

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ
НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ
И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

В.И. ТУРУСОВ, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН
ORCID ID 0000-0001-5147-1214

Л.А. ПИСКАРЕВА, кандидат сельскохозяйственных наук ORCID ID 0000-0001-6624-0179

Е.Г. БОЧАРНИКОВА, аспирант ORCID ID 0000-0001-9806-3242

ФГБНУ «ВОРОНЕЖСКИЙ ФАНЦ ИМЕНИ В.В. ДОКУЧАЕВА», E-mail: niish1c@mail.ru

В статье приводятся результаты трехлетних наблюдений в условиях юго-востока ЦЧЗ за влиянием различных доз минеральных удобрений на биологическую активность почвы и урожайность озимой пшеницы. Увеличение уровня удобренности озимой пшеницы способствует повышению биологической активности почвы. Увеличение общей численности почвенных микроорганизмов наблюдалось в основном за счет увеличения группы бактерий, усваивающих органические соединения азота (МПА) и увеличение численности аммонификаторов и бактерий, усваивающих минеральный азот (ККА). На повышенном фоне удобренности, рост численности бактерий, растущих на МПА, составил 16,8 и 30,1% по фазам развития растений озимой пшеницы, а бактерий, растущих на ККА, на 18,7 и 12,2% соответственно. В целом значительная численность протеолитической и амилитической микрофлоры (МПА + ККА) может свидетельствовать о достаточно высоком уровне плодородия почвы. Увеличение норм внесения удобрений способствовало достоверному повышению урожайности. Средняя прибавка по всем фонам удобренности составила от 0,20 до 0,51 т/га. Самая высокая продуктивность зарегистрирована на повышенном уровне удобренности $N_{50}P_{50}K_{50}+N_{30}$ – 0,51 т/га. Дальнейшее увеличение норм удобрений привело к снижению урожайности.

Ключевые слова: озимая пшеница, урожайность, уровень удобренности, микробиологическая активность, микроорганизмы, грибы.

**INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON THE MICROBIOLOGICAL
ACTIVITY OF THE SOIL AND WINTER WHEAT YIELD**

V.I. Turusov, L.A. Piskareva, E.G. Bocharnikova

FSBSI «V.V. DOKUCHAEV FEDERAL AGRARIAN SCIENTIFIC CENTER, VORONEZH»

Abstract: *The article presents the results of three-year observations in the conditions of the South-East of the cdz for the influence of various doses of mineral fertilizers on the biological activity and productivity of winter wheat. Increasing the level of fertilization of winter wheat contributes to increasing the biological activity of the soil. The increase in the total number of soil micro-organisms was observed mainly due to an increase in the group of bacteria that accumulate organic nitrogen compounds (MPA) and an increase in the number of ammonifiers and bacteria that assimilate mineral nitrogen (KKA). Against an increased background of fertilization, the growth of the number of bacteria growing on MPA was 16.8 and 30.1% for the phases of development of winter wheat plants, and the number of bacteria growing on KKA was 18.7 and 12.2%, respectively. In General, a significant number of proteolytic and amylolytic microflora (MPA + KAA) may indicate a fairly high level of soil fertility. The increase in fertilizer application rates contributed to a significant increase in yield. The average increase in all fertilization backgrounds was from 0.20 to 0.51 t / ha. The highest productivity was registered at the increased*

level of fertilizer $N_{50}P_{50}K_{50}+N_{30}-0.51$ t / ha. Further increase in fertilizer rates led to a decrease in yield.

Keywords: winter wheat, yield, fertilization level, microbiological activity, microorganisms, fungi.

Почва является главным компонентом агроэкосистем, функционирование которой во многом обусловлено деятельностью микроорганизмов. Важнейшее свойство экосистем, и в том числе микробного комплекса почвы, сохранять и поддерживать значение своих параметров и структуры в пространстве и во времени, качественно не меняя характер функционирования. Падение продуктивности культур указывает на потерю стабильности агроэкосистем. Однако, это уже конечная стадия ее отклика на имеющиеся возмущения, которым предшествуют изменения других параметров – физико-химических свойств почв, сбалансированности биохимических циклов, фитотоксической активности микробных сообществ [1].

