

УДК 631.46: 631.871:631.445.4
DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.12

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОЛОМЫ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ

Ирина Вячеславовна Черепухина^{1,2}, Надежда Викторовна Безлер¹,
Аркадий Игоревич Громовик²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова, 396030, Воронежская область, п. ВНИИСС, д. 86
e-mail: vniiss@mail.ru

² Воронежский государственный университет,
394018, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1
e-mail: icherepukhina@gmail.com

Аннотация. Для восполнения потерь органического вещества в черноземах выщелоченных ЦЧР представляется возможным использование соломы зерновых культур в качестве органического удобрения. Для ускорения ее разложения и вовлечения продуктов распада в круговорот элементов необходимо использовать дополнительные компоненты, в качестве которых могут быть применены микробиологические препараты, однако для каждого конкретного типа почв должны быть найдены аборигенные штаммы, чтобы предотвратить нарушения микробного сообщества за счет внедрения чужеродных видов. **Целью** исследований являлось изучение биологической активности чернозема выщелоченного при запарке соломы зерновых культур с целлюлозолитическим микромицетом (*Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016). **Методы.** Опыт был заложен на черноземе выщелоченном, осенью была проведена запарка соломы озимой пшеницы и ячменя в паровом звене зернопаропропашного севооборота (пар – озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень). Исследования микробного сообщества и биохимической активности проводили в посевах сахарной свеклы. **Результаты.** В результате проведенных исследований установлено, что использование целлюлозолитического микромицета способствует увеличению численности некоторых групп почвенных микроорганизмов в связи с поступлением свежего органического вещества. Также происходит повышение условного коэффициента гумификации, рассчитанного по соотношению зимогенной и автохтонной микрофлоры. Значение этого соотношения было наибольшим – 4,29 (в контрольном варианте – 3,94, при запарке одной соломы – 3,87, соломы с азотным удобрением – 3,38). Такая же тенденция наблюдалась и при сопоставлении активности ферментов полифенолоксидаза и пероксидаза, в среднем за вегетационный период Кгум. на контроле составлял 0,88, а при использовании соломы и *H.fuscoatra* 1,03. Это может свидетельствовать о том, что при запарке соломы с целлюлозолитическим микромицетом складываются благоприятные условия для развития почвенной микрофлоры, в результате чего и биохимическая активность почвы остается на более высоком уровне.

Ключевые слова: солома зерновых культур, целлюлозолитический микромицет (*Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016), почвенная микрофлора, ферментативная активность почв.

Введение

В Воронежской области при средней урожайности зерновых 35,4 ц/га на полях остается около 2 млн. т соломы. Такой объем может обеспечить ежегодное восполнение запасов органического вещества пахотных земель. Внесение соломы в почву в качестве удобрения активизирует почвенную микрофлору, потому что внесенный материал представляет собой субстрат, в составе которого содержание углерода значительно превышает содержание азота. С ростом микробиологической активности возрастает и ферментативная активность почвы [1, 5, 9].

В ЦЧР в условиях недостаточного увлажнения скорость микробиологического разложения соломы затягивается на несколько лет. В настоящее время активно

разрабатываются и внедряются в практику альтернативные методы утилизации пожнивных остатков, предполагающие более полное их вовлечение в биологический круговорот с применением современных комплексных микробиологических препаратов. Эти препараты позволяют ускорить процесс деструкции и гумификации разнообразных органических, в том числе пожнивных остатков [8].

В лаборатории эколого-микробиологических исследований почв Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова из чернозема выщелоченного был выделен штамм целлюлозолитического микромицета (*Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016), обладающего высокой активностью. Лабораторные исследования показали, что его использование приводит к ускорению разложения соломы на 50 % [3,4].

Поэтому целью исследований было установить степень влияния заправки соломы зерновых культур (озимой пшеницы и ячменя) с целлюлозолитическим микромицетом на процессы трансформации целлюлозы и других соединений соломы, динамику микробного сообщества почвы, ее ферментативную активность и формирование потенциального и эффективного плодородия почвы в зернопаропропашном севообороте.

