

и сроков внесения минеральных и органических удобрений, по известкованию кислых почв, поддержанию в почве бездефицитного баланса органического вещества на экономически обоснованном уровне.

Литература

1. *Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство* /Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова) -М.: Росинформагротех, 2005. – 784 с.
2. Берестень Н.П. Влияние переувлажнения и биологической активности дерново-подзолистых почв на использование растениями азота и фосфора// Автореф. дис... канд. с.-х. наук. –Л., 1969. – 24 с.
3. Иванов А.Л., Завалин А.А. и др. Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия: инструк-

тивно-методическое издание /Под. ред А.Л. Иванова, Л.М. Державина). -М.: Росинформтех, 2010. – 464 с.

4. Кулаковская Т.Н., Детковская Л.П. К методике разработки балансовых систем удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых почвах /Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. - М.: Колос, 1975. - С. 245-249.
5. *Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия* /Под ред. А.Н. Каштанова, А.П. Щербакова, Г.Н. Черкасова. -Курск, Тверь, 2001. - С.10.
6. Митрофанов Ю.И., Бондарь В.И. Гидрологический режим и плодородие минеральных осушенных почв на двучленных отложениях /Сб. научных трудов ВНИИМЗ. Комплексное окультуривание и сельскохозяйственное использование мелиорированных земель. - Калинин, 1988.
7. Научно обоснованные критерии оценки эффективного плодородия осушаемых земель. Методическое пособие. - Тверь: Тверской печатник, 2014. - 41 с.

SOIL-AGROCHEMICAL DIVERSITY OF RECLAIMED AGROLANDSCAPES IN THE NONCHERNOZEMIC ZONE

Yu.I. Mitrofanov, O.N. Antsiferova, L.V. Pugacheva, V.N. Lapushkina

All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (FGBNU VNIIMZ),

Emmaus, 27, Kalinin district, Tver oblast 170530 Russia, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

The paper presents results of studies on the soil-landscape diversity of drained lands under the conditions of terminal moraine ridges in the northwestern part of the Nonchernozemic zone. It is established that the lithological heterogeneity of soil-forming rocks and the degree of hydromorphism of the soil profile are the main factors that differentiate the soil cover. The spatial diversity of the agrochemical properties of soils is largely determined by the spatial dynamics of the water regime of reclaimed agrolandscapes. The water regime of the soil has a great influence on its nutrient regime, the content and dynamics of nutrients, their accessibility to plants, the efficiency of fertilizers, etc. The differentiated use of technological areas with contrasting agrochemical properties contributes to more targeted solutions of tasks related to the reproduction of soil fertility, the optimization of doses and timing of the application of mineral and organic fertilizers, the liming of acidic soils, and the maintenance of balanced budget of organic matter in the soil on an economically justified level.

Keywords: drained land, soil cover, differentiation, water-air regime, agrochemical properties, nitrogen, yield.

УДК 631.871:631.461.61

СОЛОМА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР КАК ФАКТОР, СПОСОБСТВУЮЩИЙ УЛУЧШЕНИЮ ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ

И.В. Черепухина, Н.В. Безлер,

ВНИИ сахарной свёклы и сахара им. А.Л. Мазлумова,

Воронежский ГУ

396030, Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС

e-mail: icherepukhina@gmail.com

*Установлено в результате проведенных исследований, что использование соломы двух видов зерновых культур (озимой пшеницы и ячменя) совместно с азотным удобрением, целлюлозолитическим микромицетом *Niticola fuscoatra* (ВНИИСС 016) и питательной добавкой (патокой) в зернопаропропашном севообороте (в соответствии с ротацией) трансформирует процессы цикла углерода в почве. Отмечены увеличение численности почвенной микробиоты, принимающей участие в синтезе гумусовых веществ, активизирование ферментативных процессов, что в итоге способствует накоплению гумусовых веществ в почве.*

*Ключевые слова: целлюлозолитический микромицет *Niticola fuscoatra* (ВНИИСС 016), микробиологическая активность, ферментативная активность, процесс гумификации, синтез гумуса.*

Для поддержания естественного плодородия почвы при интенсивном ее использовании большое значение имеет восстановление запасов гумуса, который достаточно быстро разлагается микрофлорой почвы, получающей высокие дозы минеральных удобрений [1].

