

УДК 631.461:631.872

ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ СОЛОМЫ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Русакова И.В.

*ФГБНУ «Всероссийский НИИ органических удобрений и торфа», Владимир,
e-mail: rusakova.iv@yandex.ru*

В полевом опыте изучено влияние длительного использования соломы и минеральных удобрений в зернопропашном севообороте на состояние микробного сообщества дерново-подзолистой супесчаной почвы в сравнении с длительно парующей почвой и залежью. Определена численность эколого-трофических групп микроорганизмов, содержание микробной биомассы, рассчитаны коэффициенты минерализации, олиготрофности и олигонитрофильности, микробный фактор. Установлено, что в пахотной почве севооборота наиболее благоприятные условия для развития и зимогенной, и олиготрофной микрофлоры были созданы при регулярном внесении соломы зерновых и зернобобовых культур как в сочетании с минеральными удобрениями, так и без них. В этом варианте в условиях достаточных органических ресурсов, так же как и в залежи, превалировала зимогенная микрофлора. Длительное внесение соломы обеспечило также высокие показатели содержания микробной биомассы и доли ее в общем углероде почвы. Наименьшей численностью всех групп микроорганизмов и максимальными коэффициентами олиготрофности характеризовались почвы пара и севооборота без удобрений. Максимальные значения коэффициента олигонитрофильности и численности олигонитрофилов, значительную часть которых могут составлять diazotrophs, отмечены в залежной почве. Коэффициенты минерализации максимальными были в вариантах без удобрений и с ежегодным внесением минеральных удобрений.

Ключевые слова: микробное сообщество, солома, минеральные удобрения, эколого-трофические группы микроорганизмов, микробная биомасса, экофизиологические коэффициенты

STUDY OF ENVIRONMENTAL STATE OF MICROBIAL COMMUNITY OF SODDY-PODZOLIC SOIL AFTER LONG-TERM APPLICATION OF STRAW AND MINERAL FERTILIZERS

Rusakova I.V.

All-Russian Research Institute of Organic Fertilizers and Peat, Vladimir, e-mail: rusakova.iv@yandex.ru

The field experiment has studied the effect of long standing introduction of straw and mineral fertilizers in grain-grass-row crop rotation on the state of microbial community soddy-podzolic sandy loamy soil as compared to perennial cultivated (bare) fallow soil and long-term uncultivated grass-and-motley deposit. The number of ecological-trophic groups of microorganisms and microbial biomass content have been determined, the coefficients of mineralization, oligotrophy and oligonitrophilicity, and the microbial factor were calculated. Regular application of cereal and legume straw (winter-wheat, lupine and barley) with or without mineral fertilizers, has been found to create the most favorable environment for both zymogenous and oligotrophic microflorae to develop in arable soil of crop rotation. In this treatment, with sufficient organic resources, zymogenous microflora prevailed, the same as in the grass-and-motley deposit land. Regular application of straw has also provided high microbial biomass content and its share in total soil carbon. Cultivated (bare) fallow and crop rotation soils without fertilizers were characterized by the minimum numbers in all microorganism groups and maximum oligotrophicity ratios. Maximum oligotrophicity ratios and the number of oligonitrophils, which may be mainly represented by diazotrophs, have been detected in long-term uncultivated grass-and-motley deposit. Maximum mineralization ratios have been demonstrated in treatments without fertilizers and with annual application by mineral fertilizers.

Keywords: microbial community, straw, mineral fertilizers, ecological-trophic groups of microorganisms, microbial biomass, ecophysiological coefficients

В агроценозах послеуборочные растительные остатки служат субстратом и основным энергетическим и трофическим источником для почвенной микрофлоры, поэтому являются существенным фактором, контролирующим ее деятельность в пахотных почвах. Внесение соломы и минеральных удобрений, обеспечивая дополнительное поступление свежего органического вещества и питательных элементов, в значительной степени может влиять на численность, активность, биомассу, а также структуру и соотношение эколого-тро-

фических групп почвенных микроорганизмов. Почвенная биота очень чувствительна к антропогенным воздействиям, поэтому биологические параметры могут служить показателем состояния агроэкосистем при длительном применении удобрений и использоваться в качестве индикаторов изменений в почве [1].