Объекты и методы исследования

В 2011 году на новом опытном поле ВНИИСС был заложен многолетний полевой опыт с заправкой соломы озимой пшеницы и ячменя в паровом звене зернопаропропашного севооборота (пар – озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень). Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый малогумусный на покровных лессовидных суглинках. Общая площадь полевого опыта составила 1209,6 м², площадь делянки – 75,6 м². Повторность опыта – четырехкратная. Норма внесения соломы – 4-5 т/га (при оставлении соломы в поле после уборки зерновых культур из расчета ее средней урожайности), азотного удобрения – 40 кг д.в./га, питательной добавки (ПД). В качестве питательной добавки применяли патоку, которая была использована при разведении 1 : 1000. Расход рабочей жидкости – 200 л/га. Целлюлозолитический микромицет вносили на делянки в виде инокулюма (344 тыс. КОЕ/м²), предварительное компостирование проводили согласно методу инфицирования почвы. Почвенные образцы отбирали в посевах сахарной свеклы в динамике (май, июль, сентябрь) с глубины 0-15 см. В них был проведен учет численности микроорганизмов различных физиологических, таксономических и эколого-трофических групп методом высева почвенной суспензии разной степени разведения на селективные питательные среды [7,10].

Была установлена активность ферментов, принимающих участие в процессах синтеза-распада гумуса и азотного обмена [11].

Результаты и обсуждение

Знание показателей биологической активности почв приобретает особое значение при переходе на экологически безопасные методы ведения сельского хозяйства.

Развитие зимогенных микроорганизмов связано с увеличением концентрации органических веществ. Зимогенная группа микроорганизмов поставляет материалы, из которых синтезируются молекулы гумуса, а также ферменты, катализирующие синтез образующихся молекул [2]. Автохтонные микроорганизмы являются типичными обитателями почвы и присутствуют там всегда. Они активизируют деструкцию гумуса.

Представители этой группы способны обеспечить себя минимумом питательных веществ даже в самых неблагоприятных почвенных условиях. В частности, они могут использовать такое стойкое органическое соединение как гумус [2]. Соотношение зимогенной и автохтонной микрофлоры дает представление о направленности процесса трансформации гумусовых веществ в сторону их синтеза либо распада. В ходе проведенных исследований было установлено, что при внесении в почву с соломой зерновых культур целлюлозолитического микромицета значение этого соотношения в середине вегетационного периода было наибольшим – 4,29 (в контрольном варианте – 3,94, при запашке одной соломы – 3,87, соломы с азотным удобрением – 3,38).

Таблица 1

Численность некоторых групп микроорганизмов в почве

Table 1

The number of certain groups of microorganisms in the soil

Вариант Variant	Соотношение зимогенной и автохтонной микрофлоры The ratio of zymogen and autochthonous microflora	Микромицеты, тыс. КОЕ в 1 г а.с.п. Micromycetes, thousand CFU in 1 g of soil			Актинобактерии, млн. КОЕ в 1 г а.с.п. Actinobacteria, million CFU in 1 g of soil			Целлюлозолитик и, млн. КОЕ в 1 г а.с.п. Cellulolytic microorganisms in the soil, million CFU in 1 g of soil		
		май May	июль July	сентябрь September	май May	июль July	сентябрь September	май May	июль July	сентябрь September
Контроль / without plowing straw	3,94	54,3	31,1	37,1	2,26	1,26	1,36	1,43	2,2 4	2,8 6
Солома / straw	3,87	54,6	47,2	63,5	2,40	1,22	1,39	1,58	2,2 7	2,8 1
Солома+N / straw + N	3,38	83,3	29,9	66,3	3,51	1,18	1,45	1,75	2,1 6	3,7 9
Солома+N+H .fuscoatra / straw + N + H.fuscoatra	4,29	98,2	38,3	50,5	1,03	1,03	1,27	1,78	3,3 9	4,2 3

Микромицеты в почве разрушают труднорастворимые органические вещества, но часть из них могут быть фитопатогенами [2]. Грибы начинают разрушение таких стойких соединений как гумус, лигнин, хитин, дубильные вещества, клетчатка, делая возможным дальнейшее их использование другими организмами. Поэтому важно установить динамику их численности при запашке соломы зерновых культур и других компонентов.

В результате проведенных исследований установлено, что численность микромицетов в мае составила 54,3 тыс. КОЕ в 1 г а.с.п., в июле и сентябре при снижении влажности и увеличении температуры воздуха (ГТК 0,68 и 0,53) количество мицелиальных форм микроорганизмов снижалось на 23,2 и 17,2 тыс. КОЕ соответственно.