Наиболее ценными источниками гумусовых веществ являются углеводы, белки, лигнины, липиды, дубильные вещества, воска и смолы [2-4]. Именно этими ве-

ществами богата солома зерновых культур: в ячменной содержится (%) 32,9 целлюлозы, 18,7 – лигнина, 21,5 составляют пентозаны и гемицеллюлоза, 3,7 – сырой протеин, 1,4 – декстрины, 5,6 – зола. В соломе озимой пшеницы (%): 34,3 целлюлозы, 21,7 пентозанов и гемицеллюлозы, 21,2 составляет лигнин, 3,0 – сырой протеин, 0,7 – декстрины, 4,3 зола [4, 5].

Эффективность соломы как органического удобрения возрастает при внесении ее с минеральным азотом. Это объясняется тем, что при поступлении соломы в почву происходит биологическое закрепление азота и возделываемые растения испытывают недостаток этого элемента. В дальнейшем, по мере разложения органического вещества соломы, азот становится доступным растениям [6].

Кроме того, разложение соломы может затягиваться на несколько лет, что отрицательно сказывается на продуктивности культур, из-за выделяющихся при ее трансформации токсичных веществ. В связи с этим, помимо минерального азотного удобрения, необходимо дополнительное использование средств, повышающих скорость деструкции солоmistых остатков, в качестве которых могут быть использованы эффективные штаммы целлюлозолитических микроорганизмов. В 2001 г.

из почвы нового опытного поля ВНИИСС в лаборатории эколого-микробиологических исследований почв был выделен аборигенный штамм целлюлозолитического микромицета *Humicola fuscoatra* (ВНИИСС 016). Лабораторные и полевые опыты показали его положительное влияние на ускорение деградации соломы озимой пшеницы [7,8].

Методика. В 2011 г. в паровом звене зернопаропропашного севооборота (1 – пар; 2 – озимая пшеница; 3 – сахарная свекла; 4 – ячмень) был заложен многолетний полевой опыт по изучению трансформации соломы двух видов зерновых культур: озимой пшеницы и ячменя. В 2012 и 2014 гг. в двух полях звена была запахана солома в соответствии с ротацией. Площадь опытного участка составляет 1209,6 м², каждой делянки – 75,6 м². Норма внесения соломы – 4 т/га, азотного удобрения – 40 кг д.в./га, питательной добавки (ПК – 1:1000) – 200 л/га, целлюлозолитический микромицет вносили на делянки в виде инокулюма.

Почвенные образцы отбирали в посевах сахарной свеклы в динамике (май, июль, сентябрь) с глубины 0-15 и 15-30 см. В них учитывали численность микроорганизмов различных физиологических, таксономических и эколого-трофических групп методом высева почвенной суспензии разной степени разведения на селективные питательные среды. Автохтонную микрофлору учитывали на нитритном агаре, зимогенную – расчетным методом по сумме численности иммобилизаторов и аммонификаторов. Была установлена активность ферментов, принимающих участие в процессах синтеза-распада гумуса: полифенолоксидазы и пероксидазы [9,10]. По методике Тюрина определено содержание гумуса в почве. Оптическую плотность гуминовых кислот определяли по методике Д.С. Орлова [11].

Результаты и их обсуждение. Зимогенные микроорганизмы – типичные обитатели почвы, присутствующие в ней всегда. Их развитие связано с увеличением концентрации органических веществ. Зимогенная группа микроорганизмов поставляет материалы, из которых синтезируются молекулы гумуса, а также ферменты, катализирующие этот процесс [6,12].

Деградацию гумуса активизирует автохтонная микрофлора, которая использует гумусовые вещества в качестве источника углерода и энергии [12].

Соотношение численности зимогенной и автохтонной групп микроорганизмов в определенной степени отражает направленность процесса гумификации: чем шире это соотношение, тем активнее процессы синтеза гумусовых веществ (рис. 1).

