

УДК 579.64: 631.42

© 2008

Н. В. Патыка, Ю. В. Круглов

Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии РАСХН

М. А. Мазиров, Н. Ф. Хохлов

ФГОУ ВПО Российский государственный аграрный университет МСХА им. К. А. Тимирязева

В. Ф. Патыка

Институт микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА В СВЕРХДЛИТЕЛЬНОМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ

Приведены данные сравнительного анализа численности разных групп почвенной микрофлоры, мультисубстратное тестирование прокариот, физико-химические исследования подзолистой почвы при сверхдлительном возделывании льна. Выявлено, что бессменная культура льна приводит к увеличению токсичности почвы, обеднению ресурсов микрофлоры.

В аграрной области на протяжении последнего столетия изучаются вопросы, связанные с плодосменной культур. Одним из важнейших является вопрос о «почвенном утомлении», особенно характерным для льна-долгунца. Изучение «почвоутомления» при помощи метода длительного полевого опыта дает возможность получить новые знания о продолжительном влиянии земледельческих факторов на плодородие почвы и продуктивность растений, позволяющие обоснованно вести рациональное земледелие [1, 2]. В настоящее время отсутствует теория метода длительного полевого опыта. Поэтому большая часть исследований ведется на базе методологии и рекомендаций для краткосрочных полевых опытов. То есть, априори принимается, что внешние агроэкологические условия стационарны. Это позволяет обобщать многолетние данные по вариантам

опыта и обоснованно проводить необходимые динамические сравнения. Выявленные на качественном уровне в первые годы опыта эффекты вариантов воспроизводятся и изменяются только количественно. Длительный полевой опыт Российского государственного аграрного университета МСХА имени К. А. Тимирязева заложен в 1912 г. и представляет собой уникальное экспериментальное средство для изучения комплекса фундаментальных проблем.

Целью работы было изучение бактериальной микрофлоры при анализе подзолистой почвы для выявления особенностей трансформации различных субстратов бактериальным комплексом в почве.

Методы исследований. Изучение почв осуществлялось на базе сверхдлительного (с 1912 года) стационарного полевого опыта Российского государственного аграрного университета Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева. Опытное поле находится в центральной части Русской равнины, на окраине склона Клинско-Дмитровской гряды. Рельеф близлежащей территории представляет моренную равнину на водоразделе рек Москвы и Яузы и возвышается над уровнем реки Москвы на 60 м. Опытный участок размером 1,53 га с ровной макроповерхностью и небольшим уклоном (1 град.) на северо-запад. Почвообразующие породы представлены четвертичными отложениями супесчаной и суглинистой бурой морены с прослойками (10-22 см) юрских глин. Международное название почвообразующей породы – суглинистая красно-бурая плейстоценовая морена.

Почва дерново-слабоподзолистая, старопахотная кислая и заплывающая (по классификации ФАО-*Podsoluvisol*). Согласно данным гранулометрического анализа, в пахотном (0...20 см) слое почвы содержалось фракций менее 0,01 мм 22,0% [1].

Образцы почв отбирали осенью после сбора урожая льносоломки (*Linum usitatissimum L*) из верхнего 15 см пахотного горизонта. Отбор почвенных образцов для микробиологического анализа осуществлялся из следующих вариантов опыта:

- | | |
|---------------------|--|
| | 1. <i>Linum usitatissimum L</i> (контроль) |
| Бессменная культура | 2. <i>Linum usitatissimum L</i> + NPK |
| | 3. <i>Linum usitatissimum L</i> + навоз |
| | 4. <i>Linum usitatissimum L</i> + (NPK+ навоз) |
| Севооборот | 5. <i>Linum usitatissimum L</i> +NPK |

Количество почвенных микроорганизмов определяли общепринятыми микробиологическими методами (методики ВНИИСХМ), учитывая следующие трофические группы: бактерии, актиномицеты, грибы, а также мульти-субстратное тестирование почвенного бактериального комплекса с различными источниками углерода (сахара, аминокислоты, кислоты). Полученные данные были пересчитаны на 1 грамм абсолютно сухой почвы [3,4]. Проводили оценку токсичности почвы по ингибированию роста *Chlorella vulgaris* при возделывании льна-долгунца бессеменно и в севообороте.

