

АКТИВНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В РАЗЛИЧНЫХ АГРОЭКОСИСТЕМАХ

¹Н.С. Матюк, д.с.-х.н., ²В.А. Шевченко, чл.-корр. РАН, ²А.М. Соловьев, д.с.-х.н., ¹В.Д. Полин, к.с.-х.н.
¹ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, ²ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»

Представлены закономерности изменения численности и активности жизнедеятельности почвенных микроорганизмов в агроэкосистемах разной интенсивности. Доказано, что из-за сокращения источников питательных ресурсов численность микроорганизмов, усваивающих как органические, так и минеральные формы азота, в деградированных и экстенсивных агроэкосистемах уменьшается в 1,3-1,5 раза по сравнению с интенсивными. Дополнительное обогащение почвы органическим веществом за счет систематического ежегодного внесения навоза (17,8 т/га) увеличивает количество микроорганизмов в 2,3 раза, что повышает продуктивность сверхинтенсивных агроэкосистем в 2,4 раза по сравнению с экстенсивными и в 1,5 раза по сравнению с интенсивными.

Установлено, что интенсивность жизнедеятельности микробного сообщества целлюлозоразлагающих микроорганизмов тесно связана с массой органического вещества, поступающего в агроэкосистемы с навозом и пожнивными корневыми остатками и остается наиболее высокой в интенсивных (41%) и сверхинтенсивных (47%) агроэкосистемах. Показано, что по уровню устойчивости к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды агроэкосистемы располагаются в следующей убывающей последовательности: компромиссная > сверхинтенсивная > интенсивная > экстенсивная > деградированная.

Ключевые слова: агроэкосистемы, дерново-подзолистая почва, численность и активность микроорганизмов, органическое вещество, метаболический коэффициент.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.18

Большое значение для почвенного плодородия имеют сообщества микрофлоры, связанные с минерализацией органического вещества – аэробные целлюлозные бактерии, нитрификаторы, которые разлагают органические соединения с образованием доступных для растений питательных веществ: нитратов, фосфатов и других окисленных соединений. Скорость процессов минерализации растительных остатков, состав образующихся при этом органических и минеральных соединений, а также биологические свойства почвы зависят от химического состава поступающего в неё материала [1].

Микробное сообщество чутко реагирует на все положительные и отрицательные изменения в почвенной среде и является индикатором экологического состояния почвы. Интенсивность воздействия антропогенных факторов вызывает разнонаправленность разложения органического вещества за счет изменения активности разных групп почвенных микроорганизмов [2].

Плодородие почвы зависит в основном от содержания органического вещества. Причем при оптимальных условиях процессы органического синтеза и минерализации поддерживаются на определенном уравновешенном уровне, характерном для данной почвы [3, 4].

Дополнительное внесение органических удобрений (навоз, солома, торф и др.) положительно действует на биологическую активность почвы, нейтрализует отрицательное влияние кислотности на микроорганизмы. В результате стабилизируются биологические процессы и производительность почвы в интенсивных и сверхинтенсивных агроэкосистемах при применении высоких доз минеральных ($N_{100}P_{150}K_{120}$) и умеренных доз органических (20 т/га) удобрений [5].

Цель наших исследований – изучить активность почвенных микроорганизмов в агроэкосистемах разной интенсивности.

Методика. Исследования проводили в длительном полевом опыте РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Почва опытного участка – дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на неоднородной супесчаной и суглинистой морене.