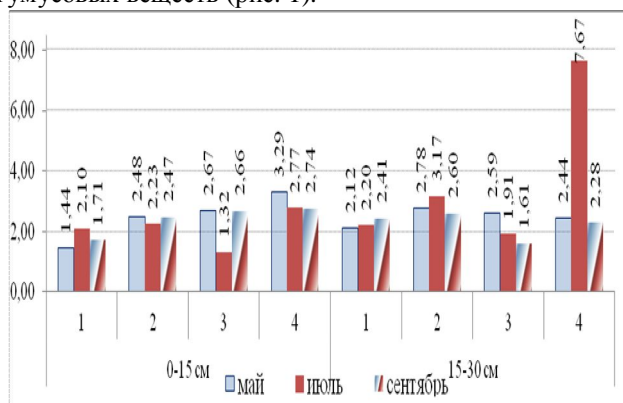


Рис. 1. Соотношение численности зимогенной и автохтонной микрофлоры в почве:

1 – контроль; 2 – солома; 3 – солома + N;
4 – солома + N + *Humicola fuscoatra* (ВНИИСС 016) + ПК

В результате проведенных исследований установлено, что в слое почвы 0-15 см в середине вегетационного периода происходит активизация процесса гумусообразования. Соотношение численностей зимогенной и автохтонной групп микроорганизмов увеличивается от 1,44 в мае, до 2,10 в июле и снижается до 1,71 в сентябре. Внесение одной соломы способствовало увеличению соотношения этих групп микроорганизмов, а процесс трансформации гумусовых веществ стабилизировался практически на одном уровне в течение всех трех сроков наблюдения. Запашка соломы с азотом в мае и сентябре не вызвала значительных изменений величины условного коэффициента гумификации, но в июле он снизился на 31,7%. Использование целлюлозолитического микромицета *Humicola fuscoatra* (ВНИИСС 016), азотного удобрения и питательной добавки с соломой зерновых культур привело к повышению активности синтеза гумуса, на что указывает увеличение соотношения зимогенной и автохтонной микрофлоры, которое было выше контроля в мае на 56,2%, в июле – на 24,2, а в сентябре – на 37,6%.

В слое 15-30 см соотношение этих групп микроорганизмов возросло в начале и конце вегетационного периода, в середине оставалось таким же как и в верхнем слое почвы. При внесении соломы отношение численности зимогенной к автохтонной микрофлоре в июле было выше контроля в 1,44 раза. При использовании соломы вместе с азотным удобрением темпы гумификационных процессов снижались от мая к сентябрю, а осенью было отмечено самое низкое соотношение зимогенной и автохтонной микрофлоры за весь период наблюдений – 1,61. Запашка соломы с дополнительными компонентами к середине вегетации сахарной свеклы, при сочетании оптимальных условий температуры и увлажнения, в значительной степени повлияла на рост группы микроорганизмов, участвующей в синтезе гумусовых веществ в почве, при этом условный коэффициент гумификации составил 7,67.

Активность ферментов в почве зависит от жизнедеятельности микрофлоры. Процессы синтеза гумуса катализируют полифенолоксидазы за счет окисления моно-, ди-, трифенолов, образующихся в процессе распада растительных остатков (в том числе соломы) до хинонов в присутствии кислорода воздуха и конденсации последних с продуктами жизнедеятельности микроорганизмов (аминокислотами и пептидами) в результате чего формируются первичные молекулы гумусовых веществ.

С автохтонной микрофлорой связаны пероксидазы, которые осуществляют окисление органических веществ почв за счет кислорода пероксида водорода и других органических пероксидов, образующихся в почве в результате жизнедеятельности микроорганизмов и действия некоторых оксидаз. Таким образом, они оказывают влияние на процесс минерализации гумуса [10,12,13].

Другим принципом кинетики гумификации является скорость процесса, которая практически пропорциональна ферментативной активности. Чем выше интенсивность биохимических преобразований, тем с большей скоростью минерализуются наиболее доступные микроорганизмам вещества, а также лабильные фрагменты макромолекул гумусовых кислот [13].

Таким образом, соотношение полифенолоксидазной активности к пероксидазной ($K_{гум.}$) может характеризовать

вать направленность процесса трансформации гумусовых веществ в сторону их синтеза либо деструкции.

Так, в слое почвы 0-15 см в мае, июле и сентябре соотношение ПФО/ПО в контрольном варианте составило, соответственно, 1,09; 0,89; 0,99, что свидетельствует о снижении темпов синтеза гумусовых веществ и превалировании процессов его деструкции. При использовании соломы коэффициент гумификации составил в мае 0,71, однако в последующем он установился на уровне единицы, т.е. процесс находился в равновесном состоянии (табл.1).

