

ВЛИЯНИЕ БИНАРНЫХ СИДЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ГРЕЧИХОЙ НА АКТИВНОСТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗОРАЗРУШАЮЩИХ БАКТЕРИЙ И КАЧЕСТВО ПАХОТНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ

© 2023 г. А. М. Гребенников

Федеральный исследовательский центр “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”
109017 Москва, Пыжевский пер., 7, Россия

E-mail: gream1956@gmail.com

Поступила в редакцию 08.09.2022 г.

После доработки 15.11.2022 г.

Принята к публикации 15.12.2022 г.

Изучили использование сидеральных бинарных смесей 2-х сортов гречихи между собой, а также с соей и подсолнечником на активность целлюлозоразрушающих бактерий (ЦРБ) и содержание гумуса в пахотном и подпахотном горизонтах типичных тяжелосуглинистых черноземов. Показано, что применение для сидерации смешанных агросообществ по сравнению с чистыми посевами культур позволяет значительно увеличить численность агрономически ценной микрофлоры и содержание гумуса. Наиболее существенно возросла активность ЦРБ и увеличилось содержание гумуса как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах, а также произошло увеличение урожайности зерновых культур под влиянием агроценоотического эффекта в посевах бинарных сидеральных смесей гречихи сорта Крылатая и гречихи сорта Деметра с подсолнечником. Между продуктивностью сидератов, урожайностью зерновых культур и активностью ЦРБ в почве как пахотного, так и подпахотного горизонтов были установлены связи, достоверные при 5%-ном уровне значимости. Зависимости между показателями урожая и содержанием гумуса в почвах оказались менее выражены и в большинстве случаев были недостоверными. Установленная между величинами активности ЦРБ и содержания гумуса тесная зависимость позволила заключить, что чем больше активность ЦРБ, тем выше качество исследованных почв.

Ключевые слова: бинарные сидеральные смеси, продуктивность сидератов, урожайность зерновых культур, агроценоотический эффект, активность микроорганизмов, содержание гумуса, качество почв.

DOI: 10.31857/S0002188123030067, EDN: KNPHLA

ВВЕДЕНИЕ

Применение сидеральных удобрений является важным фактором экологически безопасного повышения плодородия и нормализации фитосанитарного состояния почв [1–5]. Использование сидератов может значительно улучшить состояние почв, подверженных деградации и агроистощению в результате длительного и нерационального использования в земледелии [6, 7]. Одним из факторов увеличения уровня плодородия и улучшения фитосанитарного состояния почв при использовании сидератов является активизация полезной микрофлоры в почвах. Высокая активность агрономически ценной микрофлоры, особенно целлюлозоразрушающих бактерий, может создать условия для значительного улучшения режима питания культурных растений, вытеснения фитопатогенной микрофлоры из почвы

и ее очистку от токсичных веществ органического происхождения [8]. В литературе встречаются сведения о повышении активности микроорганизмов в почвах. Например, различные виды бобовых сидератов на дерново-подзолистых почвах Северо-Запада РФ стимулировали биологическую активность почвы в большей степени, чем минеральные азотсодержащие удобрения [9]. Запашка сидератов в полевых опытах [10] приводила к росту численности почвенных микроорганизмов (на 29–65%), особенно грибов и актиномицетов (в 1.2–2.6 раза). Поступление сидеральной массы в почву способствовало интенсивному развитию триходермы, что снижало интенсивность развития корневых гнилей на 5.9–8.2% и положительно повлияло на сохранность стеблестоя зерновых культур. Целлюлозолитическая активность почвы в вариантах с сидератами возросла с 16.8–17.2 до 23.2–41.5%. Использование сидератов приво-

дило к снижению потенциала инфекции и предохранению растений от поражения фитопатогенами. Заболеваемость корневой гнилью озимой ржи снизилась до 15, ячменя – до 20% [11]. Перспективной для использования в качестве сидерата является гречиха, формирующая к моменту цветения высокопродуктивную биомассу, содержащую в сбалансированных количествах большое количество элементов питания растений [12, 13].