Объектами исследований были агроэкосистемы, различающиеся по продуктивности, соотношению вложенных и отчужденных антропогенных субсидий:

- *деградированные* – поле чистого пара без удобрений и извести с содержанием органического углерода на уровне квазиравновесного состояния, обеспеченного гранулометрическим составом (0,5-0,6% $C_{орг.}$) и очень низкими запасами гумуса (36,6 т/га). Соотношение энергии, накопленной сорной растительностью, к потерям энергии при минерализации гумуса составляет 1:9. Продуктивность – 3,2 тыс. МДж/га;

- *компромиссные* (приближенные к естественным) – многолетняя травянистая залежь с содержанием $C_{орг.}$ 1,4-1,5%, запасами гумуса 59,6 т/га и соотношением накопленной энергии биоценозом многолетних трав к энергии минерализации гумуса как 10:1. Продуктивность – 92,8 тыс. МДж/га;

- *экстенсивные* – яровые зерновые, технические (лён) и пропашные (картофель) на фоне без удобрений и извести с содержанием $C_{орг.}$ 0,8-0,9%, запасами гумуса 56,2 т/га и соотношением поступившей энергии с растительными остатками к отчужденной с минерализацией гумуса, основной и побочной продукцией как 1:2. Продуктивность – 55,9 тыс. МДж/га;

- *интенсивные* – севооборотные участки с биоразнообразием сельскохозяйственных растений на фоне внесения $N_{100}P_{150}K_{120}$ и 20 т/га навоза ежегодно, с соотношением поступившей энергии с растительными остатками, минеральными и органическими удобрениями к её потерям за счёт минерализации гумуса и отчуждению с основной и побочной продукцией как 1:17, с содержанием $C_{орг.}$ 1,2-1,3% и запасами гумуса в

пахотном слое 66,7 т/га. Продуктивность – 101,3 тыс. МДж/га;

• *сверхинтенсивные* – участки зернопропашного севооборота (чистый пар – озимая рожь – картофель – ячмень с подсевом клевера – клевер – лён) на идентичном фоне питания, с содержанием $C_{орг.}$ 1,1-1,2% и запасами гумуса – 79,8 т/га при соотношении выше отмеченных компонентов как 1:1,5. Продуктивность – 125,6 тыс. МДж/га.

Определение численности и состава сапротрофных микроорганизмов в пахотном слое почвы проводили в трехкратной повторности, выращивая их на питательных средах и подсчитывая количество. Целлюлозоразлагающие микроорганизмы устанавливали на среде Гетчинсона. Численность почвенных микроорганизмов определяли на твердых питательных средах методом разведений [6]. Бактерии, использующие органический азот почвы, учитывали на мясопептонном агаре (МПА), минеральный азот – на крахмалоаммиачном агаре (КАА). Относительный показатель минерализации ор-

ганических веществ определяли по соотношению КАА/МПА.

Биологическую активность почвы устанавливали по интенсивности дыхания микроорганизмов методом газовой хроматографии. Углерод микробной биомассы ($C_{мик}$) и показатель устойчивости микробного сообщества почвы (QR микробный метаболический коэффициент) рассчитывали по формулам: $C_{мик} = СИД \cdot 40,04 + 0,37$; $QR = БД/СИД$. Содержание углерода в почве определяли по методу Тюрина в модификации ЦИНАО.

Результаты и их обсуждение. В зависимости от интенсивности функционирования агроэкосистем изменяется соотношение численности микроорганизмов, использующих минеральные или органические формы азота. В деградированных агроэкосистемах преобладает группа микроорганизмов, использующих в пищевых цепях минеральный азот, в интенсивных – их численность примерно равная, а в сверхинтенсивных – резко уменьшается доля сообщества, использующего органические соединения (табл. 1).

1. Численность микроорганизмов (КОЕ/г) в зависимости от интенсивности использования пашни

Показатель	Агроэкосистемы					НСР ₀₅
	компромиссные (контроль)	деградированные	экстенсивные	интенсивные	сверхинтенсивные	
Общее число микроорганизмов (среда МПА)	$58,8 \cdot 10^4$	$44,1 \cdot 10^4$	$28,9 \cdot 10^4$	$54,9 \cdot 10^4$	$43,2 \cdot 10^4$	10,3
Число микроорганизмов (среда КАА)	$67,5 \cdot 10^4$	$43,4 \cdot 10^4$	$54,5 \cdot 10^4$	$56,2 \cdot 10^4$	$79,8 \cdot 10^4$	6,08
Коэффициент минерализации	1,14	0,98	1,88	1,02	1,85	0,13
Количество аэробных целлюлозоразлагающих микроорганизмов, %	27,5	1,10	2,50	14,20	7,40	3,0

