

Александр Анатольевич Белоусов

Красноярский государственный аграрный университет, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент, Красноярск, Россия

E-mail: svoboda57130@mail.ru

Елена Николаевна Белоусова

Красноярский государственный аграрный университет, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент, Красноярск, Россия

E-mail: svobodalist571301858@mail.ru

Деваштич Деваштич Кухбуди

Красноярский государственный аграрный университет, магистрант кафедры почвоведения и агрохимии, Красноярск, Россия

E-mail: куха_-_91mk@mail.ru

**ДИНАМИКА КАТАЛАЗНОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО
В УСЛОВИЯХ МИНИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ**

Цель исследования – изучить влияние способов основной обработки на каталазную активность чернозема Красноярской лесостепи. Исследование проводили на черноземе обыкновенном в производственном опыте ООО «СХП “Дары Малиновки”» Сухобузимского района в Красноярской лесостепи в 2017–2019 гг. В производственных посевах были выделены реперные участки прямоугольной формы общей площадью 1200 м², с учетной площадью – 600 м². В пределах каждого участка выделялись три делянки – повторности площадью 200 м². Объем выборки – n = 12. Трижды за вегетационный сезон отбирались почвенные образцы из слоев 0–10 и 10–20 см методом змейки. Схема опыта представлена следующими вариантами: 1) отвальная (st); 2) минимальная; 3) плоскорезная. В сезоне 2017 г. почва вариантов опыта обрабатывалась по типу чистого раннего пара, а в 2018 г. на полевом стационаре был произведен посев яровой пшеницы сорта Новосибирская-31, в 2019 – ячменя сорта Ача. В течение вегетационных сезонов наблюдали за динамикой каталазной активности. Установлено, что обработка почвы оказывала существенное влияние на уровень окислительных процессов вследствие активизации каталазы. Исследование подтвердило закономерность о существенной роли корней злаковых культур в каталитическом функционале почвы. Уровень активности фермента оценивался как средний и не зависел от способа основной обработки почв. По окончании периода активной вегетации, когда корневая система зерновых культур прекращала активное функционирование, в почве, обработанной бесплужным способом, уровень разрушения перекиси водорода оставался существенно выше относительно вспаханной почвы.

Ключевые слова: минимизация обработки, ферментативная активность почвы, каталаза.

Alexander A. Belousov

Krasnoyarsk State Agrarian University, associate professor of department of soil science and agrochemistry, candidate of biological sciences, associate professor, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: svoboda57130@mail.ru

Elena N. Belousova

Krasnoyarsk State Agrarian University, associate professor of Department of Soil Science and Agrochemistry, candidate of biological sciences, associate professor, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: svobodalist571301858@mail.ru

Devashtich D. Kuhbudi

Krasnoyarsk State Agrarian University, master's student of Department of Soil Science and agrochemistry, Krasnoyarsk, Russia
E-mail: kyxa_-_91mk@mail.ru

DYNAMICS OF CATALASE ACTIVITY OF COMMON CHERNOZEM UNDER CONDITIONS OF MINIMIZATION OF PROCESSING

The aim of research is to study the effect of the main processing methods on the catalase activity of the chernozem of the Krasnoyarsk forest-steppe. The studies were carried out on common chernozem in the production experiment of LLC "Agricultural enterprise" Dary Malinovki in Sukhobuzimsky District in the Krasnoyarsk forest-steppe in 2017–2019. In the production crops, reference plots of rectangular shape were identified with a total area of 1200 m², with a counting area of 600 m². Within each plot, three plots were identified – replicates with an area of 200 m². Sample size – n = 12. Soil samples were taken three times during the growing season from 0–10 and 10–20 cm layers using the snake method. The experiment scheme is represented by the following options: 1) dump (st); 2) minimum; 3) flat-cut. In the 2017 season, the soil of the experimental variants was cultivated according to the type of clean early fallow, and in 2018 at the field station, spring wheat of the Novosibirskaya-31 variety was sown, in 2019 – barley variety Acha was sown. During the growing seasons, the dynamics of catalase activity was monitored. It was found that tillage had a significant effect on the level of oxidative processes due to the activation of catalase. The study confirmed the regularity of the essential role of the roots of cereals in the catalytic functionality of the soil. The level of enzyme activity was assessed as average and did not depend on the method of basic soil cultivation. At the end of the active growing season, when the root system of grain crops ceased to function actively, the level of destruction of hydrogen peroxide in the soil treated without a tillage method remained significantly higher than in the plowed soil.