Основные агрофизические исследования выполняли по методикам, изложенным в руководстве А. Ф. Вадюниной и З. А. Корчагиной [5]. Индивидуальные пробы отбирали по сеткам трансектам, позволяющим анализировать пространственную структуру [6, 7].

Полученные данные обрабатывали методами описательной (вариационной) статистики и регрессионного анализа [8, 9] на персональном компьютере с использованием программы EXEL. При структурном анализе данных использовали оценки непараметрической статистики [10, 11].

Результаты и их обсуждение. Исследованиями бактериальной микрофлоры (рис. 1) было установлено, что активность ее возрастала на фоне севооборотного возделывания льна-долгунца, а также и в бессеменных посевах, что было вызвано применением минеральных и органических удобрений. Следует отметить, что численность бактерий на севооборотном фоне возделывания льна-долгунца была большей по сравнению с бессеменным возделыванием.

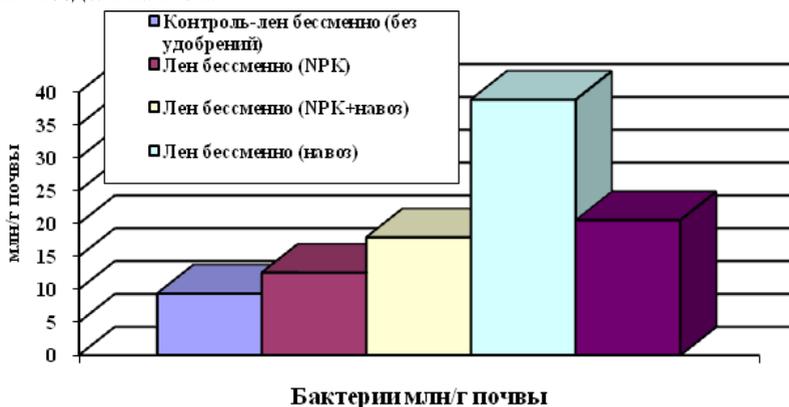


Рис. 1. Численность бактериальной микрофлоры в дерново-подзолистой почве при бессеменном возделывании льна-долгунца (после уборки)

Численность актиномицетов и грибов (рис. 2) была прямо противоположной бактериальной, т.е. их активность снижалась на фоне севооборотного возделывания льна-долгунца, а в бессменных посевах возрастала. Отмечено, что применение минеральных и органических удобрений влияло на численность грибов и актиномицетов.

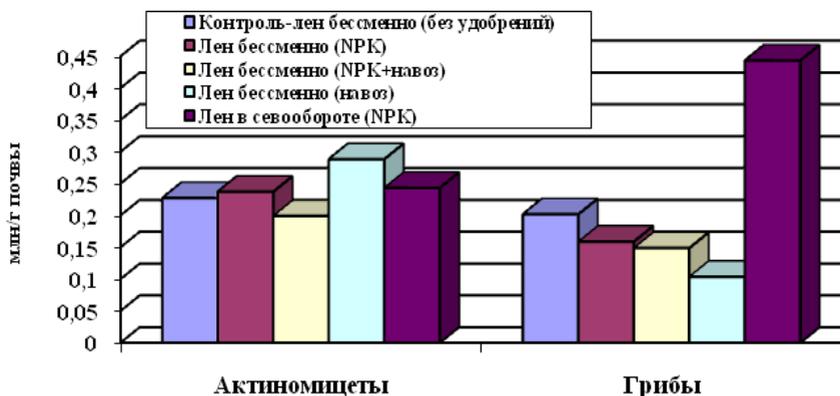


Рис. 2. Численность разных групп микроорганизмов в дерново-подзолистой почве при бессменном возделывании льна-долгунца (после уборки)

Работы ученых микробиологов показали, что для разных почв и агроприемов характерны комплексы почвенных микроорганизмов, по-разному использующие в своем метаболизме различные источники углерода. Исследованиями было установлено (рис. 3), что активность бактериальной микрофлоры возрастала на средах, содержащих сахара – маннозу и арабинозу, кислоты – лимонную и янтарную, аминокислоты – тирозин.