Коэффициент минерализации, отражающий направленность биохимических процессов разложения органического вещества, во всех исследуемых агробиоценозах, кроме деградированных, в годовом цикле более единицы. Это указывает на доминирование биохимических процессов распада органического вещества над его синтезом. Такая ситуация в итоге приводит к снижению как продуктивности, так и экологической устойчивости агроэкосистем.

Также доказано, что общая численность и соотношение различных групп микроорганизмов в структуре микробного сообщества изменяются не только при дли-

тельном воздействии природных и антропогенных факторов, но и в годичном цикле на разных этапах функционирования агроэкосистем. Общая численность возрастала ко времени достижения максимальной продуктивности агробиоценозов и снижалась к этапу затухания роста и отмирания растительного покрова (табл. 2). При этом на начальном этапе формирования продуктивной части агробиоценозов в структуре микробного сообщества у всех изучаемых агроэкосистем, кроме деградированной, численность микроорганизмов, усваивающих минеральный азот в 2,1-3,1 раза выше, чем микробов, использующих органические соединения.

2. Динамика численности микроорганизмов

Агроэкосистема	Этап функционирования агроэкосистемы					
	формирование	продуцирование биомассы	затухание и отмирание	формирование	пик продуктивности	затухание
	Микроорганизмы, использующие органические соединения (среда МПА)			Микроорганизмы, использующие минеральные формы азота (среда КАА)		
Компромиссная (контроль)	$28,0 \cdot 10^4$	$94,0 \cdot 10^4$	$54,5 \cdot 10^4$	$67,5 \cdot 10^4$	$69,5 \cdot 10^4$	$65,5 \cdot 10^4$
Деградированная	$18,0 \cdot 10^4$	$82,5 \cdot 10^4$	$34,0 \cdot 10^4$	$8,5 \cdot 10^4$	$25,5 \cdot 10^4$	$17,0 \cdot 10^4$
Экстенсивная	$22,5 \cdot 10^4$	$78,0 \cdot 10^4$	$37,0 \cdot 10^4$	$48,0 \cdot 10^4$	$66,0 \cdot 10^4$	$85,0 \cdot 10^4$
Интенсивная	$29,0 \cdot 10^4$	$121,0 \cdot 10^4$	$62,5 \cdot 10^4$	$90,5 \cdot 10^4$	$94,5 \cdot 10^4$	$72,0 \cdot 10^4$
Сверхинтенсивная	$25,5 \cdot 10^4$	$138,0 \cdot 10^4$	$70,5 \cdot 10^4$	$47,5 \cdot 10^4$	$97,0 \cdot 10^4$	$81,0 \cdot 10^4$
НСР ₀₅	2,70	15,0	9,10	20,5	17,2	12,8

В деградированных агроэкосистемах, которые не получают свежее органическое вещество, на всех этапах их функционирования преобладала группа микроорганизмов, усваивающих органические соединения гумуса. Их сезонная динамика также четко коррелировала с температурой почвы, ее влажностью и плотностью сложения.

В компромиссной агроэкосистеме, представленной многолетней залежью из разнообразных злаковых трав с замкнутым циклом круговорота органического веще-

ства, в сезонной динамике изменяется лишь количество микроорганизмов, усваивающих органические соединения при стабильной численности микробов, использующих минеральный азот ($65,5-69,5 \cdot 10^4$ КОЕ/г почвы).

Положительное влияние биоразнообразия полевых культур, минеральных и органических удобрений проявилось в увеличении количества микроорганизмов на этапе продуцирования биомассы, что связано с большей массой поступающих пожнивно-корневых остатков и более качественным их составом. В интенсивных

агроэкосистемах общая численность микроорганизмов увеличилась в 1,82 раза, а в сверхинтенсивных – в 2,18 раза (см. табл. 2).