Уровень плодородия почвы и степень ее окультуренности находятся в прямой зависимости друг от друга и определяются агрофизическими, агрохимическими и биологическими факторами. Агрохимические свойства почв тесно связаны с биологической активностью почвенной среды, в которой под влиянием микроорганизмов осуществляется трансформация органических и минеральных веществ. Численность микроорганизмов, определяющая как интенсивность круговорота веществ в экосистеме, так и интенсивность почвообразовательного процесса, является составной частью почвенного органического вещества, его наиболее подвижной и активной частью [2, 3].

Биологическая активность почвы является одним из существенных показателей, находящихся в тесной связи с почвенным плодородием. Ее можно определить как сумму микробиологических процессов и биохимических реакций, которые приводят к возобновлению запаса использованных питательных веществ почвы. Поэтому биологическая активность почвы, как совокупность биохимических реакций, происходящих в почве, оказывает огромное влияние на условия роста и развития культурных растений [4].

Важным звеном, которое во многом обеспечивает экологическое равновесие любой почвенной экосистемы, является деятельность микроорганизмов. При введении новых технологических приемов земледелия, новых средств защиты или стимуляции роста растений, минеральных удобрений анализ показателей жизнедеятельности почвенных микроорганизмов становится особенно важным [5].

Результаты исследований ученых показывают, что применение минеральных удобрений способствует увеличению общей численности микроорганизмов, в целом, активизирует общую микрофлору почвы и непосредственно влияет на изменение в ее структуре. А избирательное их влияние на почвенную микрофлору заметно изменяет соотношение между различными физиологическими группами. Происходит увеличение в структуре микробного ценоза микроорганизмов, участвующих в процессах и биологической азотфиксации [6].

Применение удобрений и пестицидов может изменять структуру микробных сообществ почвы, количественные соотношения различных групп микроорганизмов, степень их разнообразия и активность. Использование микробиологических показателей при оценке технологических приемов позволит правильно определить наиболее рациональные разработки, избегать нежелательных сопутствующих эффектов [7].

Применение азотных удобрений повышает численность бактерий, использующих органические формы азота в середине вегетации в 1,1-1,3 раза. Численный состав микроорганизмов, использующих минеральные формы азота в середине вегетации от азотных удобрений, повышается в 1,3-2,0 раза. Внесение азотных удобрений повышает численность грибов в 1,1-1,5 раза. Плотность азотобактера увеличивает на 0,9%. Биологическая активность чернозема выщелоченного составляет 31,8%. От азотных

удобрений повышается на 10,9 %, что положительным образом отражается на урожайности яровой пшеницы [8].

Почвенные микроорганизмы выделяют в процессе жизнедеятельности различные физиологически активные соединения, способствуют переводу одних элементов в подвижную форму и, наоборот, закреплению других в недостаточную для растений форму [9]. Поэтому для оценки деятельности почвенной биоты во время вегетации озимой пшеницы были проведены наблюдения за изменением биологической активности почвы по вариантам опыта.

Условия, материалы и методы

Изучение действия различных доз применения минеральных удобрений проводилось в 2016-2018 гг. в стационарном опыте отдела агрохимии и кормопроизводства, в условиях юго-востока ЦЧЗ. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднегумусный, среднетяжелый, тяжелосуглинистый со следующей агрохимической характеристикой: содержание гумуса – 7,0%, рН_{кcl} – 7,0%, гидролитическая кислотность – 1,3 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований – 46,1 мг-экв/100 г почвы, валовое содержание азота – 0,297%, фосфора – 0,170%, калия – 1,82%. Содержание подвижных форм фосфора и калия колеблется соответственно от 70 до 120 и от 65 до 115 мг/кг почвы.