Keywords: *minimization of processing, enzymatic activity of soil, catalase.*

Введение. Проблема стабильности агроландшафтов при освоении безотвальных технологий обработки почвы до настоящего времени актуальна. Дискуссионность вопроса вызвана известными противоречиями, вызванными применением минимизации обработки. Очевидные ее преимущества нивелируются весьма существенными недостатками. К основным из них относятся: повышенная засоренность, уплотнение и слабая обеспеченность минеральным азотом. Первая и последняя проблемы, как правило, решаются использованием агрохимикатов. Отсюда возникает противоречие между сохранением биогенной устойчивости почвенных систем и уровнем производительности растениеводческой продукции. Например, критики бесплужной системы обработки почвы, ратуя за отвальный плуг, ссылаются на необходимость зонального подхода, учета ландшафтных особенностей, но когда дело доходит до возможности применения бесплужной системы обработки, сразу забывают о таком понятии, как шаблонный подход. А ведь еще Т.С. Мальцев утверждал, что неправильное

применение минимальной технологии в производственных условиях будет компрометировать ее [1]. Что часто случалось при его жизни, происходит и в наше время.

Различные варианты безотвальной обработки почвы существенно изменяют условия функционирования почвенных ферментов. Выбор оптимального способа должен соотноситься не только с выяснением благоприятных физико-химических свойств почвенной системы, но и с определением своеобразного сбалансированного интервала активности почвенной биоты, в т. ч. и активности ферментов. Данное исследование было сосредоточено на определении каталазной активности, которая является одним из индикаторов напряженности биологических процессов в почве.

Цель исследования: изучить воздействие процесса перехода от отвальной основной обработки почвы к безотвальной на каталазную активность чернозема Красноярской лесостепи.

Объекты и методы исследования. Исследование осуществлялось на производственном

опыте ООО «ОПХ «Дары Малиновки»» Сухобузимского района в Красноярской лесостепи, размещенной в пределах Чулымо-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири.

Объект исследования – чернозем обыкновенный среднегумусный среднемощный тяжелоуглинистый на красно-бурой глине. Почва опыта характеризуется содержанием $C_{орг}$ – 6,3–6,5 %, нейтральной реакцией среды. Содержание подвижного фосфора в почве колеблется в пределах 295–320 мг/кг, обменного калия – 127–138 мг/кг. В границах производственных посевов были заложены реперные участки прямоугольной формы общей площадью 1200 м², с учетной площадью 600 м². В пределах каждого участка выделялись три повторности площадью 200 м². Почвенные образцы отбирались в сроки, приуроченные к фазам развития сельскохозяйственных растений, из слоев 0–10 и 10–20 см методом змейки. Объем выборки, рассчитанный исходя из уровня варьирования плодородия почвы на участке, составлял $n = 12$. Схема опыта представлена следующими

вариантами: 1) отвальная (st); 2) минимальная; 3) плоскорезная.

Отвальную вспашку производили плугом Gregoire Besson SPLM B9 на глубину 25–27 см, минимальную обработку (поверхностное дискование) – дискатором «БДМ-Агро БДМ 6х4П» и плоскорезную обработку (культивацию) – культиватором «Ярославич КБМ-10,8 ПС-4» на глубину 10–12 см. В вегетационный сезон 2017 г. почва вариантов опыта обрабатывалась по типу чистого раннего пара, в 2018 г. на опытном участке был произведен посев яровой пшеницы сорта Новосибирская-31, в 2019 г. – посев ячменя сорта Ача.

Агрометеорологические условия 2017–2019 гг. складывались по-разному (табл. 1). Так, накопление суммы активных температур было значительно выше среднееголетних значений, а количество осадков, напротив, существенно уступало норме. Это свидетельствовало о засушливости условий, формирующихся в годы наблюдений. В отдельные периоды вегетационных сезонов отмечались следующие особенности.

Таблица 1

Метеорологические показатели в годы наблюдений

Год	Месяц					Сумма активных температур
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	
Средняя температура воздуха, °С						
2017	11,0	20,3	19,5	16,8	8,5	2074
2018	8,1	20,5	18,6	18,3	10,1	2061
2019	9,0	18,7	19,5	18,8	9,9	2047
Норма (1980–2010 гг.)	8,7	15,2	17,6	14,8	8,8	1833
Осадки, мм						
2017	28,0	30,0	79,0	81,0	81,0	299,0
2018	29,0	29,0	33,0	21,0	58,0	170,0
2019	8,3	106,1	45,4	68,9	54,0	274,4
Норма (1980–2010 гг.)	50,0	61,0	95,0	78,0	48,0	332,0

Вторая половина лета первого года исследований (2017) характеризовалась значительным количеством осадков относительно 2018 г. В июне 2019 г. осадков выпало на 65 % больше нормы. Химические и физико-химические показатели получены по общепринятым прописям современных методов [2]. В подготовленных образцах определяли активность почвенной каталазы газометрически по Ф.Х. Хазиеву [3]. Статистиче-

ский анализ данных проводился с использованием пакета программ MS Excel.