При запашке соломы микромицеты в мае и июле практически не изменили свою численность, а в сентябре их число возросло в 1,7 раза относительно контроля. Внесение с соломой азотного удобрения привело к активизации жизнедеятельности

микромикетов в начале вегетационного периода, более резкому снижению их количества в июле. В сентябре их численность была на уровне запашки одной соломы – 66,3 тыс. КОЕ. Дополнительное внесение с соломой зерновых культур штамма микромикета *Humicola fuscoatra* способствовало росту числа микроорганизмов, разрушающих сложные органические соединения в мае: на 44,8% в сравнении с контролем, в июле погодные условия сказались на снижении численности группы микроскопических грибов. В сентябре в связи с тем, что органическое вещество соломы разлагалось быстрее, мицелиальные формы микроорганизмов развивались не так активно, как в начале вегетационного периода, когда было достаточно органического вещества для их питания.

Примерно 30% почвенной микрофлоры представлено актинобактериями. Основная их экологическая роль – разложение органического вещества на поверхности и в толще почвы, благодаря чему они принимают участие в круговороте органических веществ и в углеродном цикле. Более активное развитие актинобактерий свидетельствует о более глубоких минерализационных процессах [2].

Так, в контроле их количество достаточно резко снижалось от мая к июлю со стабилизацией к сентябрю: 2,26; 1,26; 1,36 млн. КОЕ в 1 г а.с.п., что вполне закономерно связано с изменениями температурных условий и влажности почвы. Запашка соломы не привела к достоверным изменениям численности актинобактерий, при использовании соломы с азотным удобрением в мае отмечено увеличение количества актинобактерий – в 1,5 раза относительно контроля. При запашке соломы с целлюлозолитическим микромикетом отмечена самая низкая активность развития этой группы микроорганизмов, что возможно связано с сокращением содержания в почве труднорастворимых соединений.

Процесс распада целлюлозы представляет существенный интерес для познания процесса почвообразования. Хорошо известно, что микроорганизмы, разрушающие целлюлозу растительных остатков, выделяют в окружающую среду внеклеточные слизи (экзополисахариды), а также пигменты, сахара и органические кислоты, которые выполняют ряд важнейших биологических и экологических функций [2,6].

Исследование численности целлюлозолитических микроорганизмов показало следующую динамику: в мае количество их по вариантам не менялось, в середине вегетационного периода оно увеличилось в 1,7 раза в контроле, в 1,4 раза при внесении соломы, в 1,2 раза при использовании соломы с азотом и в 1,9 раза при запашке соломы с целлюлозолитическим микромикетом, в сентябре рост численности целлюлозоразрушающей микрофлоры продолжился до 2,86 млн. КОЕ в контроле, однако внесение соломы в различных вариантах способствовало еще большему увеличению их числа: при использовании соломы + N – на 24,5%, соломы + N + *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016 – на 32,4%.

Жизнедеятельность микрофлоры способствует изменению активности почвенных ферментов. Соотношение полифенолоксидазной активности к пероксидазной характеризует направленность процесса трансформации гумусовых веществ в сторону их синтеза либо деструкции [11].

Так, в мае, июле и сентябре соотношение ПФО/ПО в почве контрольного варианта составило 1,03; 0,81; 0,80. Использование одной соломы снизило условный коэффициент гумификации в мае до 0,77, однако на протяжении последующих наблюдений он был на уровне с контролем. При внесении соломы с азотным удобрением значения коэффициента гумификации не изменились. При запашке соломы с целлюлозолитическим микромикетом, азотным удобрением и питательной добавкой процесс трансформации гумусовых веществ в мае был направлен в сторону синтеза: Кгум. составил 1,35, в июле и сентябре он оставался в пределах 0,85-0,89.

Процесс трансформации азотсодержащих органических соединений, сопровождающийся выделением аммиака и углекислоты, совершается при участии фермента уреазы, которая катализирует распад мочевины в почве [11].

Было установлено, что в июле, с понижением влажности до 12,1%, резко снизилась активность уреазы в 2,7 раза относительно майских значений. Использование соломы сдерживало активность уреазы на одном уровне без значительных колебаний: 2,75; 2,50; 3,25 мг NH₃ в 1 г почвы за 24 часа в мае, июле и сентябре соответственно. Внесение с соломой ячменя целлюлозолитического микромицета привело к росту активности фермента: в мае уреазная активность была 5,00 мг NH₃ в 1 г почвы за 24 часа, что было выше, чем при использовании соломы без дополнительных компонентов в 1,8 раза, в июле произошло ее общее снижение, что, вероятно, способствовало накоплению гидролизуемого и органического азота в почве, в сентябре при увеличении влажности почвы вследствие заделки соломы с дополнительными компонентами способствовало росту активности фермента до 4,50 мг NH₃ в 1 г почвы за 24 часа. Однако в это же время произошло увеличение и уреазной активности и при внесении соломы с азотом – до 5,75 мг NH₃, это косвенно свидетельствует об ускорении деструкции соломы в последнем случае, так как субстрат и продукты его полураспада были использованы диазотрофами в более ранний период.