Усилить позитивное воздействие сидератов на почву посредством увеличения их продуктивности возможно, если в качестве зеленого удобрения использовать не одну культуру, а смесь экологически и аллелопатически совместимых культур. При использовании для сидерации таких агросообществ в сравнении с чистыми посевами их компонентов часто отмечали более значительное улучшение всего комплекса свойств почв, в том числе и микробиологических, определяющих плодородие, а также фитосанитарное состояние культур, выращиваемых после заделки сидератов [14–16].

Почвенные микроорганизмы обладают мощным ферментативным аппаратом, выполняют многообразные функции в кругообороте всех биогенных элементов, участвуют в почвообразовании и поддержании почвенного плодородия. Поэтому биологическую активность почвы в этом случае следует рассматривать как одну из важнейших характеристик интенсивности микробиологических процессов.

Поскольку многими исследователями была отмечена прямая тесная взаимосвязь между интенсивностью биологических процессов и содержанием гумуса в почве [17], являющимся одним из важных показателей качества почв [18], усилению биологических процессов соответствует улучшение качества почв.

Учитывая возможное позитивное влияние сидератов, состоящих из смеси разных культур, на свойства почв, их качество и перспективность использования гречихи в качестве сидерата, представляет определенный интерес исследование сидеральных агросообществ, в состав которых наряду с гречихой входят и другие культуры. Цель работы – оценка влияния сидеральных агросообществ с участием гречихи на активность целлюлозоразрушающих бактерий (ЦРБ) и содержание гумуса в почве.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В полевом опыте исследовали влияние чистых посевов сидеральных культур и их бинарных смесей с гречихой на микробиологическую актив-

ность пахотного и подпахотного горизонтов типичных черноземов. Опыт включал варианты с чистыми посевами гречихи сорта Деметра, гречихи сорта Крылатая, сои сорта Октябрьская, подсолнечника сорта Енисей и бинарные смеси этих культур. Опыты проводили в трехкратной повторности на стационаре Петринского опорного пункта Почвенного института им. В.В. Докучаева (Курская обл.) в период с 2001 по 2005 г. Почвы опытного участка были представлены тяжелосуглинистыми мощными типичными черноземами.

На учетной площади каждой делянки, составлявшей 280 м² (5.6 × 50 м), сплошным методом определяли величину продуктивности сидеральных культур и урожайность озимой и яровой пшеницы, которые по годам исследования чередовались с посевами сидератов. Сидеральные культуры на каждой делянке скашивали, измельчали агрегатом КИР-1.5 Б и помещали в тележку, которую потом взвешивали, отбирали образец на определение влажности, затем привозили назад, высыпали сидеральную массу на ту же делянку и запахивали в почву. После установления влажности в отобранном образце продуктивность сидератов на каждой делянке пересчитывали в г сухого вещества/м². Уборку урожая зерновых проводили механизированным способом [19].

В пахотном (0–25 см) и подпахотном (25–40 см) горизонтах почв посезонно (весна, лето, осень) определяли содержание гумуса по Тюрину [20] и активность целлюлозоразрушающих бактерий (ЦРБ) – как долю (%) уменьшения массы бумажных фильтров, которые в капроновой оболочке на 2 мес. (с конца мая по конец июля) закладывали в почву на глубину пахотного и подпахотного горизонтов [21].

Для оценки влияния фактора смешивания посевов на изменение исследованных показателей применяли специально разработанный для этой цели метод построения вариантов сравнения [22], в соответствии с которым для исследованных показателей агросообществ по их величинам в чистых посевах рассчитывали варианты сравнения, которые отличались от показателей агросообществ лишь тем, что влияние фактора смешивания посевов было в них исключено. Для исследованных показателей вариант сравнения рассчитывали по следующей формуле:

$$V_{S_i} = P_i \times W_i / \text{Sum}(W_i), \quad (1)$$

где V_{S_i} – вариант сравнения для i -той культуры, P_i – величина исследованного показателя в чистых посевах i -той культуры, W_i – доля i -той культуры в смешанном посеве, определенная как количество семян этой культуры, отнесенных к норме

Таблица 1. Продуктивность сидератов, урожайность последующих зерновых культур, активность ЦРБ и содержание гумуса в пахотном и подпахотном горизонтах