1. Динамика коэффициента гумификации по соотношению ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы

Вариант опыта	Глубина, см	Срок наблюдений		
		май	июль	сентябрь
Контроль	0-15	1,09	0,89	0,99
Солома		0,71	1,08	1,15
Солома+N		1,01	0,97	1,01
Солома+N+ц.м.+ПК		<u>1,60</u>	1,00	1,05
Контроль	15-30	1,00	1,02	1,13
Солома		0,81	0,99	0,81
Солома+N		1,23	1,01	1,07
Солома+N+ц.м.+ПК		<u>1,42</u>	<u>1,38</u>	<u>2,04</u>

Запашка соломы, целлюлозолитического микромицета, азотного удобрения и питательной добавки (патоки) способствовала активизации гумификационных процессов: $K_{гум.}$ в мае составил 1,60, в июле и сентябре, соответственно, 1,00 и 1,05. Это отражало и скорость деструкции соломы, которая наблюдалась в более ранние сроки.

В слое почвы 15-30 см на контроле условный коэффициент гумификации оставался на уровне единицы на протяжении всего периода вегетации сахарной свеклы. Внесение соломы способствовало его снижению в среднем за сезон на 17,1%. Запашка соломы с азотным удобрением привела к смещению процессов, происходящих в почве в сторону синтеза гумусовых веществ. Однако, накопление гумусовых веществ идет значительно быстрее при использовании целлюлозолитического микромицета для разложения соломы. Так, отношение полифенолоксидазной активности к пероксидазной превышало контроль на 34,9%, использование одной соломы - на 46,1 и соломы с азотным удобрением - на 31,7%.

Результаты исследований показали, что содержание гумуса в слое почвы 0-15 см несколько снижалось в середине вегетационного периода (5,17%), но в мае и сентябре оставалось на уровне 5,38% (рис. 2). При использовании соломы количество гумусовых веществ увеличивалось к концу вегетации культуры с 5,22 до 5,48%. Заделка в почву соломы с азотным удобрением способствовала снижению содержания гумуса относительно контроля: в мае – на 0,21%, а в июле этот показатель стабилизировался. Использование целлюлозолитического микромицета *Humicola fuscoatra* (ВНИИСС 016) для ускорения разложения соломы положительно влияло на накопление гумуса в почве: в мае его содержание было выше контроля на 0,05%, в июле - на 0,26, а в сентябре – на 0,41% (абсолютных).

В слое почвы 15-30 см эта закономерность сохранялась. А совместная запашка соломы зерновых культур с аборигенным штаммом целлюлозолитического микромицета в наибольшей мере способствовала увеличению содержания гумуса в почве (до 5,57% в среднем за сезон).

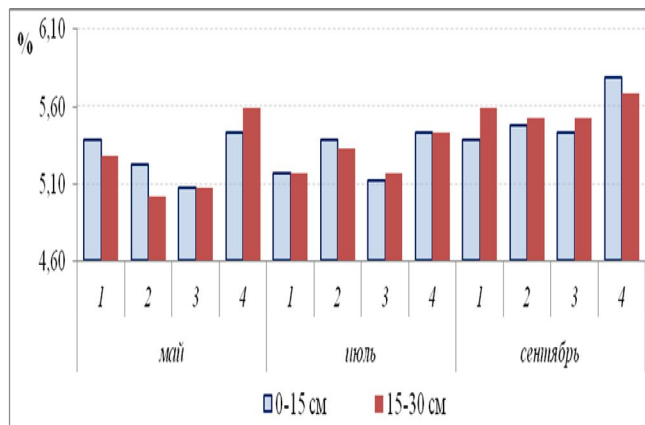


Рис. 2. Содержание гумуса в почве под сахарной свеклой (HCP_{05} 0-15 см = 0,144; 15-30 см = 0,135): 1 – контроль; 2 – солома; 3 – солома + N; 4 – солома + N + *Humicola fuscoatra* (ВНИИСС 016)+ПК