В посевах сахарной свеклы благодаря поступившим пожнивным остаткам озимой пшеницы (в июле предыдущего года) происходило увеличение фосфатазной активности – в 1,6 раза, летом она снижалась до 3,38 и вновь возрастала в сентябре – 5,00 мг фенолфталеина в 1 г почвы за 1 час. В течение роста сахарной свеклы при внесении одной соломы она продолжала постепенно увеличиваться от 4,63; 5,25 к 5,70 мг фенолфталеина в 1 г почвы за 1 час. Добавление к соломе азотного удобрения способствовало увеличению фосфатазной активности до 6,50 мг. Со снижением влажности почвы в июле падала и активность фермента – 4,38 мг, в сентябре вновь возросла – 6,68 мг фенолфталеина в 1 г почвы. При внесении в почву соломы с целлюлозолитическим микромицетом в мае активность фермента снижалась до 4,01 мг, что ниже, чем при внесении соломы с азотным удобрением на 38,3%. В июле показатели фосфатазной активности по всем вариантам оставались практически на одном уровне. К концу вегетации сахарной свеклы активность фосфатазы составила 6,20 мг фенолфталеина в 1 г почвы за 1 час, что может свидетельствовать о снижении содержания фосфора в связи с использованием его культурой на создание прибавки урожая.

Заключение

В результате исследований установлено, что заделка соломы зерновых культур с целлюлозолитическим микромицетом (*Humicola fuscoatra*), азотом и питательной добавкой способствует созданию благоприятных условий для развития микрофлоры, принимающей участие в трансформации соединений углерода в почве, а именно зимогенной и целлюлозоразрушающей. Использование соломы в качестве органического удобрения вместе с *Humicola fuscoatra* и дополнительными компонентами также способствовало накоплению специфических органических веществ в почве, что происходило за счет того, что специализированный микроорганизм и дополнительные компоненты пролонгируют активное развитие зимогенной микрофлоры в течение всего вегетационного периода. В среднем за сезон ее численность превышала автохтонную микрофлору, а условный коэффициент гумификации составлял 4,29, в то время как в контроле 3,94, при внесении одной соломы 3,87, соломы с азотным удобрением 3,38. Усиление гумификационных

процессов подтверждается и увеличением условного коэффициента гумификации, рассчитанного по соотношению активности ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы. В целом, это может свидетельствовать о положительном влиянии целлюлозолитического микромицета на разложение соломы, так как продукты, образующиеся при ее трансформации, могут быть использованы для синтеза гумусовых веществ почве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дедов А.В. Воспроизводство органического вещества почвы в земледелии ЦЧР: Автореф. дисс... док. с.-х. наук: 06.01.01 / Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. Воронеж, 2000. 40 с.
2. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: МГУ, 2005. 445с.
3. Колесникова М.В., Безлер Н.В., Агапов Б.Л. Формирование плодородия чернозема выщелоченного при интродукции аборигенного штамма целлюлозолитического микромицета и дополнительных компонентов при запашке соломы озимой пшеницы // Агрохимия, 2014. № 8. С. 17–25.
4. Колесникова М.В., Черепухина И.В., Безлер Н.В. Влияние целлюлозолитического микромицета *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016 на некоторые показатели плодородия почвы в посевах сахарной свеклы. Агрохимия, 2018. №4. С. 18-26. DOI: 10.7868/S0002188118040026.
5. Кольбе Г., Штумпе Г. Солома как удобрение. Москва: Изд-во Колос, 1972. 88 с.
6. Лобков В.Т. Почвоутомление при выращивании полевых культур. Москва: Колос, 1994. 112 с.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
8. Русакова И.В. Биопрепараты для разложения растительных остатков в агроэкосистемах // JUVENIS SCIENTIA. 2018. №3. С. 4-9. (DOI: 10.32415/jscientia.2018.09.01).
9. Русакова И.В. Влияние длительного применения соломы и минеральных удобрений на биологические свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2017. №8. С. 16-24. (DOI: 10.7868/S0002188117080026).
10. Теттер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева В.К. Практикум по микробиологии: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.К. Шильниковой. М.: Дрофа, 2004. 256 с.
11. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. Москва: Наука, 2005. 189 с.