Сидераты	Продуктивность, г сухого вещества/м ²	Урожайность зерновых, ц/га	Активность ЦРБ		Содержание гумуса	
			%			
			Апах	Аподпах	Апах	Аподпах
Соя	410	32.7	11	15	0.30*	0.09
Подсолнечник	720	32.3	16	15	0.47*	0.13
Гречиха сорта Крылатая	520	32.8	13	13	0.26*	0.15*
Гречиха сорта Деметра	570	32.0	15	17	0.33*	0.22*
Гречиха сорта Крылатая + + гречиха сорта Деметра	538	31.8	14	15	0.53*	0.34*
Соя + гречиха сорта Крылатая	540	32.7	14	15	0.56*	0.09*
Соя + гречиха сорта Деметра	710	33.3	17	18	0.56*	0.19*
Подсолнечник + гречиха сорта Крылатая	890	33.8	19	19	0.64*	0.32*
Подсолнечник + гречиха сорта Деметра	905	34.3	21	21	0.63*	0.35*

Примечания. 1. HCP_{05} (продуктивность) = 67 г сухого вещества/м². 2. HCP_{05} (урожайность зерновых) = 1.2 ц/га. 3. Активность ЦРБ определяли как долю уменьшения массы бумажных фильтров (%), которые в капроновой оболочке на 2 мес. (с конца мая по конец июля) закладывали в почву на глубину пахотного и подпахотного горизонтов.

*Отмечены значимые на 5%-ном уровне изменения содержания показателя. То же в табл. 3–5.

высева, соответствующей нормальным по плотности посевам:

$$W_i = (Q_i/N_i), \quad (2)$$

где Q_i – количество высеваемых семян i -й культуры (в чистых и смешанных посевах оно должно быть равным), N_i – норма высева этой культуры, Sum – указатель суммы. Если величина исследованного показателя имело начальную и конечную величину, как у всех показателей агрохимических свойств, определенных при закладке и окончании опыта, то P_i было равно разности между конечной и начальной величиной этого показателя. Влияние фактора смешивания на продуктивность агроценоза и свойства почв (агроценозического эффекта) определяли как разность между величинами исследованных показателей в смешанном агрообществе и в варианте сравнения.

Для статистических оценок использовали t -критерий Стьюдента для неравных дисперсий, критерий Фишера и непараметрический метод Краскела–Валлиса. Использование рассмотренных критериев позволило с позиций 3-х различных подходов оценить степень различия между сравниваемыми величинами. Считали, что различия между последовательностями исследованного свойства существуют, если это подтверждало применение не менее чем 2-х критериев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Приведены средние за годы проведения опытов величины продуктивности надземной фитомассы в чистых посевах сидератов и их бинарных смесях, величины урожайности зерновых культур и активности ЦРБ в пахотном и подпахотном горизонтах (табл. 1).

Наиболее высокие показатели продуктивности сидератов были получены в смешанных агрообществах, особенно в смесях подсолнечника с каждым из сортов гречихи. Из чистых посевов сидератов максимальной продуктивностью отличались варианты с подсолнечником. По продуктивности чистые посевы этой культуры значительно превосходили сортосмеси гречихи и смеси сои с гречихой сорта Крылатая, примерно соответствовали продуктивности смеси соя + гречиха сорта Деметра, но при этом существенно уступали агрообществам подсолнечника с каждым из сортов гречихи.

В вариантах опыта с наиболее высокой продуктивностью сидератов была получена наиболее высокая урожайность зерновых культур. Максимальная урожайность, полученная после заделки сидератов на делянках с чистыми посевами, была достигнута в варианте с гречихой сорта Крылатая. Однако отличия величины этой уро-

Таблица 2. Величина агроценотического эффекта в вариантах с сидеральными агроценозами и зерновыми культурами

Вариант с сидеральным сообществом	Сидеральные агроценозы			Зерновые культуры		
	<i>Р_а</i>	<i>Р_{вс}</i>	<i>АЭ_а</i>	<i>У_а</i>	<i>У_{вс}</i>	<i>АЭ_у</i>
Гречиха сорта Крылатая + гречиха сорта Деметра	538	545	–7	31.8	32.4	–0.6
Соя + гречиха сорта Крылатая	540	465	75	32.7	32.7	0.0
Соя + гречиха сорта Деметра	710	490	220	33.3	32.4	0.9
Подсолнечник + гречиха сорта Крылатая	890	620	270	33.8	32.5	1.3
Подсолнечник + гречиха сорта Деметра	905	645	260	34.3	32.1	2.2