Для изучения закономерностей изменения состава органического вещества недостаточно сведений только о процессах накопления общего углерода или гумуса, необходимы также исследования качественного состава органического вещества, его оптических характеристик, позволяющих установить степень сформированности молекул гуминовых кислот [11,15,16]. Для этого был проведен анализ гуминовых кислот по электронным спектрам поглощения в ультрафиолетовой и видимой областях (рис. 3А). Электронные спектры поглощения гумусовых кислот, выделенные в щелочных почвенных вытяжках во всех вариантах с глубины почвы 0-15 см, представляют собой пологие кривые без видимых максимумов поглощения и имеют сходный характер. В пределах ультрафиолетовой и видимой частей спектра оптическая плотность гуминовых кислот увеличивается от контроля и варианта с использованием одной соломы и соломы с азотным удобрением, где практически не заметна разница относительно применения целлюлозолитического микромицета.

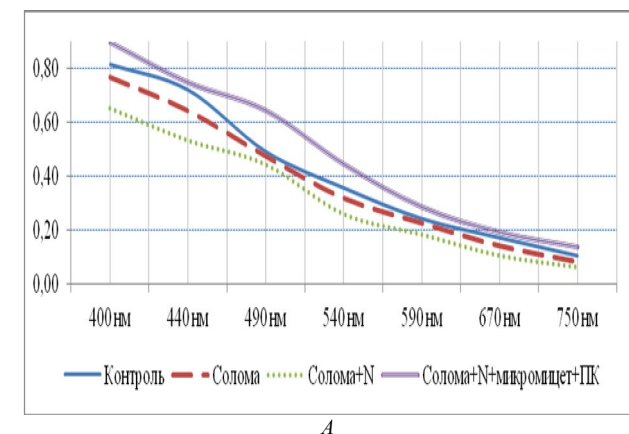
На глубине 15-30 см при использовании соломы и дополнительных компонентов оптическая плотность была значительно выше, чем в остальных вариантах (рис. 3 Б).

Распределение величин оптических плотностей по длинам волн характеризуют коэффициентами цветности или крутизной спектрофотометрической кривой. Коэффициентами цветности называют отношение величин E_{465}/E_{650} . Е-величины характеризуют природу гумусовых веществ, т.е. степень их конденсированности или зрелости.

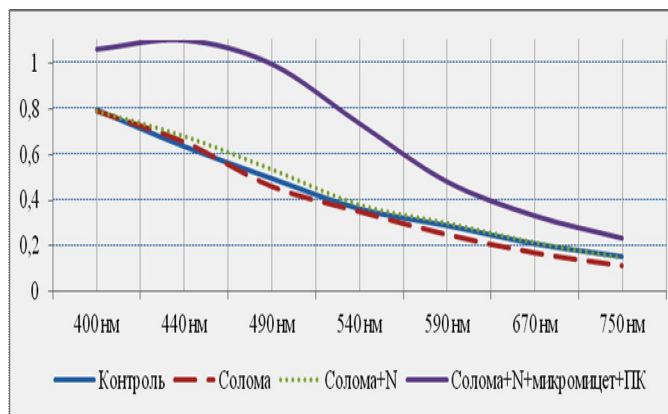
Коэффициент цветности (табл. 2) хорошо согласуется со спектрофотометрическими кривыми: чем выше располагается спектрофотометрическая кривая гуминовой кислоты, тем ниже коэффициент ее цветности (экстинкции).

Более низкий коэффициент цветности и более высокая их оптическая плотность свидетельствуют об увеличении степени сформированности гуминовых кислот в варианте с использованием целлюлозолитического микромицета для разложения соломы зерновых культур.

Отмечено, что при использовании соломы с целлюлозолитическим микромицетом на глубине 0-15 см коэффициент экстинкции был ниже контроля на 7,3% и составил 3,94, а на глубине 15-30 см - на 18,4% и равен 3,33.



А



Б

Рис. 3. Оптическая плотность гуминовых кислот в почве под сахарной свеклой в слоях: А 0-15 см, Б 15-30 см

2. Коэффициент цветности (E_{465}/E_{650}).

