирование активности уреазы. Подобное воздействие кукурузы, как и подсолнечника, было обусловлено мощной биомассой верхней части растений и корневой системой, способствующей истощению почвы. На поле № 5, где предшественником озимой пшеницы был подсолнечник (при традиционной обработке), в сравнении с полем после кориандра показаны ингибирование уреазы и стимуляция активности инвертазы. На поле № 8 с одинаковыми высеваемыми культурами и предшественниками (рыжиком озимым) констатировали влияние именно технологии прямого посева на резкое уменьшение активности уреазы (на 61%) и небольшое увеличение активности инвертазы (на 14%). На большинстве полей не выявлено различий по влиянию технологий обработки почвы под озимую пшеницу на активность каталазы, за исключением поля № 7. На этом поле обнаружено снижение активности каталазы на 14% ($p < 0.05$).

Исследования, проведенные на полях с одинаковой возделываемой культурой – озимой пшеницей, показали высокую чувствительность ферментов класса гидролаз, активность которых, в целом, была выше в полях с прямым посевом, чем на пахотных полях. Активность ферментов класса оксидоредуктаз меньше зависела от вида обработки почвы, чем активность гидролаз [32–35]. Аналогичные результаты о стимулировании активности гидролаз были получены и другими авторами. Это связано с тем, что гидролитические ферменты участвуют в метаболизме органиче-

ских веществ, повышенные количества которых образуются на поверхности почвы при прямом посеве. В итоге активность этих ферментов связана с содержанием органического углерода в почвах [36, 37]. В исследованных почвах было установлено повышение степени гумификации органического вещества и содержания перманганат-окисляемого органического вещества при применении технологии прямого посева [38]. Это, наряду с повышением влагообеспеченности почв при использовании технологии прямого посева [38], объясняет повышение активности гидролаз, связанных с гидролитическими процессами преобразования органических веществ в почве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования выявлено, что различные сельскохозяйственные культуры оказывали влияние на активность ферментов в черноземах Ростовской обл. в течение периода вегетации и при использовании различных приемов обработки почвы. На активность гидролаз оказывали влияние технология обработки почвы и культура-предшественник. На активность оксидоредуктаз большее влияние оказывали сезонные изменения температуры почвы. Среди возделываемых культур нут оказывал ингибирующее влияние на активность оксидоредуктаз и стимулирующее – на активность гидролаз. При сравнении технологий обработки почвы при выращивании озимой пшеницы, благодаря наличию мульчирующего слоя и сохранению влаги при прямом по-