В мировой науке в качестве индикаторов, отражающих уровень биологической активности и экофизиологическое состояние микробного сообщества, наиболее часто используются показатели численности

эколого-трофических групп микроорганизмов, содержания микробной биомассы, а также соотношения между различными микробиологическими параметрами: коэффициенты минерализации, олиготрофности и олигонитрофильности, микробный фактор, показывающий долю углерода микробной биомассы в общем углероде почвы [2–4].

Для оценки биологических показателей немаловажно иметь ориентиры минимального и максимального их уровня, характерного для конкретных почвенно-климатических условий. Такими ориентирами и эталонами могут служить почвы бессменного пара, зональные целинные или длительно находящиеся в залежи почвы.

Цель исследований: дать оценку экологического состояния микробного сообщества пахотной дерново-подзолистой почвы после длительного внесения соломы и минеральных удобрений в сравнении с бессменным чистым паром (23 года) и 15-летней залежью.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в длительном полевом опыте, заложенном на дерново-подзолистой супесчаной почве на опытном поле ВНИИОУ в 1996 г., в 4-ой ротации зернопропашного севооборота (чередование культур: озимая пшеница, люпин, картофель, ячмень, однолетние травы (люпин + овес). В данной работе рассматривали наиболее контрастные варианты опыта: 1) без удобрений (контроль); 2) N54P51K57 (среднегумусовые дозы) – фон; 3) фон + солома; 4) солома.

Минеральные удобрения вносили ежегодно, солому заделывали в пахотный слой осенью после уборки зерновых и зернобобовых культур (озимой пшеницы, люпина, ячменя) по 3 т/га. Всего за период проведения опыта суммарная доза соломы составила 33 т/га. Исследования проводили под культурой картофеля (2014–2015 гг.), под который была внесена солома предшествующей культуры – люпина. Опыт заложен в 2-х полях с 4-кратной повторностью в пространстве, площадь делянок 42–47 м².

Проводили сравнение биологического состояния почвы севооборота с длительно парующей почвой и многолетней залежью с преимущественно злаковым разнотравьем, которые условно были приняты за стандарты минимальной и оптимальной биологической активности в данных почвенно-климатических условиях.

Для оценки структурного и экофизиологического состояния комплекса почвенных микроорганизмов определяли следующие показатели: численность эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭТГМ) методом учета на соответствующих питательных средах: аммонифицирующих – на мясо-пептонном агаре (МПА), амилотических – на крахмало-амиачном агаре (КАА), целлюлозоразлагающих – на среде Гетчинсона, нитрифицирующих – на водном агаре с аммонийно-магниево-фосфорнокислой солью, олиготрофных – на голодном агаре (ГА); олигонитрофилов – на безазотистой среде Эшби [5]; микробную биомассу (Смик) – регидратационным методом. Рассчитывали коэффициент минерализации

(Км) – как отношение численности микроорганизмов, выросших на КАА, к численности микроорганизмов на МПА (КАА/МПА); коэффициент олиготрофности – как отношение численности микроорганизмов, выросших на ГА, к численности микроорганизмов на МПА (ГА/МПА); коэффициент олигонитрофильности – как соотношение численности микроорганизмов на среде Эшби и МПА [5], микробный фактор – как Смик/Собщ [4].

Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа по программе STATVIVA.

Результаты исследования и их обсуждение

В состав почвенной микрофлоры входят микроорганизмы с различными требованиями к условиям питания и источникам энергии. Зимогенная микрофлора преобладает на начальных стадиях разложения органических субстратов, трансформируя сложные соединения до мономеров, которые становятся доступными для олиготрофов (олигонитрофилов и олигокарбофилов), использующих низкие концентрации питательных веществ. Количественные соотношения между ними зависят от экологических условий, в которых функционирует тот или иной микробный ценоз, главным образом от наличия доступного органического вещества.