Перед уборкой культур, на этапе снижения жизнедеятельности агроэкосистем общая численность микроорганизмов особенно сильно уменьшается в деградированных и экстенсивных агроэкосистемах (соответственно, в 2,42 и 2,10 раза).

Таким образом, степень интенсивности воздействия на агроэкосистемы различными антропогенными факторами (удобрения, мелиоранты) усиливает рост численности микрофлоры, учитываемой на МПА и КАА. При этом в деградированных и экстенсивных агроэкосистемах преобладают группы микроорганизмов, усваивающих органические соединения из запасов гумуса почвы, а в интенсивных и сверхинтенсивных – минеральные формы азота из минеральных удобрений, что подтверждают расчеты коэффициента минерализации (рис.). Как показали расчёты, на этапе формирования фитоценоза биохимические процессы преобразования органического вещества в деградированных и экстенсивных агроэкосистемах направлены на гумусообразование, а в компромиссных и сверхинтенсивных – на слабую минерализацию.

На этапе продуцирования биомассы, а также затухания и отмирания во всех изученных вариантах преобладают процессы минерализации, которые имеют разную интенсивность в зависимости от количества органического вещества, поступившего в агроэкосистему. Наиболее высокая степень минерализации органических соединений присуща компромиссным и сверхинтенсивным агроэкосистемам с более широким круговоротом веществ.

Интенсивность жизнедеятельности микробного сообщества целлюлозоразлагающих микроорганизмов также изменяется в зависимости от интенсивности функционирования агроэкосистем и от сезонных циклов их функционирования.

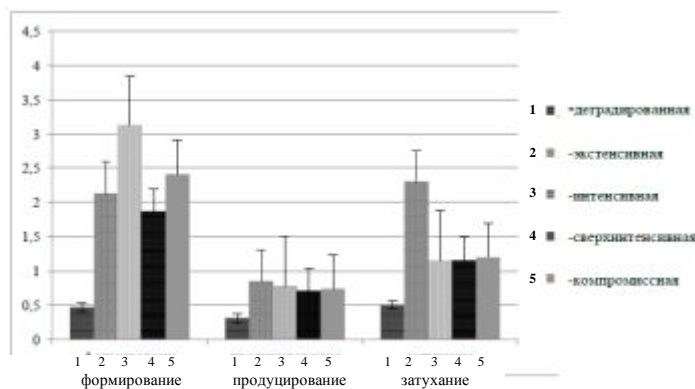


Рис. Сезонная динамика коэффициента минерализации органического вещества в разных по интенсивности агроэкосистемах

Усредненные данные годового цикла интенсивности деятельности целлюлозоразлагающих микроорганизмов показали, что наиболее высоким уровнем обладают почвы интенсивных и сверхинтенсивных агроэкосистем (40,75 и 47,10%), а наиболее низким – деградированных (5,10%) и экстенсивных (6,77%). В сезонном цикле функционирования агробиоценозов интенсивность целлюлозоразлагающих микроорганизмов усиливается на этапе от формирования до периода максимального продуцирования биомассы различными компонентами аг-

роэкосистемы, особенно значительно в сверхинтенсивных (в 8,4 раза) и интенсивных (в 17,6 раза).

В агроэкосистемах меньшей интенсивности увеличение их активности было менее значимым и составило 3,1 раза в деградированных, 3,6 в экстенсивных и 2,4 раза в компромиссных. Эта закономерность по интенсивности целлюлозоразлагающих микроорганизмов сохранялась до отмирания агробиоценозов.

Один из основных экологических показателей устойчивости микробного сообщества агроэкосистемы – метаболический коэффициент: чем он ближе к нулю, тем в более устойчивом состоянии находится биоценоз. Установлено, что наиболее высокой экологической устойчивостью к воздействию неблагоприятных факторов среды обладают компромиссные агроэкосистемы, метаболический коэффициент которых равен 0,08 ед. (табл. 3).