Климат зоны, где проводились исследования, характеризуется умеренной континентальностью с относительно холодной зимой, жарким, нередко засушливым летом, температурными колебаниями в течение года. Средняя температура в течение года составляет +5,7°C. Самый теплый месяц – июль, его средняя температура +20,1°C. Континентальность усиливается с северо-запада на юго-восток. Здесь один раз в 3-4 года отмечаются засухи. Годовое количество атмосферных осадков колеблется от 500 мм на северо-западе до 400 мм на юго-востоке. Максимум их приходится на июнь-июль. Сумма среднесуточных активных температур (+10°C и выше) на северо-западе области составляет 2500-2600°C, а на юго-востоке достигает 2800-3000°C.

Закладку опыта и математическую обработку данных производили по методике Б.А. Доспехова [10]. В схему стационарного опыта включены четыре уровня обеспеченности почвы элементами минерального питания: естественный (без удобрения), слабоудобренный (0,5 рекомендуемой дозы – N₃₀P₃₀K₃₀), повышенный (1,0 рекомендуемой дозы – N₅₀P₅₀K₅₀+N₃₀) и высокий (1,5 рекомендуемой дозы – N₆₀P₆₀K₆₀+N₃₀+N₃₀+N₃₀). Культура – озимая пшеница, сорт Северодонецкая юбилейная. Предшественник – горох. Опыт заложен в трехкратной повторности. Размещение повторений и делянок систематическое. Схема опыта построена по методу расщепленных делянок. Делянки первого порядка (удобрение) – 21,6 x 55 м, площадь 1188 м². Делянки второго порядка (сорт) – 3,6 x 11 м², площадь 39,6 м². Агротехника возделывания озимой пшеницы проводилась в соответствии с рекомендациями для Воронежской области.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты проведенных исследований показали, что увеличение дозы применяемых удобрений до N₅₀P₅₀K₅₀+N₃₀ способствует увеличению общего количества микроорганизмов от 42,2 до 47,9 млн КОЕ в 1 г абсолютно сухой почвы (АСП) в фазу выхода в трубку и от 35,3 до 39,5 млн КОЕ в 1 г АСП в фазу колошения (табл. 1). Значения общей численности микроорганизмов при этом превышало общую микробиологическую активность по сравнению с контролем на 13,5% и 11,9% соответственно. В образцах, отобранных в фазу колошения, наблюдается общее снижение микробиологической активности по сравнению с фазой выхода в трубку, при этом сохраняется общая тенденция: наибольшая активность наблюдается в варианте с повышенной дозой внесения минеральных удобрений, и показатель несколько снижается при внесении высоких доз минеральных туков.

Увеличение общей численности почвенных микроорганизмов наблюдалось в основном за счет увеличения группы бактерий, усваивающих органические соединения азота (МПА) и увеличение численности аммонификаторов и бактерий, усваивающих минеральный азот

(ККА). Численность бактерий, ассимилирующих минеральный азот (КАА), на всех вариантах превышала численность бактерий, усваивающих органические соединения азота (МПА), что свидетельствует об увеличении темпов минерализации, способствуя накоплению потенциального плодородия почвы и повышению содержания гумуса. На повышенном фоне удобренности рост численности бактерий, растущих на МПА, составил 16,8 и 30,1% по фазам развития растений озимой пшеницы, а бактерий, растущих на ККА, на 18,7 и 12,2% соответственно. В целом значительная численность протеолитической и амилалитической микрофлоры (МПА + КАА) может свидетельствовать о достаточно высоком уровне плодородия почвы.