Примечание. *Р_а* – продуктивность агроценозов, г сухого вещества/м², *Р_{вс}* – продуктивность сидератов в вариантах сравнения, г сухого вещества/м², *АЭ_а* – агроценотический эффект сидеральных агроценозов, г сухого вещества/м², *АЭ_у* – агроценотические эффекты зерновых культур в вариантах с агроценозами, ц/га, *У_а* – урожайность зерновых на делянках вариантов с агроценозами, ц/га, *У_{вс}* – урожайность зерновых в вариантах сравнения, ц/га.

жайности как от соответствующих показателей в вариантах с чистыми, так и смешанными посевами сидератов, были несущественными.

Активность ЦРБ в пахотном горизонте в вариантах опыта примерно изменялась в соответствии с тенденциями к изменению продуктивности сидератов и урожайности зерновых культур. Наиболее высокой величиной разложения целлюлозы в пахотном горизонте (17–21%) характеризовались варианты смешанных агроценозов соя + гречиха сорта Деметра, подсолнечник + гречиха сорта Крылатая и подсолнечник + гречиха сорта Деметра. Активность ЦРБ в пахотном слое под этими агроценозами была больше по сравнению с соответствующими показателями под чистыми посевами. Пахотный горизонт под остальными агроценозами характеризовался более низкими величинами активности ЦРБ, уступавшими по этому показателю половине вариантов с чистыми посевами сидератов.

Таким же образом в вариантах опыта изменялась активность ЦРБ в слое 25–40 см. Так же как и в пахотном горизонте, максимальными величинами активности ЦРБ в слое 25–40 см характеризовались делянки под агроценозами соя + гречиха сорта Деметра, подсолнечник + гречиха сорта Крылатая и подсолнечник + гречиха сорта Деметра. По активности ЦРБ в слое 25–40 см делянки под остальными агроценозами и чистыми посевами мало различались между собой и значительно уступали делянкам под агроценозами соя + гречиха сорта Деметра, подсолнечник + гречиха сорта Крылатая и подсолнечник + гречиха сорта Деметра.

За 5-летний период проведения опытов в пахотном горизонте во всех вариантах опытов произошло статистически значимое увеличение содержания гумуса. Под вариантами с чистыми посевами количество гумуса возросло на 0.26–0.47%, под

смешанными агроценозами – на 0.53–0.64%. Наиболее значительно обогатились органическим веществом пахотные горизонты на делянках с вариантами опыта подсолнечник + гречиха сорта Крылатая и подсолнечник + гречиха сорта Деметра. Количество органического вещества в слое 0–25 см в этих вариантах возросло на 0.64 и 0.63%.

В подпахотном горизонте за время проведения опытов содержание гумуса возросло также во всех вариантах. Однако статистическая значимость этого факта была подтверждена только для 7-ми вариантов из 9-ти. При этом общий эффект увеличения содержания гумуса в подпахотном горизонте был достоверным во всех вариантах со смешанными агроценозами и в 2-х вариантах с чистыми посевами (гречиха сорта Крылатая, гречиха сорта Деметра). Наиболее высокими и достаточно близкими величинами роста содержания гумуса характеризовались агроценозы гречиха сорта Крылатая + гречиха сорта Деметра, подсолнечник + гречиха сорта Крылатая и подсолнечник + гречиха сорта Деметра. Эти величины соответственно составили 0.34, 0.32 и 0.35%.