Результаты исследования и их обсуждение. Биогенность почвы, как один из ключевых показателей ее плодородия, связана с процессами синтеза и распада органического вещества, в т. ч. водорастворимого [4]. От их напряженности в большой степени зависит динамика подвижных элементов питания в почве, а, зна-

чит, рост, развитие и продуктивность основных культур севооборота. Анализируя активность каталазы в почве вариантов, необходимо помнить, что данный фермент является внутриклеточным. Оказываясь в почве после лизиса клеточной массы, каталаза продолжительно не функционирует в почвенной системе. Она быстро лишается активности вследствие изменения физико-химических условий. Эти транс-

формации могут быть весьма существенными в процессе смены способов основной обработки почвы. Первые годы наблюдений выявили следующие факты по каталитической активности почвы. В период июня-июля 2017 г., предшествующий вариантам обработки, каталазная активность исследуемой почвы характеризовалась средним уровнем (табл. 2, 3).

Таблица 2

Шкала сравнительной оценки биологической активности почвы (Звягинцев, 1978)

Активность	Каталаза, O ₂ , см ³ /г/мин
Очень слабая	До 1
Слабая	1–3
Средняя	3–10
Высокая	10–30
Очень высокая	> 30

Таблица 3

Активность каталазы в вариантах опыта, O₂, см³/г/мин (2017)

Вариант	0–10 см			10–20 см		
	Июнь	Июль	Сентябрь	Июнь	Июль	Сентябрь
1. Отвальная	–	5,5	5,1	–	6,2	3,8
2. Дискование	–	5,7	5,9	–	5,9	6,0
3. Плоскорезная	–	5,0	5,1	–	5,5	5,3
НСР ₀₅	–	0,6	0,4	–	F _ф < F _т	1,1

Наименьшей активностью в слое 0–10 см отличался участок, предназначенный под плоскорезное рыхление. В нижележащем слое достоверных отличий не обнаружилось. В последней декаде июля на опытном стационаре была проведена обработка согласно принятой схеме опыта. Спустя полтора месяца в сентябре, в процессе перехода в новое состояние сложения

почвы каталазная активность диагностировала повышенную способность к гетеротрофному синтезу органических соединений, благодаря высокоактивному кислороду, образующемуся при участии каталазы. Vegetирующие растения яровой пшеницы в следующем сезоне в целом обусловили усиление активности фермента в почве всех вариантов (табл. 4).

Таблица 4

Активность каталазы в вариантах опыта, O₂, см³/г/мин (2018 г.)

Вариант	0–10 см			10–20 см		
	Июнь	Июль	Сентябрь	Июнь	Июль	Сентябрь
1. Отвальная	6,4	6,4	4,1	7,1	6,8	4,0
2. Дискование	6,8	6,8	6,8	7,1	7,0	6,8
3. Плоскорезная	6,2	6,2	7,2	6,5	6,5	7,4
НСР ₀₅	0,4	0,4	0,4	F _ф < F _т	F _ф < F _т	0,7

Фактически это подтвердило многочисленные исследования о роли корневых систем в стимулировании каталазной активности, в т. ч. в ризосфере злаковых культур [5–7]. Физиологами растений давно установлена сезонная неравномерность корневых экссудатов [8]. Формирование подземного пула органического вещества в первой половине лета 2018 г. благоприятствовало окислительным процессам в условиях минимальной обработки. Для слоя 0–10 см значения активности здесь достоверно превышали значения активности почвы, обрабатываемой отвальным плугом и культиватором-плоскорезом. Вероятно, поверхностное дискование способствовало крошению почвы, а последующее нарастание корневой массы и детритосферы обеспечивало активность каталазы в почве варианта.

Осенью, когда корневая система пшеницы прекращала активное функционирование в почве, обработанной бесплужным способом, уро-

вень разрушения перекиси водорода оставался существенно выше относительно уровня данного показателя для вспаханной почвы. Это свидетельствует о роли в каталазной активности не только корневых систем, но и условий, складывающихся в результате той или иной основной обработки почвы. Так, например, Е.Н. Мишустин отмечал, что при безотвальном способе воздействия на почву растения имеют более разветвленную корневую систему в верхнем слое в сравнении со вспашкой [9]. Образующиеся в результате подвижные гумусовые вещества, по-видимому, более устойчивы к разложению в условиях сложения почвы, характерном при безотвальном рыхлении. А они, по мнению С.А. Абрамяна [6], связаны более сильными причинно-следственными связями с каталазой. Вегетационный сезон 2019 г. в целом повторил закономерности, обозначенные ранее (табл. 5).