3. Базальное (БД), субстрат-индуцированное (СИД) дыхание и метаболический коэффициент (qCO_2) разных агроэкосистем

Агроэкосистема	БД	СИД	qCO_2
	мкг C-CO ₂ /г/ч	мкг C-CO ₂ /мг C	мкг C-CO ₂ /мг C
Компромиссная	0,45±0,08	5,24±0,43	0,08±0,01
Деградированная	0,16±0,02	5,44±0,35	0,34±0,07
Экстенсивная	0,39±0,03	1,36±0,25	0,29±0,05
Интенсивная	0,27±0,02	1,47±0,17	0,18±0,03
Сверхинтенсивная	0,28±0,03	2,26±0,21	0,12±0,02

Из данных таблицы 3 видно, что наибольшая интенсивность базального и субстрат-индуцированного дыхания и наименьший метаболический коэффициент отмечены в компромиссной агроэкосистеме (многолетняя травянистая залежь). Это обусловлено многовидовым разнообразием компонентов биоценоза, а также непрерывным процессом накопления и отмирания растительной массы.

Выводы. 1. Численность микроорганизмов, усваивающих как органические, так и минеральные формы азота в деградированных и экстенсивных агроэкосистемах уменьшается в 1,3-1,5 раза по сравнению с интенсивными. Систематическое внесение навоза (17,8 т/га) увеличивает их количество в 2,3 раза, что повышает продуктивность сверхинтенсивных агроэкосистем в 2,4 раза по сравнению с экстенсивными и в 1,5 раза по сравнению с интенсивными.

2. Интенсивность целлюлозоразлагающих микроорганизмов тесно коррелирует с массой органического вещества, поступающего в агроэкосистемы с навозом и пожнивно-корневыми остатками и остается наиболее высокой в интенсивных (41%) и сверхинтенсивных (47%) агроэкосистемах. При уменьшении массы поступающего органического вещества этот показатель снижается до 5,1% в деградированных и до 6,8% в экстенсивных агроэкосистемах.

3. В изученных агроэкосистемах метаболический коэффициент изменяется от 0,34 в деградированных до 0,08 в компромиссных. По уровню устойчивости к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды агроэкосистемы располагаются в следующей убывающей последовательности: сверхинтенсивные > компромиссные > интенсивные > экстенсивные > деградированные.

Литература

1. Мамилев А.Ш. Влияние трудногидролизуемых источников углерода на динамику микробной биомассы и дыхание почвы / А.Ш. Мамилев, Ш.З. Мамилев, Д.Г. Звягинцев // Вестн. Моск. ун-та. – 1999. – № 1. – С. 51-54.

2. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 256 с.
3. Melander B. Apea spica-venti population dynamics and impact on crop yield as affected by tillage, crop rotation, location and herbicide programmes / B. Melander, N. Holst, P.K. Jensen, E.A. Hansen., J.E. Olesen // Weed Research. – 2008. – №1. – P. 48-57.
4. Новиков С.А. Биоклиматический потенциал мелиорированных земель Нечерноземной зоны России: монография / С.А. Новиков, В.А.

- Шевченко, А.М. Соловьев.- М.: Изд-во ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2018. – 286 с.
5. Матюк Н.С. Оптимальные параметры пахотного слоя почвы и способы их поддержания в современном земледелии / Н.С. Матюк, Э.А. Цвирко, В.А. Шевченко // Плодородие. – 2004. – № 1. – С. 33.
6. Теннер Е.З. Практикум по микробиологии: изд. 2-е, перераб. и дополн. / Е.З. Теннер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. – М.: Колос, 1979. – 216 с.