Вариант опыта	Глубина отбора образца	
	0-15 см	15-30 см
Контроль	4,25	4,08
Солома	4,62	3,88
Солома + N	5,07	3,37
Солома + N + ц.м. + ПК	3,94	3,33

Таким образом, установлено, что заплата соломы озимой пшеницы и ячменя с целлюлозолитическим микромицетом, азотом и питательной добавкой в зер-

нопаропропашном севообороте способствует созданию благоприятных условий для развития микрофлоры, принимающей участие в трансформации соединений углерода. При этом отмечены повышение активности полифенолоксидазы и снижение активности пероксидазы, что в результате способствовало синтезу гумусовых веществ в почве. Это подтверждается увеличением содержания гумуса в почве уже в весенний период как в слое 0-15 см, так и на глубине 15-30 см.

Литература

1. Щербаков А.П. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ / А.П. Щербаков, И.Д. Рудай. – М.: Колос, 1983. – 189 с.
2. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. Эволюция почв / Ф. Дюшофур. – М.: Прогресс, 1970. – 592 с.
3. Кирюшин Б.Д. Разложение органических соединений в почве и образование гумуса / Б.Д. Кирюшин // Сельское хозяйство за рубежом. – 1981. – № 3. – С. 11-16.
4. Туев Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования / Н.А. Туев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 236 с.
5. Кольбе Г. Солома как удобрение / Г. Кольбе, Г. Штумпе. – М.: Колос, 1972. – 88 с.
6. Мишустин Е.Н. Использование соломы в качестве удобрения / Е.Н. Мишустин. – Почвоведение. – 1971. – №8. – С. 49-54.
7. Колесникова М.В. Формирование плодородия чернозема выщелоченного при интродукции аборигенного штамма целлюлозолитического микромицета и дополнительных компонентов при заплата соломы озимой пшеницы / М.В. Колесникова, Н.В. Безлер, Б.Л. Агапов // Агрохимия. – 2014. – №8. – С. 17-25.
8. Безлер Н.В. Заплата соломы ячменя и продуктивность культур в зернопаропропашном севообороте / Н.В. Безлер, И.В. Черепухина // Земледелие. – 2013. – №4. – С. 11-13.
9. Теплер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теплер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. – М.: Дрофа, 2004. – 255 с.
10. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д.Г. Звягинцев, И.В. Асеева, И.П. Бабьева, Т.Г. Мирчинк. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 224 с.
11. Орлов Д.С. Практикум по биохимии гумуса / Д.С. Орлов, Л.А. Гришина, Н.Л. Ерошичева. – М.: Изд-во МГУ, 1969. – 159 с.
12. Руссель С. Микроорганизмы и жизнь почвы / С. Руссель. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
13. Верниченко Л.Ю. Влияние соломы на почвенные процессы и урожай сельскохозяйственных культур / Л.Ю. Верниченко, Е.Н. Мишустин // Использование соломы как органического удобрения, 1980. – С. 3-24.
14. Зезюков Н.И. Сохранение и повышение плодородия черноземов / Н.И. Зезюков, В.Е. Острцов. – Воронеж: Центрально-Черноземное книжное изд-во. – 1999. – 312 с.
15. Середина В.П. Исследование процессов формирования органического вещества в нарушенных при угледобыче почвах / В.П. Середина, Т.П. Алексеева, Л.Н. Сысоева, Н.М. Трунова, Т.И. Бурмистрова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2012. – №1. – С. 17-31.
16. Раупова Н.Б. Физико-химические свойства гуминовых кислот типичных сероземов / Н.Б. Раупова, Г.С. Содикова, Н. Сагдуллаева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 7. – С. 26-28.

STRAW OF GRAIN CROPS AS A FACTOR IMPROVING THE HUMIC STATUS OF SOIL

I.V. Cherepukhina, N.V. Bezler

Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, VNISS, Ramon district, Voronezh oblast, 396030 Russia
Voronezh State University, pl Universitetskaya 1, Voronezh, 394006 Russia, e-mail: icherepukhina@gmail.com

It has been found that the use of straw of two grain crops (winter wheat and barley) together with cellulolytic micromycete (*Humicola fuscoatra* (ВНИИСС 016)), nitrogen fertilizer, and nutrient additive (molasses) in a grain-row crop rotation transforms the processes of carbon cycle in the soil. An increase in the abundance of soil microbiota participating in the synthesis of humic substances was noted; enzymatic processes became more active, which finally led to the accumulation of total humic matter in the soil.

Keywords: cellulolytic micromycete, microbiological activity, enzyme activity, humification, humus synthesis.