Таблица 1

**Биологические показатели почвы в посевах озимой пшеницы
в 0-30 см слое, в среднем за 2016-2018 гг.**

Уровень удобренности	МПА	КАА	Актино- мицеты	Минера- лизаторы гумуса	Общее количество микро- организмов	КАА/ МПА	Пм *
Фаза выхода в трубку							
N ₀ P ₀ K ₀	7,96	18,4	2,46	13,4	42,2	2,31	11,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	8,26	20,7	2,54	13,5	45,0	2,50	11,6
N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀ +N ₃₀	9,30	21,9	2,65	14,1	47,9	2,35	13,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₃₀ +N ₃₀ +N ₃₀	8,95	21,8	2,66	14,2	47,6	2,44	12,6
Фаза колошения							
N ₀ P ₀ K ₀	6,66	14,7	2,39	11,5	35,3	2,20	9,68
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	7,31	16,1	2,50	13,3	39,2	2,20	10,6
N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀ +N ₃₀	8,67	16,5	2,41	11,9	39,5	1,90	13,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₃₀ +N ₃₀ +N ₃₀	8,03	15,9	2,59	11,4	37,9	1,98	12,1

*Пм = (МПА + КАА) × (МПА/КАА)

Для оценки интенсивности и направленности микробиологических процессов в почве весьма информативными показателями являются коэффициент минерализации (ККА/МПА) и коэффициент трансформации органических соединений (МПА + КАА) × (МПА/КАА).

Коэффициент минерализации характеризует скорость разложения органических остатков в почве. В наших исследованиях значение коэффициента минерализации говорит об интенсивном процессе минерализации. При этом в фазу колошения прослеживается уменьшение степени минерализации органического вещества.

Повышение коэффициента трансформации органического вещества свидетельствует о том, что микробиологические процессы идут более интенсивно. Степень микробиологического синтеза в органическое вещество почвы на вариантах N₅₀P₅₀K₅₀+ N₃₀ в фазу выхода в трубку возросла на 16,2% и в фазу колошения на 36,7% по сравнению с контролем. На уровне удобренности N₆₀P₆₀K₆₀+N₃₀+N₃₀+N₃₀ прослеживается небольшое снижение коэффициента трансформации органического вещества по сравнению с предыдущим вариантом.

Наибольшая численность минерализаторов гумуса отмечается в фазу выхода в трубку на повышенном и высоком уровнях удобренности севооборота, где их количество увеличилось с 13,4 до 14,1 и 14,2 млн клеток в 1 г АСП соответственно. В фазу колошения самый высокий показатель численности микроорганизмов отмечен на варианте N₃₀P₃₀K₃₀. При этом отмечается общая тенденция снижения этого показателя в более поздний период развития растений озимой пшеницы.

Важной составляющей почвенного плодородия, связанной с азотным циклом в почве, является активность азотобактера (табл. 2). Наибольшее его содержание наблюдается в почве на повышенном уровне удобрения севооборота – 333 и 369 КОЕ/50 г почвы в разные фазы соответственно. К концу вегетации озимой пшеницы исследуемый показатель возрос в среднем на 21,1%.

Нитрификационная активность почвы в посевах озимой пшеницы была примерно на одном уровне и изменялась в пределах от 0,48 до 0,51 тыс. клеток в 1 г АСП в фазу выхода в трубку, и от 0,38 до 0,42 тыс. клеток в 1 г АСП в более позднюю фазу.

Таблица 2

**Содержание микроорганизмов в посевах озимой пшеницы
0-30 см слое, в среднем за 2016-2018 гг.**

Уровень удобрения	Грибы	Клетчатковые	Нитрификаторы	Азотобактер, в 50 г. АСП
	тыс. клеток в 1г абсолютно сухой почвы			
Фаза выхода в трубку				
N ₀ P ₀ K ₀	28,0	58,8	0,48	213
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	31,6	62,8	0,51	243
N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀ +N ₃₀	32,2	76,7	0,48	333
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₃₀ +N ₃₀ +N ₃₀	36,4	78,5	0,48	277
Фаза колошения				
N ₀ P ₀ K ₀	33,7	50,9	0,42	250
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	34,3	58,5	0,42	325
N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀ +N ₃₀	30,9	56,9	0,42	369
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₃₀ +N ₃₀ +N ₃₀	32,1	57,9	0,38	339

Грибы главным образом участвуют в начальных стадиях разложения органических соединений, при этом синтезируются органические вещества, определяющие плодородие почвы. Внесение минеральных удобрений оказывает положительное влияние на рост численности грибов. В более ранние сроки их численность возрастает с увеличением доз внесенных минеральных туков. Увеличение по сравнению с контролем на варианте с высокими дозами составляет 29,9%. В более поздние сроки численность грибной микрофлоры по вариантам менялась незначительно.