севе активность инвертазы была простимулирована, а уреазы – ингибирована. Снижение активности уреазы было связано с замедлением гидролиза мочевины в почве в виду изменения реакции среды и высокой сезонной температуры почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байбеков Р.Ф. Природоподобные технологии – основа стабильного развития земледелия // Земледелие. 2018. № 2. С. 5–8.
2. Derpsch R., Franzluebbers A.J., Duiker S.W., Reicosky D.C., Koeller K., Friedrich T., Sturny W.G., Sa J.C.M., Weiss K. Why do we need to standardize no-tillage research? Letter to the Editor // Soil Till. Res. 2014. 137 p.
3. Khasanova R.F., Suyundukov Ya. T., Semenova I.N. Biological activity of the humus horizon of ordinary chernozems as an indicator of the ecological state of agroecosystems in Bashkortostan // Euras. Soil Sci. 2014. № 47 (8). P. 819–823.
4. Vazquez E., Teutscheroва N., Almorox J., Navas M., Espejo R., Benito M. Seasonal variation of microbial activity as affected by tillage practice and sugar beet foam amendment under Mediterranean climate // Appl. Soil Ecol. 2017. № 117–118. P. 70–80.
5. Вальков В.Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Кузнецов Р.В. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерал. унта, 2008. 416 с.
6. Даденко Е.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // Почвоведение. 2014. № 6. С. 724–733.
7. Melero S., López-Bellidom R.J., López-Bellido L., Muñoz-Romero V., Moreno F., Murillo J.M. Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean Vertisol // Soil Till. Res. 2011. № 114. P. 97–107.
8. Papp R., Marinari S., Moscatell M.C., van der Heijden M.G.A., Wittwer R., Campiglia E., Radicetti E., Mancinelli R., Fradgley N., Pearce B., Bergkvist G., Finckh M.R. Short-term changes in soil biochemical properties as affected by subsidiary crop cultivation in four European pedo-climatic zones // Soil Till. Res. 2018. № 180. P. 126–136.
9. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Оценка ферментативной активности черноземов Ростовской области под бинарными посевами подсолнечника // Изв. Тимирязев. сел.-хоз. академии. 2017. № 6. С. 141–155.
10. Минникова Т.В., Кравцова Н.Е., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние прямого посева на содержание в черноземе элементов питания озимой пшеницы // Агрохимия. 2019. № 10. С. 75–82.
11. Кравцова Н.Е., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Минникова Т.В., Колесников С.И. Динамика содержания элементов питания в черноземах Ростовской области при разных технологиях обработки почв // Агротех. вестн. 2019. Т. 1. № 1. С. 33–36.
12. Казеев К.Ш., Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Мясникова М.А., Колесников С.И. Оценка воздействия прямого посева на физические свойства черноземов Ростовской области // Агрофизика. 2019. № 2. С. 15–24.
13. Гедгафова Ф.В., Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Оценка изменения биологической активности горных серых лесных почв Центрального Кавказа (терский вариант пояности в пределах Кабардино-Балкарии) в результате агроиспользования // Агрохимия. 2019. № 4. С. 23–30.
14. Гребенников А.М., Фрид А.С., Сапрыкин С.В., Чевердин Ю.И. Влияние применения различных способов основной обработки на запасы продуктивной влаги в агрочерноземах // Агрохимия. 2019. № 8. С. 40–47.
15. Mbuthia L.W., Acosta-Martínez V., De Bruyna J., Schaeffera S., Tyler D., Odoia E., Mpheshea M., Walkera F., Easha N. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality // Soil Biol. Biochem. 2015. № 89. P. 24–34.
16. Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment // Soil Till. Res. 2012. V. 118. P. 66–87.
17. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Влияние технологии прямого посева на эколого-биологические свойства черноземов // Изв. высш. уч. завед. Северо-Кавказский регион. Сер. Естеств. науки. 2017. Т. 194. № 2. С. 68–74.
18. Тулина А.С. Влияние температуры, влажности и внесения соломы на динамику минерализации органического вещества и почвенные пулы углерода и азота // Агрохимия. 2019. № 3. С. 3–18.
19. Gámiz B., Facenda G., Celis R. Modulating the persistence and bioactivity of allelochemicals in the rhizosphere: salicylic acid, a case of study // Arch. Agron. Soil Sci. 2018. № 65. P. 581–595.
20. Steinauer K., Chatzjinotas A., Eisenhauer N. Root exudate cocktails: the link between plant diversity and soil microorganisms? // Ecology and Evolution. 2016. № 6(20). P. 7387–7396.
21. Calderon F.J., Nielsen D., Acosta-Martinez V., Vigil M.F., Lyon D. Cover crop and irrigation effects on soil microbial communities and enzymes in semiarid agroecosystems of the central great plains of North America // Pedosphere. 2016. № 26. P. 192–205.
22. Ларииков А.А., Казеев К.Ш. Изменение ферментативной активности чернозема обыкновенного Ботанического сада ЮФУ при выращивании сельскохозяйственных культур // Изв. вуз. Северо-Кавказский регион: Естеств. науки. 2009. № 6. С. 52–54.
23. Franke A.C., Brand G.J., Vanlauwe B., Giller K.E. Sustainable intensification through rotations with grain legumes in Sub-Saharan Africa: a review // Agricult. Ecosyst. Environ. 2018. № 261. P. 172–185.
24. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Оценка зависимостей