Таблица 5

Активность каталазы в вариантах опыта, O₂, см³/г/мин (2019 г.)

Вариант	0–10 см			10–20 см		
	Июнь	Июль	Сентябрь	Июнь	Июль	Сентябрь
1. Отвальная	7,9	8,8	6,1	8,2	9,2	10,0
2. Дискование	7,1	8,3	7,7	6,3	8,7	11,9
3. Плоскорезная	8,9	8,5	8,4	8,3	8,9	10,3
НСП ₀₅	1,0	Fф < Fт	1,2	1,1	Fф < Fт	Fф < Fт

В течение всего периода наблюдений регистрировалось повышение каталазной активности в почве всех вариантов. Максимальные значения были выявлены в июле – в слое 0–10 см и в сентябре – в слое 10–20 см. В подпосевном слое активность фермента оценивалась более высокими статистически достоверными значениями. Вероятно, в этот период происходил интенсивный отток в почву с корневыми экссудатами продуктов фотосинтеза вместе с заключенными в них элементами питания. Полагаем, что посевы ячменя, возделываемые по яровой пшенице на безотвальном фоне, сформировали более мощный запас биомассы корней, а, по данным [5], именно в ризосфере злаковых культур каталитическая активность биогенного происхождения особенно выражена.

В период высоких среднесуточных температур, в последнюю пятидневку июня плоскорезное рыхление культиватором и нарастание

биомассы ячменя существенно стимулировало каталазную активность, особенно в поверхностном слое. К середине лета окислительные процессы проявляли тенденцию к повышению, которая пролонгировалась до сентября. Таким образом, данное исследование подтверждает закономерность о существенной роли корней злаковых в каталитическом функционале почвы.

Выводы

1. Каталазная активность почвы при смене отвальной вспашки на бесплужные варианты имела тенденцию к повышению.
2. Посевы яровой пшеницы и ячменя стимулировали окислительные процессы в почве всех вариантов.
3. Уровень активности фермента оценивался как средний и не зависел от способа основной обработки почв.

Литература

1. Мальцев Т.С. О земле-кормилице. М.: Россельхозиздат, 1984. 287 с.
2. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
3. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
4. Belousov A.A., Belousova E.N. and Stepanova E.V. 2020 The influence of soil protection technologies on the content of organic substance in leached chernozem IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 421 032001.
5. Купревич В.Ф., Щербаклова Т.А. Почвенная энзимология. Минск: Наука и техника, 1966.
6. Абрамян С.А. Изменение ферментативной активности почв под воздействием естественных и антропогенных факторов // Почвоведение. 1992. № 7. С. 70–82.
7. Мокриков Г.В., Казеев К. Ш., Акименко Ю.В. и др. Влияние технологии No-Till на эколого-биологическое состояние почв. Ростов-н/Д.: Изд-во Южного федер. ун-та, 2017. 140 с.
8. Самцевич С.А. Гелеобразные выделения корней растений и их значение в плодородии почвы. Минск: Наука и техника, 1985. 38 с.
9. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972. 342 с.

Literatura

1. Mal'cev T.S. O zemle-kormilice. M.: Rossel'hozizdat, 1984. 287 s.
2. Vorob'eva L.A. Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv. M.: GEOS, 2006. 400 s.
3. Haziiev F.H. Metody pochvennoj `enzimologii. M.: Nauka, 2005. 252 s.
4. Belousov A.A., Belousova E.N. and Stepanova E.V. 2020 The influence of soil protection technologies on the content of organic substance in leached chernozem IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 421 032001.
5. Kuprevich V.F., Scherbakova T.A. Pochvennaya `enzimologiya. Minsk: Nauka i tehnik, 1966.
6. Abramyan S.A. Izmenenie fermentativnoj aktivnosti pochv pod vozdejstviem estestvennyh i antropogennyh faktorov // Pochvovedenie. 1992. № 7. S. 70–82.
7. Mokrikov G.V., Kazeev K. Sh., Akimenko Yu.V. i dr. Vliyanie tehnologii No-Till na `ekologo-biologicheskoe sostoyanie pochv. Rostov-n/D.: Izd-vo Yuzhnogo feder. un-ta, 2017. 140 s.
8. Samcevich S.A. Geleobraznye vydeleniya kornej rastenij i ih znachenie v plodorodii pochvy. Minsk: Nauka i tehnik, 1985. 38 s.
9. Mishustin E.N. Mikroorganizmy i produktivnost' zemledeliya. M.: Nauka, 1972. 342 s.