Агроценотические эффекты для продуктивности сидеральных агроценозов и урожайности зерновых культур определялись разностью между величинами этих показателей в вариантах с агроценозами и в вариантах сравнения (табл. 2). Варианты сравнения рассчитывали по формулам (1) и (2). Для расчета агроценотических эффектов использовали данные из табл. 1. Как следует из табл. 2, агроценотический эффект оказывал неодинаковое влияние на продуктивность сидеральных агроценозов, что приводило к существенному ее увеличению в агроценозах гречиха сорта Деметра + подсолнечник, гречиха сорта Крылатая + подсолнечник и соя + гречиха сорта Деметра, менее выраженному возрастанию в агроценозе соя + гречиха сорта Крылатая и не-

Таблица 3. Влияние фактора смешивания на активность ЦРБ и содержание гумуса в пахотном и подпахотном горизонтах почв

Вариант с сидеральным агросообществом	Агроценоотический эффект			
	Активность ЦРБ		Содержание гумуса	
	%			
	Апах	Аподпах	Апах	Аподпах
Гречиха сорта Крылатая + гречиха сорта Деметра	0	0	0.14*	0.11
Соя + гречиха сорта Крылатая	2	1	0.16*	0.12
Соя + гречиха сорта Деметра	3	2	0.20*	0.20*
Подсолнечник + гречиха сорта Крылатая	4	5	0.23*	0.19*
Подсолнечник + гречиха сорта Деметра	5	5	0.14*	0.32*

значительному уменьшению в смеси разных сортов гречихи. В рамках аналогичной тенденции было отмечено влияние агроценоотического эффекта на урожайность зерновых культур.

Таким же образом были рассчитаны агроценоотические эффекты для активности ЦРБ и содержания гумуса в слоях 0–25 и 25–40 см (табл. 3). Влияние агроценоотического эффекта привело к значимому увеличению содержания гумуса в пахотном горизонте под всеми агросообществами. Особенно заметным это было в пахотном горизонте под агроценозами подсолнечник + гречиха сорта Крылатая и соя + гречиха сорта Деметра. Содержание органического вещества в слое 0–25 см под этими агросообществами в результате влияния агроценоотического эффекта увеличилось на 0.23 и 0.20%. Для указанных агросообществ вклад агроценоотического эффекта в общее увеличение содержания гумуса в пахотном горизонте соответственно составил 37 и 36%.

В слое 25–40 см влияние фактора смешивания привело к значимому повышению содержания гумуса под 3-мя из 5-ти агросообществ, содержание гумуса под которыми возросло на 0.19–0.32%. Максимальный вклад фактора смешивания в общее увеличение содержания гумуса был отмечен в подпахотном горизонте под агросообществом подсолнечник + гречиха сорта Деметра и составил 91%.

Согласно балансовым расчетам (Методические указания по определению баланса ..., 2000 г.), для повышения на 0.14–0.23% содержания органического вещества в пахотном горизонте тяжелосуглинистых черноземов необходимо внести подстилочный навоз в дозах 15.4–25.3 т/га. Увеличение содержания органического вещества в слое почвы 25–40 см на 0.19–0.32% могло произойти при поступлении в подпахотный горизонт

количества органики, эквивалентного 13.7–23.0 т подстилочного навоза/га.

Влияние агроценоотического эффекта привело к увеличению активности ЦРБ в пахотном горизонте под всеми агросообществами, за исключением смеси сортов гречих. На активность изученных бактерий в слое 0–25 см под сортосмесью фактор смешивания не оказал никакого влияния. Наиболее выраженным влияние агроценоотического эффекта было в пахотном слое под агросообществами подсолнечник + гречиха сорта Крылатая и соя + гречиха сорта Деметра, в которых под влиянием фактора смешивания разложение бумажных фильтров соответственно увеличилось на 4 и 5% от их исходной массы. Для этих агросообществ вклад агроценоотического эффекта в общее увеличение активности ЦРБ в пахотном горизонте соответственно составил 21 и 24%.