По результатам исследований, наиболее благоприятные условия для развития зимогенной микрофлоры (гидролитиков, копиотрофов) были созданы при регулярном внесении соломы как в сочетании с минеральными удобрениями (вариант 3), так и без них (вариант 4). Так, численность аммонификаторов в этих вариантах опыта была даже выше, чем в залежи, в 1,40 и 1,37 раза соответственно. Почва пара, в которую более 20 лет не поступало органического растительного материала, характеризовалась минимальными значениями численности этой группы микроорганизмов. В пахотном слое почвы севооборота без внесения удобрений количество аммонификаторов было выше по сравнению с паром в 1,7 раза, что объясняется ежегодным поступлением корне-пожнивных остатков выращиваемых культур (табл. 1).

Численность амилотических микроорганизмов также максимальной была при многократном внесении соломы в сочетании с минеральными удобрениями и составила 13876 тыс. КОЕ/г почвы, что в 1,41 раза выше, чем в залежи.

Одним из показателей интенсивности минерализационных процессов в почве может служить соотношение микроорганизмов, усваивающих минеральный и органический азот (Км). Судя по значениям Км,

наименее интенсивно минерализационные процессы протекали в длительно парующей почве без поступления доступного органического субстрата, и в варианте с соломой, где в условиях регулярного поступления растительных остатков с высоким отношением С:N минерализация органического вещества заторможена из-за недостатка азота. Более высокие значения Км в агроценозе по сравнению с залежью свидетельствуют о том, что в пахотной почве минерализационные процессы протекают более активно, видимо, из-за ежегодной механической обработки почвы (вспашка, культивация), усиливающей аэробное разложение почвенного органического вещества (табл. 1).

Множественная заделка послеуборочных остатков (соломы) в течение 4-х ротаций севооборота, а также очередное внесение под картофель соломы люпина с высоким содержанием азота обеспечили увеличение численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов в 1,96 и 1,89 раз по сравнению с неудобренным вариантом и вариантом с ежегодным внесением минеральных удобрений соответственно. В вариантах с соломой хорошо развивались нитрифицирующие бактерии, численность которых составила 11,7 и 12,1 тыс. КОЕ/г почвы, что в 1,28 и 1,33 раза выше, чем в залежи, где при отсутствии обработки почвы процессы нитрификации могут быть заторможены из-за менее благоприятных условий аэрации.

Множественная заделка соломы обеспечила самые высокие показатели численности не только зимогенной, но и олиготрофной микрофлоры, составившие 9315 – 9826 тыс. КОЕ/г почвы для олигокарбофилов, 9216–9720 тыс. КОЕ/г почвы для олигонитрофилов. Однако низкие значения коэффициентов олиготрофности – 0,95–0,98 – и олигонитрофильности – 0,92–1,09 – в вариантах с соломой свидетельствуют о превалировании зимогенной микрофлоры при достаточном количестве легкоразлагаемых органических веществ, что характерно также и для залежной почвы. Наиболее высокие коэффициенты олиготрофности – в почве пара и варианта без удобрений, которые испытывают дефицит свежего органического вещества – 1,23 и 1,16 соответственно (табл. 1).

Ежегодное внесение минеральных удобрений, создающее более благоприятные условия азотного питания для микроорганизмов, незначительно увеличило абсолютное количество олигонитрофилов по сравнению с контролем, но при этом коэффициент олигонитрофильности снижался. Наиболее низкие значения этого коэффициента – в вариантах с соломой и минераль-

ными удобрениями. Почва залежи характеризовалась максимальной численностью олигонитрофилов, составившей 12974 тыс. КОЕ/г почвы, что может свидетельствовать о значительном присутствии несимбиотических азотфиксаторов, так как многие олигонитрофилы обладают способностью связывать молекулярный азот. Высокий коэффициент олигонитрофильности – 1,81 – показывает, что экосистема залежи наиболее приближена к равновесному состоянию.