При оценке токсических свойств почвы по ингибирующему влиянию на тест-объекте *Chlorella vulgaris* было установлено, что все изучаемые образцы почвы обладали токсичностью 20%, среди которых наиболее токсичным 60% оказался вариант (навоз + NPK) на фоне бессменного возделывания льна долгунца.

Анализ образцов, сформированных из объединенных проб, показал, что длительный пар приводит к резкому снижению гумуса и изменяет в неблагоприятную сторону реакцию среды (табл. 1). Аналогичная тенденция отмечена и при возделывании *Linum usitatissimum L.* без удобрений. Систематическое внесение минеральных удобрений (NPK) нормализует содержание гумуса и оптимизирует почвенную среду (табл. 2).

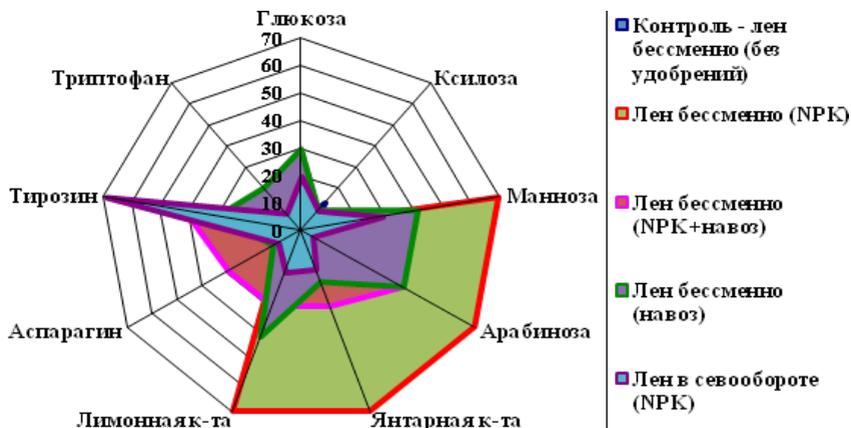


Рис. 3. Мультисубстратное тестирование микрофлоры в дерново-подзолистой почве при бесменном выращивании льна-долгунца *Linum usitatissimum L.* ТСХА г. Москва (после уборки)

Влияние агрофизического состояния на структуру и динамику микробного ценоза в осенний период, имеет решающее значение для решения проблем уплотнения почвы при возделывании полевых культур [12]. Понятно, что оставив растительные остатки на поверхности до устойчивых заморозков, или обеспечив равномерное воздействие физических факторов при равномерном размещении в пахотном слое, можно по-разному влиять на интенсивность протекания микробиологических процессов. Ясно и то, что без поступления достаточного количества растительных остатков через определенный период в первом минимуме выступают проблемы физической деградации [13].

1. Оценка токсичности (ингибирование роста *Chlorella vulgaris*) дерново-подзолистой почвы при возделывании льна-долгунца бесменно и в севообороте

№	Варианты опыта	Ингибирование роста водорослей, %
1	Контроль – лен бесменно (без удобрений)	20
2	Лен бесменно (NPK)	20
3	Лен бесменно (NPK+ навоз)	60
4	Лен бесменно (навоз)	20
5	Лен в севообороте (NPK)	20

2. Агрохимические свойства почвы (слой 0-20 см)

Варианты опыта	Пар бессменный	<i>Linum usitatissimum L.</i>	
		Бессменно	Севооборот
Гумус, %			
Без удобрений	0,60	1,5	1,0
НРК	0,72	1,6	1,4
рН сол.			
Без удобрений	4,1	4,5	4,0
НРК	4,4	4,8	5,1