Внесение различных доз минеральных удобрений увеличило численность целлюлозоразлагающих групп микроорганизмов, количество которых возросло в фазу трубкования озимой пшеницы на 6,7, 30,4 и 33,4% по сравнению с вариантом без удобрений. Микробиологическая активность почвы отражается на урожайности озимой пшеницы, которая является конечным результатом повышения уровня удобрения севооборота (табл. 3).

Таблица 3

Урожайность озимой пшеницы, в среднем за 2016-2018 гг.

Уровень удобрения	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га
N ₀ P ₀ K ₀	3,82	-
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	4,11	0,29
N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀ +N ₃₀	4,33	0,51
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₃₀ +N ₃₀ +N ₃₀	4,02	0,20
Среднее	4,07	0,25

Увеличение норм внесения удобрений способствовало достоверному повышению урожайности. Средняя прибавка по всем фонам удобрения составила от 0,20 до 0,51 т/га.

Самая высокая продуктивность зарегистрирована на повышенном уровне удобрённости $N_{50}P_{50}K_{50}+N_{30}$ – 0,51 т/га. Дальнейшее увеличение норм удобрений привело к снижению урожайности.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что увеличение уровня удобрённости озимой пшеницы способствует повышению биологической активности почвы. Увеличение общей численности микроорганизмов наблюдалось в основном за счет увеличения группы бактерий, усваивающих органические соединения азота (МПА) и групп бактерий, усваивающих минеральный азот (ККА). Наибольшая их численность отмечена на фоне $N_{50}P_{50}K_{50}+N_{30}$. В целом исследования показали, что микробиологические процессы в почве идут более интенсивно с увеличением доз вносимых минеральных удобрений.

Действие минеральных удобрений достоверно увеличило продуктивность озимой пшеницы. Максимальная урожайность отмечалась в варианте с дозой внесения $N_{50}P_{50}K_{50}+N_{30}$ – 4,33 т/га.

Литература

1. Кураков А.В., Козлова Ю.Е. Устойчивость микробного комплекса дерново-подзолистых почв к действию минеральных удобрений // Почвоведение, - 2002. – № 5. – С. 595-600.
2. Мухина С.В., Щамрай Н.В., Балюнова Е.А. Микробиологическая активность чернозема обыкновенного ЦЧЗ на различных агрофонах // Научно-практические основы сохранения и воспроизводства плодородия почв ЦЧЗ: материалы заседания Территориального координационного совета «Проблемы земледелия ЦЧЗ» – Каменная Степь, 25-26 июня 2008 года. – Воронеж: «Истоки», - 2008. – С. 79-81.
3. Кузина Е.В. Плодородие почвы и приемы его воспроизводства // Современные тенденции в научном обеспечении АПК Верхневолжского региона. – Иваново. - 2018. – Т. 1 – С. 92-98.
4. Павлюченко А.У., Пискарева Л.А., Матвиенко И.Ф. Влияние средств химизации на структуру микробного ценоза в почве под эспарцетом разных лет пользования // Достижение современной науки – сельскохозяйственному производству: материалы Всероссийской научно-практической конференции (28-29 мая 2013 г., г. Великий Новгород-Борки) – ГНУ Новгородский НИИСХ Россельхозакадемии. – Издат. Бумеранг. - 2013. – С. 146-149.
5. Матаруева И. А. Об оценке микробиологической активности дерново-подзолистых почв // Почвоведение, - 1998. – № 1. – С. 78-87.
6. Турусов В.И., Дронова Н.В. Влияние основной обработки агрохимикатов на микробиологический состав почвы // Модернизация агротехнологий в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья: сб. научных докладов Всероссийской научно-практической конференции, 18-19 июня 2014 г. – Каменная Степь. – Воронеж: «Истоки», - 2014. – С. 141-144.
7. Благовещенская Г.Г., Духанина Т.М. Микробные сообщества почв и их функционирование в условиях применения средств химизации // Агрохимия. – № 2. - 2004. – С. 80-88.
8. Ступина Л.А. Влияние стимуляторов роста и азотных минеральных удобрений на микробиологическую активность чернозема выщелоченного и урожайность яровой пшеницы в условиях Алтайской степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета - 2019. – № 3. – С. 5-11.
9. Лобков В.Т., Абакумов Н.И., Бобкова Ю.А., Золотухин А.И., Кружков Н.К., Наполов В.В, Плыгун С.А., Цой М.Ф. Плодородие без «химии»: основы биологизации земледелия Центральной России на примере Орловской области // Орел: Издательство ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, - 2016. – 160 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Изд. 5-е доп. и перераб. – М.: Агропром-издат, - 1985. – 351 с.