Влияние агроценоотического эффекта на изменение активности ЦРБ в подпахотном горизонте под агросообществами было аналогично изменениям в слое 0–25 см. Фактор смешивания оказал наиболее существенное влияние на активность ЦРБ в слое 25–40 см под агросообществами подсолнечник + гречиха сорта Крылатая и соя + гречиха сорта Деметра. Вклад агроценоотического эффекта в величину активности ЦРБ в подпахотном горизонте под этими агросообществами соответственно составил 26 и 24%. Увеличение активности ЦРБ в подпахотном горизонте под агросообществами соя + гречиха сорта Крылатая и соя + гречиха сорта Деметра, обусловленное фактором смешивания, было менее выраженным и характеризовалось меньшей величиной вклада этого фактора в разрушение целлюлозы, соответственно составлявшей 7 и 11%. Так же как в пахотном горизонте, агроценоотический эффект не оказал никакого влияния на активность ЦРБ в

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между продуктивностью сидератов, урожайностью зерновых культур, активностью ЦРБ и содержанием гумуса ($R_{\text{крит}} = 0.67$)

Показатель	Урожайность зерновых, ц/га	Активность ЦРБ		Содержание гумуса	
		%			
		Апах	Аподпах	Апах	Аподпах
Продуктивность сидератов, г сухого вещества/м ²	0.75*	0.98*	0.82*	0.76*	0.62
Урожайность зерновых, ц/га		0.68*	0.74*	0.54	0.34

Таблица 5. Коэффициенты корреляции между агроценотическими эффектами показателей урожайности, активностью ЦРБ и содержанием гумуса ($R_{\text{крит}} = 0.88$)

Показатель	Урожайность зерновых, ц/га	Активность ЦРБ		Содержание гумуса	
		%			
		Апах	Аподпах	Апах	Аподпах
Продуктивность сидератов, г сухого вещества/м ²	0.93*	0.94*	0.27	0.57	0.76
Урожайность зерновых, ц/га		0.98*	0.41	0.24	0.87

слое 25–40 см под агроценозом гречиха сорта Крылатая + гречиха сорта Деметра.

Для оценки связи между продуктивностью сидератов, урожайностью зерновых культур с активностью ЦРБ и содержанием гумуса, а также для степени зависимости между агроценотическими эффектами этих показателей были рассчитаны коэффициенты корреляции (табл. 4, 5).

Продуктивность сидератов в опыте была достоверно связана с урожайностью последующих зерновых культур и активностью ЦРБ в обоих горизонтах. При этом продуктивность сидератов образовывала более тесную связь с активностью ЦРБ в пахотном горизонте по сравнению с величинами этого показателя в слое 25–40 см. Урожайность зерновых культур по сравнению с продуктивностью сидератов образовывала менее тесные связи с активностью ЦРБ в почвах, и величина коэффициента корреляции урожайности зерновых культур с активностью ЦРБ в подпахотном горизонте была несколько больше по отношению к соответствующему показателю для слоя 0–25 см.

Содержание гумуса в пахотном горизонте образовывало значимую связь с продуктивностью сидератов. В остальных вариантах связь показателей урожайности с содержанием гумуса не была достоверной.

Такие особенности зависимости активности ЦРБ от продуктивности сидератов и урожайности зерновых культур, по-видимому, можно объ-

яснить тем, что если в первый год поступление сидератов в почву явилось непосредственной причиной возрастания активности ЦРБ, то во второй год на урожайность зерновых культур повлияла активность этих бактерий в почвах, являющаяся следствием последствия запашки сидератов. Поэтому связь между продуктивностью сидератов и активностью ЦРБ была более выраженной по сравнению с зависимостью урожайности зерновых культур от активности этих бактерий. К тому же зависимость урожая зерновых культур не полностью зависела от продуктивности сидератов, т.к. коэффициент корреляции между этими показателями составлял 0.75, из чего следовало, что урожайность зерновых линейным образом была связана с продуктивностью сидератов на 56.3% ($0.75^2 \times 100\%$).

Примерно такие же тенденции обнаружены при рассмотрении характера зависимости показателей урожайности с содержанием гумуса, хотя эти зависимости были менее тесными по сравнению со связями между активностью ЦРБ и показателями урожайности. Следует также отметить, что как в слое 0–25, так и 25–40 см между активностью ЦРБ и содержанием гумуса были установлены достоверные зависимости, которые характеризовались коэффициентами корреляции, соответственно равными 0.77 и 0.69.