Внутриделяночная влажность является базовой характеристикой экспериментальных условий при исследовании биологических объектов. Информация по внутриделяночной влажности почвенного покрова позволяет обоснованно проводить отбор проб и грамотно интерпретировать результаты по основным агроэкологическим показателям. Чтобы иметь общепространственное представление о полях влажности с каждой делянки из пахотного слоя по сетке 4x4 были отобраны образцы. Проведя статистическую обработку на персональном компьютере с помощью программного комплекса EXEL было выявлено, что не удобренные делянки отличаются чрезмерно высоким и нередко ненормализованным распределением (табл. 3). В результате локальных более сухих или влажных зон оценка средней смещена до 1,3%. При отборе 16 проб с делянки, доверительный интервал, рассчитанный на основе аппроксимации распределения, не позволит выявить статистические различия по вариантам на 5%-ном уровне. Делянка с минеральным фоном питания в севообороте, как по стандартному отклонению, так и коэффициенту вариации, отличается от делянки бессменных посевов. Анализ пространственной структуры внутриделяночной изменчивости показывает, что наиболее однородная часть поля влажности расположена в центральной части (ядре) делянки. Отбор даже 3-4 образцов из этой части обеспечит достаточную точность и исключит опасность смещения при формировании объединенной пробы (смешивании). Однако такие «нормальные» условия отсутствуют на делянке без удобрений бессменных посевов. Здесь выявлена тесная (коэффициент корреляции 0,76) множественная линейная связь величины влажности с координатами ($y = 15,0 - 2,2X_1 - 0,3X_2$, где X_1 и X_2 координаты точки опробования). Чтобы учесть и элиминировать трендовую составляющую погрешности в этом варианте отбор проб лучше проводить по двум трансектам вдоль и поперек узкой стороны делянки. Для предотвращения нерепрезентативности выборки, расстояние между точками опробования

лучше принимать одинаковым, но не более 0,25 см. В этом случае точки опробования познавательной сети обязательно накроют уплотненную колесом колею, а использование медианы дадут информацию о чистом влиянии фактора.

3. Влажность почвы (% , после уборки)

Варианты опыта	Статистические оценки					
	Среднее	Стандартное отклонение	Медиана	Min	Max	Коэффициент вариации, %
Бессменные посевы						
О	<u>8.7</u> 11,8	<u>3.4</u> 0,8	<u>10.0</u> 11,8	<u>4.0</u> 11,0	<u>13.0</u> 13,0	<u>39.3</u> 6,8
Навоз	<u>10.3</u> 10,0	<u>0.7</u> 0,6	<u>10.2</u> 10,3	<u>8.6</u> 9,1	<u>11.0</u> 10,4	<u>6.7</u> 6,0
РК	<u>12.0</u> 12,8	<u>0.8</u> 0,8	<u>12.2</u> 12,3	<u>10.9</u> 12,3	<u>13.0</u> 14,1	<u>7.1</u> 6,2
Севооборот						
НПК	<u>6.8</u> 5,8	<u>1.6</u> 1,6	<u>7.4</u> 5,7	<u>4.1</u> 4,3	<u>8.8</u> 7,5	<u>23.7</u> 27,6

Примечание. В числителе характеристики по 16 точкам опробования, в знаменателе характеристики по 4 точкам опробования из центральной части (ядра) делянки.

Определение удельной (табл. 4) поверхности почвы в образцах, отобранных для влажности, по ускоренному методу П.М. Сапожникова показало, что для большинства вариантов центральная часть делянки представляет наибольший интерес для отбора проб, поскольку коэффициент вариации здесь в два-три раза меньше общей вариации делянки. Следует отметить, что предварительный этап исследований не преследовал точного определения этой характеристики, поэтому перед экспонированием образцы почвы не измельчались до однородного состояния. Однако по некоторым делянкам обнаруживается ожидаемый параллелизм с варьированием влажности. Так, вполне объяснимо значительное варьирование повышенных значений удельной поверхности на не удобренной делянке в севообороте, которое явно является результатом локального намыва илистой фракции, напрямую связанной со структурно-функциональными параметрами.

Вместе с тем, неясны причины отсутствия значительной пространственной пестроты на делянке севооборотного участка, поскольку она в большей степени подвергалась локальному воздействию водной эрозии.

Очевидно, необходимо не только повторить этот анализ, но и увеличить его информативность, применив рекомендуемую в таких случаях более «плотную» (5x5) регулярную-случайную систему опробования.