REFERENCES

1. Dedov A.V. *Reproduction of soil organic matter in the Central Chernozem agriculture*. Voronezh State Agrarian University n.a. K.D. Glinka. Voronezh, 2000. 40 p [In Russian].
2. Zvyagintsev D.G., Babieva I.P., Zenova G.M. *Soil biology*. Moscow: Moscow State University, 2005. 445 p [In Russian].
3. Kolesnikova M.V., Bezler N.V., Agapov B.L. Formation of fertility of leached chernozem during the introduction of aboriginal strain of cellulolytic micromycete and additional components in the plowing of winter wheat straw. *Agrochemistry*. 2014. 8: 17–25 [In Russian].

4. Kolesnikova M.V., Cherepukhina I.V., Bezler N.V. The effect of cellulolytic micromycete *Humicola fuscoatra* VNIISS 016 on some indicators of soil fertility in sugar beet. *Agrochemistry*. 2018. 4: 18-26 [In Russian]. DOI: 10.7868 / S0002188118040026/

5. Kolbe G., Stumpe G. *Straw as a fertilizer*. Moscow: Kolos Publishing House, 1972. 88 p. [In Russian].

6. Lobkov V.T. *Soil disturbance when growing field crops*. Moscow: Kolos, 1994. 112 p. [In Russian].

7. *Methods of soil microbiology and biochemistry* / D.G. Zvyantintsev (Ed.). Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1991. 304 p. [In Russian].

8. Rusakova I.V. Biological products for the decomposition of plant residues in agroecosystems. *JUVENIS SCIENTIA*. 2018. 3: 4-9. DOI: 10.32415 / jscientia.2018.09.01 [In Russian].

9. Rusakova I.V. The effect of long-term use of straw and mineral fertilizers on the biological properties of sod-podzolic soil. *Agrochemistry*. 2017. 8: 16-24. DOI: 10.7868 / S0002188117080026 [In Russian].

10. Tepper E.Z., Shil'nikova V.K., Pereverzeva V.K. Workshop on Microbiology: A manual for universities / V.C. Shilnikova (Ed.). Moscow: Drofa, 2004. 256 p [In Russian].

11. Khaziev F.Kh. *Methods of soil enzymology*. Moscow: Nauka, 2005. 189 p. [In Russian].

Cherepukhina I.V., Bezler N.V., Gromovik A.I. Biological activity of leached chernozem when using grain crop's straw as a fertilizer // Works of the State Nikit. Botan. Gard. – 2019. – Vol.148. – P. 117-123.

Abstract. Aim. To compensate for the loss of organic matter in leached chernozem chernozem, it seems possible to use straw of grain crops as organic fertilizer. To accelerate its decomposition and the involvement of decay products into the circulation of elements, it is necessary to use additional components, in which microbiological preparations can be used, however, native strains must be found for each specific soil type to prevent disturbances of the microbial community due to the introduction of alien species. The aim of the research was to study the biological activity of leached chernozem when plowing straw of cereals with cellulolytic micromycete (*Humicola fuscoatra* VNIISS 016). **Methods.** The experiment was laid on leached chernozem, in the fall plowing of winter wheat and barley straw was carried out in the steam link of the grain-crop rotation (steam - winter wheat - sugar beet - barley). Studies of the microbial community and biochemical activity were carried out in sugar beet crops. **Results.** As a result of the research it was found that the use of cellulolytic micromycete contributes to an increase in the number of certain groups of soil microorganisms in connection with the intake of fresh organic matter. There is also an increase in the conditional coefficient of humification, calculated from the ratio of zymogenic and autochthonous microflora. The value of this ratio was the highest - 4.29 (in the control variant - 3.94, when plowing one straw - 3.87, straw with nitrogen fertilizer - 3.38). The same trend was observed when comparing the activity of the enzymes polyphenol oxidase and peroxidase, on average over the growing season Kgum. control was 0.88, and when using straw and *H.fuscoatra* 1.03. This may indicate that when plowing straw with cellulolytic micromycete favorable conditions develop for the development of soil microflora, as a result of which the soil's biochemical activity remains at a higher level.

Key words: cereal straw; cellulolytic micromycete (*Humicola fuscoatra* VNIISS 016); soil microflora; soil enzymatic activity.