Величины агроценотических эффектов продуктивности сидеральных агроценозов и урожайностей зерновых культур были тесно связаны

между собой, о чем свидетельствовала значимая на 5%-ном уровне величина коэффициента корреляции между этими показателями (табл. 5). Величины агроценотических эффектов сидеральных агросообществ и урожайностей зерновых культур были достоверно связаны с активностью ЦРБ в пахотном горизонте, тогда как зависимости этих показателей от активности ЦРБ в слое 25–40 см были недостоверными. Корреляционные связи между агроценотическими эффектами показателей урожая и содержания гумуса во всех случаях не были значимыми.

Величина коэффициента корреляции между агроценотическими эффектами активности ЦРБ и содержания гумуса в пахотном горизонте была недостоверной (0.44), а в слое 25–40 см – значимой (0.91).

Учитывая значимость прямой связи между величинами активности ЦРБ и содержания гумуса как в слое 0–25, так и 25–40 см, а также достоверность зависимости между агроценотическими эффектами этих свойств в подпахотном горизонте можно заключить, что эти свойства достаточно сильно связаны между собой и следует ожидать, что наиболее высокой активности ЦРБ будет соответствовать наиболее высокое содержание гумуса. Таким образом, чем больше активность ЦРБ, тем выше качество исследованных почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования было показано, что применение для сидерации смешанных агросообществ по сравнению с чистыми посевами культур позволяет значительно увеличить численность агрономически ценной микрофлоры и содержание гумуса в почве.

В проведенном опыте уровень активности целлюлозоразлагающих бактерий (ЦРБ) и содержания гумуса зависел от состава использованных сидеральных агросообществ, что определялось направленностью и величиной влияния агроценотического эффекта на их продуктивность.

Влияние агроценотического эффекта в разных сидеральных агросообществах на урожайность последующей зерновой культуры, активность ЦРБ и содержание гумуса проявлялось неодинаковым образом. Наиболее существенно возросла активность ЦРБ и увеличилось содержание гумуса как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах, а также произошло увеличение урожайности зерновых культур под влиянием агроценотического эффекта в бинарных сидеральных смесях гречихи сорта Крылатая и гречихи сорта Деметра с подсолнечником.

Между продуктивностью сидератов, урожайностью зерновых культур и активностью ЦРБ в почве как пахотного, так и подпахотного горизонтов были установлены связи, достоверные на 5%-ном уровне значимости. Зависимости между показателями урожайности и содержанием гумуса в почвах оказались менее выражены и в большинстве случаев были недостоверными. Было также показано, что агроценотические эффекты продуктивности сидеральных агросообществ и урожайности зерновых культур оказались тесным образом связаны как между собой, так и с влиянием фактора смешивания на активность ЦРБ в пахотном горизонте. При этом в остальных случаях агроценотические эффекты продуктивности сидеральных агросообществ и урожайности зерновых культур не образовывали достоверных связей с агроценотическими эффектами активности ЦРБ и содержания гумуса в почве.

Установленная между величинами активности ЦРБ и содержания гумуса тесная зависимость позволила заключить, что чем больше активность ЦРБ, тем выше качество исследованных почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лошаков В.Г., Иванов Ю.Д., Николаев В.А. Плодородие дерново-подзолистых почв и продуктивность зерновых севооборотов при длительном использовании пожнивной сидерации // Изв. ТСХА. 2004. № 3. С. 3–14.
2. Гребенников А.М. Влияние смешивания посевов на микробиологическую активность почв // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. Вып. 61. М., 2008. С. 75–82.
3. Кузнецова О.Ю., Гребенников А.М. Рекультивация земель и улучшение качества ее проектирования // Землеустр-во, кадастр и мониторинг земель. № 1. 2009. С. 42–45.
4. Гребенников А.М. Использование сидерации смешанными агросообществами для повышения плодородия типичных черноземов // Плодородие. 2011. № 2. С. 30–32.
5. Гребенников А.М. Фитосанитарный аспект повышения плодородия черноземов сидеральными смесями // Земледелие. № 3. 2011. С. 24–26.
6. Лебедева И.И., Королева И.Е., Гребенников А.М. Концепция эволюции черноземов в условиях агроэкосистем // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. Вып. 71. М., 2013. С. 16–26.
7. Лебедева И.И., Базыкина Г.С., Гребенников А.М., Чевевердин Ю.И., Беспалов В.А. Опыт комплексной оценки влияния длительности земледельческого использования на свойства и режимы агрочерноземов Каменной степи // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. Вып. 83. М., 2016. С. 77–102.
8. Бабьева И.П., Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.