4. Удельная поверхность почвы (м³/г, после уборки)

Варианты опыта	Статистические оценки					
	Среднее	Стандартное отклонение	Медиана	Min	Max	Коэффициент вариации, %
Бессменные посевы						
О	<u>18,7</u> 19,8	<u>1,5</u> 0,5	<u>18,9</u> 19,9	<u>14,3</u> 19,0	<u>20,2</u> 20,2	<u>8,0</u> 2,8
Навоз	<u>16,7</u> 17,9	<u>2,5</u> 1,3	<u>16,2</u> 17,9	<u>13,1</u> 16,3	<u>22,2</u> 19,4	<u>15,0</u> 7,3
НРК	<u>17,1</u> 16,7	<u>4,0</u> 1,6	<u>16,0</u> 16,7	<u>13,0</u> 14,8	<u>31,0</u> 18,7	<u>23,4</u> 9,5
Севооборот						
НРК	<u>12,3</u> 11,2	<u>1,9</u> 1,2	<u>12,4</u> 10,8	<u>9,2</u> 10,2	<u>16,5</u> 13,0	<u>15,8</u> 11,1

Примечание. В числителе характеристики по 16 точкам опробования, в знаменателе – характеристики по 4 точкам опробования из центральной части (ядра) делянки

Урожайность льна-долгунца в бессменных посевах за 6 лет представлена в таблице 5. За последние 6 лет наблюдалось выпадение посевов льна каждый второй год. В среднем за ротацию урожайность льна-долгунца в контрольном варианте (без удобрений) составила 5,6 ц. Существенное увеличение урожайности льна отмечается в вариантах опыта при внесении НРК и навоза.

5. Урожайность льна-долгунца в бессменных посевах за ротацию, ц/га льносолоты

Варианты опыта	1	2	3	4	5	6	В среднем за 6 лет
	Год						
Без удобрений	0	12,4	0	2,1	19,2	0	5,6
НРК	11,1	23,3	0	22,4	27,3	0	14,0
Навоз	14,1	12,5	0	0	28,9	0	9,2

Статистические характеристики урожайных данных (табл. 6) показывают значительную ненормированную изменчивость по годам, ограничивающую обоснованное использование арифметических средних при

обобщении данных. Так, относительная вариация на делянке без применения удобрений составила 146,4%. При внесении навоза устойчивость урожайности возросла, а при полном минеральном удобрении вариабельность упала до 86,0%. В связи с ненормализованными рядами средние арифметические значения сильно отклонялись от медиан. Чрезмерно высокие стандартные отклонения в рядах ставит ограничение на традиционное арифметическое обобщение и требует расчета ошибок с использованием более адекватных законов распределения (например, логнормальное или гамма распределения).

6. Статистические характеристики урожайных данных бессменных посевов льна-долгунца за один год

Варианты опыта	Среднее	Ошибка средней	Медиана	Min	Max	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Без удобрений	5,6	3,4	1,0	0	19,2	8,2	146,4
НPK	14,0	4,9	16,8	0	27,3	12,1	86,4
НPK+навоз	15,2	6,0	15,5	0	31,1	14,7	96,7
Навоз	9,2	4,8	6,2	0	28,9	11,6	126,1

Анализ урожайности (табл. 7) льна-долгунца в севообороте за последнюю ротацию проведен по четным и нечетным полям севооборота. По четным полям севооборота всех вариантов удобрения вносят в виде НPK, а по нечетным полям сохраняется исходная схема вариантов удобрения.

7. Урожайность льна-долгунца в севообороте за ротацию (2002-2007 гг.), ц/га льносоломы

Варианты опыта	По нечетным полям	По четным полям
Без удобрений	34,8	36,2
НPK	53,0	35,3
НPK + навоз	50,2	34,9

Наибольший урожай льна-долгунца получен в варианте НPK. Выявленные закономерности хорошо согласуются с данными других известных длительных полевых опытов [14, 15, 16, 17].

На полях со сплошным применением НPK урожайность по вариантам, в целом, выровнялась и находится в интервале 35-42 ц/га.