Почвенная микробная биомасса это часть органического вещества почвы, состоящая из живых микроорганизмов. При относительно невысокой доле Смик в общем содержании почвенного органического углерода (1–6%), микробная биомасса характеризуется быстрым ростом и оборачиваемостью, активным участием в биологическом круговороте, высокой чувствительностью кантропогенным воздействиям (изменению землепользования, внесению удобрений и др.) [6–8]. В сельскохозяйственных почвах большое влияние на запасы и активность микробиомассы оказывают способы управления, в том числе количество и качество поступающего в почву органического вещества [7, 8]. Почвы пашни, как правило, обеднены микробной биомассой по сравнению с естественными экосистемами и залежами по причине отчуждения части фитомассы [6]. Как правило, существует достаточно близкая линейная зависимость между микробной биомассой и содержанием органического вещества. В почвах с большим ежегодным поступлением растительного материала формируется больше микробной биомассы на единицу органического вещества [9]. В полевом опыте наиболее высокое значение Смик, составившее 410 мг/кг почвы, отмечено при многократном применении соломы на фоне минеральных удобрений. В литературе имеется достаточно много доказательств роста Смик при использовании соломы на удобрение, в то время как минеральные удобрения, как правило, не оказывают заметного положительного влияния на величину микробной биомассы, некоторое повышение может происходить за счет увеличения массы корне-поживных остатков [10].

Согласно полученным результатам, минимальным содержанием Смик было в длительно парующей почве – 148 мг/кг почвы (в 2,3 раза меньше, чем в варианте без удобрений), максимальным в залежи – 650 мг/кг почвы (табл. 2). Исследуемые почвенные экосистемы различались по содержанию органического углерода, которое было минимальным в бессменном пару – 0,295%,

максимальным в залежи – 0,849%. Варианты опыта занимали промежуточное положение, содержание Сорг в пахотном слое увеличивалось с 0,463% в варианте без удобрений, до 0,545–0,568% при многолетнем внесении соломы. Содержание Смик тесно коррелировало с содержанием почвенного органического углерода, значение коэффициента корреляции составило 0,99.

Доля углерода микробной биомассы в общем содержании органического углерода, или микробный фактор (Смик/Сорг), рассматривается как индикатор доступности субстрата для почвенных микроорганизмов. Повышение его значения указывает на закрепление углерода в микробной биомассе.

В данном исследовании многократное внесение соломы способствовало обогащению почвенного органического вещества микробным углеродом и увеличению доли Смик в Сорг до 6,92–7,22% (табл. 2). При смене землепользования и перево-

де пахотной почвы в залежь увеличилось как содержание Смик – до 650 мг/кг, так и доля его в составе почвенного углерода – до 7,66%. Доля микробной биомассы в составе гумуса уменьшалась в ряду: залежь – фон + солома – солома – без удобрений – минеральные удобрения – пар. В научной литературе подтверждается, что в почвах с более высоким ежегодным поступлением растительного материала формируется больше микробной биомассы на единицу органического вещества [9]. Этот экофизиологический коэффициент (Смик/Сорг) обычно связывают с устойчивостью микробного сообщества и почвы в целом. На примере исследованного ряда отчетливо видно, что устойчивость комплекса почвенных микроорганизмов возрастает с увеличением входа органического вещества. В научной литературе также подтверждается, что увеличение входа органического вещества способствует увеличению этого коэффициента [9, 10].

Таблица 1

Численность ЭТГМ и экофизиологические коэффициенты

Вариант	Численность, тыс. КОЕ/г почвы						Км	Коэффициент олиготрофности	Коэффициент олигонитрофильности
	Аммонифицирующие	Амилолитические	Целлюлолитические	Нитрификаторы	Олиготрофы				
					Олигонитрофилы	Олигокарбофилы			
1. Без удобрений	5688	8873	32,2	5,2	6939	6600	1,56	1,16	1,22
2. НРК-фон	7344	10486	36	6,9	7848	7564	1,43	1,03	1,07
3. Фон + солома	10046	13786	67,9	12,1	9216	9826	1,37	0,98	0,92
4. Солома	9790	10725	63	11,7	9720	9315	1,10	0,95	1,09
5. Пар	3332	3668	22,6	3,7	4232	4098	1,10	1,23	1,27
6. Залежь	7168	9781	52,3	9,1	12974	7025	1,36	0,98	1,81