- между гидротермическими показателями и ферментативной активностью черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий // *Агрофизика*. 2018. № 1. С. 9–17.
25. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Ростовской области. Ростов-н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2012. 492 с.
 26. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
 27. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. 2014. № 106. 181 p.
 28. Мокриков Г.В., Минникова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние запасов продуктивной влаги и количества атмосферных осадков на урожайность при условии прямого посева сельскохозяйственных культур в Ростовской области // Самар. научн. вестн. 2019. Т. 8. № 1 (26). С. 69–75.
 29. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
 30. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М., 2005. 189 с.
 31. Демина О.С., Ларинова Ю.С., Кондратьев М.Н. Аллелопатический потенциал люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) во взаимодействии с другими сельскохозяйственными культурами // *Изв. ТСХА*. 2016. № 4. С. 27–40.
 32. Conservation tillage: short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions // *Soil Till. Res.* 2009. V. 104. P. 292–298.
 33. Sinsabaugh R.L. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil // *Soil Biol. Biochem.* 2010. V. 42. P. 391–404.
 34. Roldan A., Salinas-García J.R., Alguacil M.M., Díaz E., Caravaca F. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions // *Geoderma*. 2005. V. 129. P. 178–185.
 35. Acosta-Martínez V., Acosta-Mercado D., Sotomayor-Ramírez D., Cruz-Rodríguez L. Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils // *Appl. Soil Ecol.* 2008. V. 38. P. 249–260.
 36. Katsalirou E., Deng S., Nofziger D.L., Gerakis A., Fuhendorf S.D. Spatial structure of microbial biomass and activity in prairie soil ecosystems // *Eur. J. Soil Biol.* 2010. V. 46. P. 181–189.
 37. Mangalassery S., Mooney S.J., Sparkes D.L., Fraser W.T., Sjögersten S. Impacts of zero tillage on soil enzyme activities, microbial characteristics and organic matter functional chemistry in temperate soils // *Eur. J. Soil Biol.* 2015. V. 68. P. 9–17.
 38. Мокриков Г.В., Минникова Т.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Изменение содержания и состава органического вещества черноземов Приазовья при использовании технологии прямого посева // *Агрохимия*. 2020. № 1. С. 18–24.

Influence of Agricultural Crops on the Enzymatic Activity of Chernozems of the Rostov Region Using Various Agrotechnologies

T. V. Minnikova^{a, #}, G. V. Mokrikov^a, K. Sh. Kazeev^a, and S. I. Kolesnikov^a

^a South Federal University

ul. B. Sadovaya 105/42, Rostov-on-Don 344006, Russia

[#]E-mail: loko261008@yandex.ru

The effect of agricultural crops (winter wheat, chickpeas, coriander, flax) in the agrocenoses of the Rostov region on the activity of soil enzymes (catalase, dehydrogenase, urease, phosphatase and β -fructofuranosidase) under different soil treatment technologies was studied in production conditions. The effect on the enzymatic activity of soils under winter wheat under direct seeding (No-Till) after different precursor crops was compared. During the season, chickpeas inhibited the activity of oxidoreductases by 42 and 53%, than under flax and coriander. Hydrolase activity under this culture was higher by 39 and 65%, respectively. Under direct seeding of chickpeas, the greatest inhibition of oxidoreductase activity and stimulation of hydrolase activity was shown in comparison with flax and coriander. In soils with direct seeding of winter wheat grown after coriander and flax, there was an increase in invertase activity by 15–25% and a significant inhibition of urease activity after coriander and ginger by 58–67%. When comparing processing technologies for growing winter wheat, due to the presence of a mulch layer and the preservation of moisture during direct sowing, the activity of β -fructofuranosidase was stimulated, and urease was inhibited.

Key words: agricultural crops, No-Till technology, fruit production, biological activity, methods of tillage, biodiagnosics.