Статистический анализ урожайных данных регрессионным методом позволил установить разнонаправленное действие экологических условий. Так, изменение продуктивности в зависимости от места расположе-

ния варианта по полям со сплошным применением NPK, описывалось линейной регрессией (коэффициент корреляции +0,82, доверительная вероятность регрессии 0,98) $y = 33,1 + 1,01x$, где x – порядковый номер делянки от начала поля. На полях с разделением по вариантам влияние условий ослабло – коэффициент корреляции 0,31, доверительная вероятность 0,76. Следовательно, получаемые на нечетных полях севооборотного участка (с дифференцированным внесением удобрений) по ряду делянок урожайные данные льна имеют определенную систематическую погрешность, которую возможно и элиминировать.

Таким образом, величина устойчивости продуктивности льна-долгунца определяется, прежде всего, севооборотом, и зависит от степени оптимизации реакции почвенной среды, содержания питательных элементов в почве. Количественное определение этой зависимости должно сопровождаться с учетом ковариации с экологическими условиями.

Библиографический список

1. Кирюшин Б. Д., Сафонов А. Ф. Этапы развития длительного опыта ТСХА. В сб.: Длительному опыту ТСХА 90 лет: итоги научных исследований. – М.: из-во МСХА, 2002. – С. 26-36.
2. Korschens M. Die Wichtigsten Dauerfeldversuche der Welt. Übersicht, Bedeutung, Ergebnisse // Arch. fur Acker- u. Pflanz. u. Bodenk. – 1997. – v. 42. – P. 157-169.
3. Горленко М. В., Кожевин П. А. Дифференциация почвенных микробных сообществ с помощью мультисубстратного тестирования // Микробиология. – 1994. – Т. 63. – № 12. – С. 289-293.
4. Виноградский С. Н. Микробиология почвы. – М.: изд-во АН СССР, 1952. – 792 с.
5. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Наука, 1986. – 416 с.
6. Crouch M. Selecting representative pedons in Saudi Arabia using a transect Method // Soil-Survey-horizont, 1986. – V.27. – P. 34-35.
7. Ruelle P., Ben-Salah D., Vauclin M. A methodology to analyze the spatial variability of an agricultural plot and its application to sampling problems [probability, density function, semivariogram, correlogram, integral scale, experimental errors // Agronomie. – 1986. – V.6. – P. 529-539.
8. Гатаулин А. М. Система прикладных статистико-математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве. – М.: МСХА, 1992. – Ч. 1, 2. – 160 с.

9. Дмитриев Е. В. Математическая статистика в почвоведении. – М.: изд-во МГУ, 1995. – 318 с.
10. Благовещенский Ю. Н., Самсонов В. П., Дмитриев Е. А. Непараметрические методы в почвенных исследованиях. – М.: Наука, 1987. – 95 с.
11. Якушев В. П., Буре В. М. Методологические аспекты статистического исследования. Непараметрическая статистика // Современные проблемы опытного дела. – Санкт-Петербург, 2000. – Т. 1. – С. 179-185.
12. Olsson S. On barley monoculture soil. Plant growth affecting microbiota in soil from three long-term field experiments on crop rotation. – Uppsala. Sveriges Lantbruksuniversitet, 1995. – 35 p.
13. Бондарев А. Г., Кузнецова И. В. Проблема деградации физических свойств почв России и пути ее решения // Почвоведение. – 1999. – N 9. – С. 1126-1131.
14. Прохорова З. А., Фрид А. С. Изучение и моделирование плодородия почв на базе длительного полевого опыта. – М.: Наука, 1993. – 190 с.
15. Cooke G. W. Long-term fertilizer experiments in England: The significance of their results for agricultural science and for practical farming // Ann. agron. – 1990. – V. 27. – P. 503-536.
16. Mitchell C. C., et al. Overview of long-term agronomic research // Agronomy Journ. – 1991. – V. 83. – P. 24-29.
17. Lezoviz P., Koerschens M. Die Ertragsentwicklung im Statischen Duengungs-versuch Bad Lauchstadt im Verlaufe von 90 Jahren // Tagungsbericht zum Symposium «Dauerfeldversuche und Naerstoffdynamik». Leipzig. – 1992. – P. 224-230.