НСР₀₅ 1256 1830 14 3,3 1524 1320

Таблица 2

Содержание микробной биомассы и микробный фактор

Вариант	Смик, мг/кг	Смик/Сорг
1. Без удобрений	316 ± 24	6,83
2. НРК-фон	337 ± 35	6,53
3. Фон + солома	410 ± 31	7,22
4. Солома	377 ± 17	6,92
5. Пар	148 ± 12	5,02
6. Залежь	650 ± 66	7,66

Примечание. В таблице приведены средние величины показателей и их стандартные отклонения (±).

Заключение

Проведенное исследование позволило установить, что регулярная заделка соломы способствовала увеличению численности не только зимогенной, но и олиготрофной группы почвенных микроорганизмов, однако коэффициенты олиготрофности и олигонитрофильности в этих вариантах были ниже за счет относительно более высокой численности микроорганизмов-копиотрофов, активно растущих при обогащении почвы доступным органическим веществом. Высокие показатели численности микроорганизмов, использующих минеральные формы азота (на ср. КАА), и коэффициента минерализации при ежегодном внесении минеральных удобрений могут свидетельствовать о превалировании минерализационных процессов над аккумулятивными, что не способствует закреплению органического вещества в почве. Залежь по сравнению с пахотной почвой представляет более устойчивую систему, микробное сообщество которой эффективнее расходует органическое вещество, в большей степени секвестрирует его в микробной биомассе, что способствует его сохранению в почве. Длительно парующая почва, находясь в условиях ограниченности ресурсов для роста микроорганизмов, представляет в микробиологическом отношении олиготрофную экосистему с низкими значениями всех измеренных биологических показателей. В севообороте наиболее благоприятные условия для микробного сообщества, способствующие повышению его устойчивости и накоплению органического вещества, складываются при систематической заделке

соломы зерновых и зернобобовых культур на фоне ежегодного внесения средних доз минеральных удобрений.

Список литературы

1. Гомонова Н.Ф., Зенова Г.М. Микроорганизмы как показатели состояния агроэкосистемы при длительном применении комплекса удобрений и в их последствии // Экологическая агрохимия. Изд. МГУ им. М.В. Ломоносова. – 2008. – С. 140–151.
2. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Рыжова И.М., Бочарникова Е.О., Стольникова Е.В. Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокси углерода дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов и коренных ельников южной тайги (Костромская область) // Почвоведение. – 2009. – № 9. – С. 1108–1116.
3. Балашов Е.В., Бучкина Н.П., Рижия Е.Я. Биологические показатели окультуренности почвы при внесении навоза и растительных остатков // Плодородие. – 2009. – № 4. – С. 25–26.
4. Anderson T.-H., Domsch K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils // Soil Biology and Biochemistry. 1989. V. 21. I. 4. P. 471–479.
5. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. – Н.-Новгород, 2012. – 64 с.
6. Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г. Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв // Почвоведение. – 2005. – № 6. – С. 706–714.
7. Kaschuk G., Alberton O., Hungria M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability // Soil Biol. Biochem. 2010. V. 42. P. 1–13.
8. Powlson D., Xu J., Brookes P. Through the Eye of the Needle – The Story of the Soil Microbial Biomass // Microbial Biomass: A Paradigm Shift in Terrestrial Biogeochemistry. – 2017. – С. 1–40.
9. Благодатская Е.В., Семенов М.В., Якушев А.В. Активность и биомасса почвенных микроорганизмов в изменяющихся условиях окружающей среды. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. – 243 с.
10. Cerny J., Balik J., Kulhanek M., Nedved V. The changes in microbial biomass C and N in long-term field experiments // Plant Soil Environ. 2008. V. 54. № 5. P. 212–218.