9. *Паринкина О.М., Ключева Н.В., Петрова Л.Г.* Биологическая активность и эффективное плодородие почв // Почвоведение. 1993. № 9. С. 76–81.
10. *Постников П.А., Колобков Е.В.* Воздействие зеленых удобрений на микробиологическую активность почвы и урожайность зерновых культур // Использование органических удобрений и биоресурсов в современном земледелии. Владимир, 2002. С. 340–342.
11. *Никонорова А.К.* Механизм влияния сидеральных культур на развитие и споруляцию гриба *Helminthosporium sativum* // Микол. и фитопатол. 2000. Т. 34. Вып. 1. С. 48–51.
12. *Березин А.М., Чупрова В.В., Волошин Е.И.* Влияние сидератов на плодородие чернозема выщелоченного и урожайность зерновых культур в условиях Красноярской лесостепи // Агрохимия. 1994. № 11. С. 16–24.
13. *Гребенников А.М.* Обеспеченность культур элементами минерального питания в смешанных посевах // Агрохимия. 2004. № 5. С. 26–35.
14. *Гребенников А.М.* Влияние смешивания посевов на вынос элементов минерального питания надземной массой растений в сидеральных сообществах // Агрохимия. 2005. № 6. С. 26–35.
15. *Гребенников А.М.* Содержание подвижного фосфора и обменного калия в типичных черноземах ЦЧО под смешанными посевами // Агрохимия. 2009. № 5. С. 13–21.
16. *Гребенников А.М.* Методические аспекты оценки агроценоотического эффекта в сидеральных агроценозах для воспроизводства плодородия типичных черноземов ЦЧЗ // Землеустр-во, кадастр и мониторинг земель. 2010. № 9. С. 79–89.
17. *Валько В.П., Щур А.В.* Особенности биотехнологического земледелия. Минск: БГАТУ, 2011. 196 с.
18. *Столбовой В.С., Гребенников А.М., Оглезнев А.К.* Реестр индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Верс. 1.0 Коллектив. монография. Иваново: ПресСто, 2021. 260 с.
<https://doi.org/0.51961/9785604637401>
19. *Гребенников А.М.* Воспроизводство почвенного плодородия. Сидерация черноземов смешанными агроценозами. Saarbrücken: Palmarium academic publishing, 2012. 396 p.
20. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
21. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
22. *Гребенников А.М.* Оценка взаимовлияния культур в смешанных посевах // Агрохимия. 2003. № 1. С. 68–73.

Effect of Binary Sideral Mixtures with Buckwheat on the Activity of Cellulose-Destroying Bacteria and the Quality of Arable Chernozems

A. M. Grebennikov

*Federal Research Center "V.V. Dokuchaev Soil Institute"
Pyzhevsky per. 7, Moscow 109017, Russia*

E-mail: gream1956@gmail.com

It was studied the use of sideral binary mixtures of 2 varieties of buckwheat among themselves, as well as with soy and sunflower on the activity of cellulose-destroying bacteria (CDB) and humus content in the arable and sub-arable horizons of typical heavy loamy chernozems. It is shown that the use of mixed agricultural communities for sideration in comparison with pure crops can significantly increase the number of agronomically valuable microflora and humus content. The activity of CDB has increased most significantly and the humus content has increased both in arable and sub-arable horizons, and there has also been an increase in the yield of grain crops under the influence of the agrocenotic effect in the crops of binary sideral mixtures of buckwheat of the Winged variety and buckwheat of the Demeter variety with sunflower. Relationships were established between the productivity of siderates, the yield of grain crops and the activity of CDB in the soil of both arable and sub-arable horizons, reliable at a 5% significance level. The dependences between the yield indicators and the humus content in the soils were less pronounced and in most cases were unreliable. The close relationship established between the values of CDB activity and humus content allowed us to conclude that the greater the CDB activity, the higher the quality of the studied soils.

Key words: binary sideral mixtures, siderate productivity, grain yield, agrocenotic effect, microbial activity, humus content, soil quality.