References

1. Kurakov A. V., Kozlova Yu. E. Stability of the microbial complex of sod-podzolic soils to the action of mineral fertilizers. *Soil Science*, 2002, No. 5, pp. 595-600. (In Russian)
2. Mukhina S. V., Shchamrai N. V., Balyunova E. A. Microbiological activity of common black-earth CCHS on various agrophones. Scientific and practical bases of conservation and reproduction of soil fertility of the cchz: materials of the session of the Territorial coordination Council "Problems of agriculture of the cchz" - Kamennaya Steppe, June 25-26, 2008. - Voronezh: type. "Istoki", 2008, pp. 79-81. (In Russian)
3. Kuzina E. V., soil Fertility and the methods of its reproduction / Modern trends in scientific providing of AIC of the upper Volga region. — Ivanovo. – 2018. Vol. 1. – pp. 92-98. (In Russian)
4. Pavlyuchenko A. U., Piskareva L. A., Matvienko, I. F. Influence of chemicals on the structure of microbial cenosis in soil under different sainfoin years of use . Achievement of modern science-agricultural production: materials of the all-Russian scientific and practical conference (May 28-29, 2013, Veliky Novgorod-Borki) - GNU Novgorod research Institute of the Russian agricultural Academy. *Boomerang Publisher*, 2013, pp. 146-149. (In Russian)
5. Matarawa I. A. On the assessment of microbiological activity of sod-podzolic soils. *Soil Science*, 1998, No. 1, pp. 78-87.

6. Turusov V. I., Dronova N. V. Influence of the main processing of agrochemicals on the micro-biological composition of the soil. Modernization of agricultural technologies in adaptive landscape agriculture of the Central Chernozem region: collection of scientific reports of the all-Russian scientific and practical conference, June 18-19, 2014-Kamennaya Steppe. – Voronezh: publishing house "Istoki", 2014, pp. 141-144. (In Russian)
7. Blagoveshchenskaya G. G., Dukhanina T. M. Microbial communities of soils and their functioning in the conditions of application of chemical means. *Agrochemistry*. 2004, No. 2, pp. 80-88. (In Russian)
8. Stupina L. A. Influence of growth stimulators and nitrogen fertilizers on the microbiological activity of leached Chernozem and productivity of spring millet in the conditions of the Altai steppe of the Altai territory. *Vestn. Altaisk. state. Agrar. Un-ta.* - 2019. - no. 3, pp. 5-11. (In Russian)
9. Lobkov V.T., Abakumov N.I., Bobkova Yu. A., Zolotukhin A. I., Kruzhkov N. K., Polov V. V., Plygun S. A., Tsoi M. F. Fertility without "chemistry": fundamentals of biologization of agriculture in Central Russia on the example of the Oryol region. Orel: *Publisher of the Orel State Agrarian University*, 2016. – 160 p. (In Russian)
10. Dospikhov B. A. Methodology of field experience. The 5th ed., revised. - M.: *Agroprom-Izdat*, 1985. - 351 p. (In Russian)