INFLUENCE OF DIFFERENT AGROECOSYSTEMS ON THE ACTIVITY OF MICRO-ORGANISMS IN SOD-PODZOLIC SOIL

N.S. Matyuk¹, V.A. Shevchenko², A.M. Solovyev¹, V.D. Polin¹

¹RSAU-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya ul 49, Moscow, 127550, Russia;

²All-Russian Scientific-Research Institute of Hydrotechnics and Melioration named after. A.N. Kostyakov, Bolshaya Akademicheskaya ul., 44, bldg. 2, 127550 Moscow, Russia

The regularities of changes in the number and activity of soil microorganisms in agroecosystems of different intensities are presented. It is proved that due to the reduction of nutrient sources, the number of microorganisms that assimilate both organic and mineral forms of nitrogen in degraded and extensive agroecosystems decreases by 1.3-1.5 times in comparison with intensive ones. Additional enrichment of the soil with organic matter through the systematic annual application of manure (17.8 t / ha) increases the number of microorganisms by 2.3 times, which increases the productivity of super-intensive agroecosystems by 2.4 times compared to extensive and 1.5 times compared with intense.

It was found that the intensity of the life of the microbial community of cellulose-degrading microorganisms is closely related to the mass of organic matter entering the agroecosystems with manure and crop-root residues and remains the highest in intensive (41%) and super-intensive (47%) agroecosystems. It is shown that in terms of resistance to the effects of adverse environmental factors, agroecosystems are arranged in the following decreasing sequence: compromise > super-intensive > intensive > extensive > degraded.

Key words: agroecosystems, sod-podzolic soil, the number and activity of microorganisms, organic matter, metabolic coefficient.

УДК: 631.51

ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

¹С.И. Воронов, д.б.н., ^{1,2}Ю.Н. Плескачёв, д.с.-х.н., ²П.В. Ильяшенко,

¹ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», 143026, Московская область, Одинцовский район, р.п. Новоивановское, ул. Калинина, 1, e-mail: fscnemchinovka.ru

²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26, e-mail: volgau.com

Показано, что основой успешного производства высококачественного зерна озимой пшеницы являются правильный выбор сорта, подбор соответствующего уровня минерального питания и эффективных регуляторов или стимуляторов роста. Приведены результаты опытов по экологическому испытанию сортов и соответствующих приёмов агротехники озимой пшеницы в зоне тёмно-каштановых почв Нижнего Поволжья.

Ключевые слова: озимая пшеница, сорта, минеральное питание, регуляторы роста.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.19

По объёму производства зерна пшеницы наша страна занимает одно из лидирующих мест в мире, уступая лишь Китаю, Индии и США. Россия поставляет пшеницу в 88 государств, многие из которых предъявляют специфические требования к её качеству. Средняя доля России на рынках десяти ведущих стран-потребителей российской пшеницы достигла почти 38 %, особенно в экспортных поставках в Египет, Турцию, Азербайджан, Иран, Бангладеш, Нигерию, и имеет тенденцию к увеличению.

Важнейшее значение в увеличении производства высококачественного зерна пшеницы имеет максимальное раскрытие сортового потенциала на основе совершенствования агротехнологий, обеспечивающих эффективное использование местных почвенно-климатических ресурсов и средств интенсификации земледелия, являющихся составной частью адаптивно-ландшафтных систем земледелия и гарантирующих устойчивость агроландшафтов [2].

Немаловажное значение для повышения качества зерна пшеницы имеет реализация генетического потенциала сорта, его положительных количественных и особенно качественных параметров [3]. Кроме удачно выбранного сорта большое значение имеет правильный пищевой режим, который устанавливается минеральными удобрениями и регуляторами или стимуляторами роста. [4].

В связи с этим в зоне тёмно-каштановых почв Нижнего Поволжья были заложены опыты по экологическому испытанию 25 сортов озимой пшеницы, различным уровням питания и применения регуляторов роста [5].

В экологическом испытании хорошо зарекомендовал себя сорт мягкой озимой пшеницы селекции Федерального исследовательского центра «Немчиновка» Московская 56. Превышение по биологической урожайности в сравнении со стандартом – сортом Дон 93 составило в 2018 г. 0,38 т/га, в 2019 г. 0,42 т/га.