

- для ефективності ремедіації і використання / В.Л. Самохвалова, В.І. Лопушняк, А.І. Фатеев, В.М. Горякіна. — Оpubл. 25.12.2014, Бюл. № 24. — 8 с.
8. Пат. на корисну модель 50789 UA. Спосіб очищення ґрунтів породного відвалу вугільних шахт від важких металів / М.Я. Гавриляк, В.І. Баранов. — Оpubл. 25.06.2010, Бюл. № 12. — 9 с.
 9. Пат. на корисну модель 4726 UA. Спосіб очищення техногенно забруднених ґрунтів від важких металів / М.М. Дронь, Ф.О. Чмиленко, Н.М. Смітюк. — Оpubл. 15.02.2005, Бюл. № 2. — 4 с.
 10. *Протопопова В.В.* Синантропная флора Украины и пути ее развития / В.В. Протопопова. — К.: Наукова думка, 1991. — 204 с.
 11. *Протопопова В.В.* Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє / В.В. Протопопова, С.Л. Мосякін, М.В. Шевера. — К.: Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного, 2002. — 32 с.
 12. Карантинні шкідливі організми / О.М. Мовчан, І.Д. Устінов, І.Л. Марков та ін. — К.: Світ, 2000. — 200 с.
 13. *Ерєміна Н.В.* Влияние амброзии полыннолистной на экологическое состояние города [Електронний ресурс] / Н.В. Ерєміна, Н.С. Головка, С.Т. Си́мененко // Прикладна екологія: Зб. наук. праць. — 2009. — № 1. — Режим доступу: <http://dspace.snu.edu.ua:8080/jspui/123456789>
 14. *Жалдак С.М.* Еколого-ценотичні особливості *Ambrosia artemisiifolia* в умовах передгірного Криму / С.М. Жалдак // Екосистеми, їх оптимізація та охорона. — 2011. — Вип. 5. — С. 66–70.
 15. Пат. на корисну модель 76416 UA. Фігоремедіаційний спосіб очищення ґрунтів від важких металів / О.П. Корж, І.Г. Савченко, Н.О. Гура. — Оpubл. 10.01.2013, Бюл. № 1. — 6 с.

УДК 579.663:631.433.3

БИОДИАГНОСТИКА ПОЧВ АГРОЭКОСИСТЕМ ЗАКАРПАТЬЯ

Л.Ю. Симочко

Ужгородський національний університет

Розглянуто методи здійснення біодіагностики ґрунтів за використання сучасних агротехнологій. За результатами експериментальних досліджень виявлено показники ранньої діагностики ґрунтів, що вказують навіть на незначні несприятливі зміни у функціонуванні агроєкосистем. Це — сенсильні показники, до яких належать: чисельність і співвідношення різних еколого-трофічних груп ґрунтових мікроорганізмів, видове біорізноманіття. Інша група біодіагностичних показників дає змогу визначити більші негати́вні зміни в ґрунті агрогенних екосистем. До цієї групи належать показники функціонального стану ґрунтового угруповання мікроорганізмів, насамперед ферментативна активність. Встановлено, що активність ґрунтових ферментів класу оксидоредуктаз і гідролаз має яскраво виражену сезонну динаміку і залежить від виду використовуваних агротехнологій.

Ключові слова: біодіагностика, ґрунт, ґрунтові мікроорганізми, ферментативна активність, агроєкосистема.

Почва — это главный природный ресурс, исключительно сложный по своему составу, большей частью обновляемый, но, несмотря на это, некоторые виды деятельности человека приводят к серьезному ухудшению ее состояния. Почва является источником продуктов питания, биомассы

и природных материалов, в ней накапливаются, фильтруются и трансформируются некоторые виды веществ, в т.ч. вода и углерод. Структура почвы чрезвычайно разнообразна, только в Европе выявлены 10 000 видов почв, которые объединены в 320 основных категорий. Любое ухудшение ее состояния влияет на другие составляющие экосистемы. В настоящее время дегра-

дация почвы только усиливается. Отчасти это природный феномен, но в большей степени к ухудшению ее состояния приводит антропогенное влияние. В частности, нерациональное ведение сельского хозяйства ускоряет эрозийные процессы, приводит к сокращению содержания органических веществ и в конечном итоге к снижению плодородия почв [1, 2]. Деградация почвы затрагивает порядка 110 стран, в т.ч. и Украину. Ежегодно 12 млн га земель приходят в упадок и становятся непригодными к использованию в сельском хозяйстве. Для того чтобы предотвратить развитие негативных явлений в почвенном покрове агрогенных экосистем, рекомендуется использовать биодиагностику почв, основным заданием которой является определение даже незначительных негативных изменений экологического состояния педосферы вследствие антропогенного воздействия [2, 3].

Одним из путей решения данной задачи является определение биологических показателей плодородия, в частности, численности и активности микроорганизмов, осуществляющих агрономически важные биологические процессы — азотфиксацию, аммонификацию, нитрификацию, мобилизацию почвенного фосфора [4–6].

Общая численность микроорганизмов, утилизирующих органический и минеральный азот, а также фосфатмобилизирующих и олигонитрофильных, возрастает по мере перехода от минерального фона к органическому [7]. Активность почвенных ферментов используется в качестве дополнительного диагностического показателя почвенного плодородия. В классе оксидоредуктаз это каталаза, а из ферментов класса гидролаз — инвертаза. Ферменты этих классов можно использовать для биотестирования, а также прогнозирования изменений экологического состояния почв в результате антропогенного воздействия [8].

Не менее важным аспектом микробиологической индикации почв является определение видового разнообразия почвенных микроорганизмов, поскольку снижение

биоразнообразия микробиоты приводит к нарушению естественных природных механизмов, определяющих устойчивость и продуктивность агроэкосистем [9].

Целью работы было выявление информативных биодиагностических показателей экологического состояния почвы агроэкосистем при использовании различных агротехнологий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве материала исследований являлись почвенные образцы, отобранные в агроэкосистемах с разными системами удобрений Закарпатья. Почва опытного поля — дерново-буроземная, оподзоленная, среднесуглинистая. Агрохимическая характеристика пахотного слоя имеет следующие значения: рН (KCL) — 5,0, гидролитическая кислотность — 2,6 мг-экв/100 г почвы, содержание гумуса — 1,56%, подвижного фосфора — 1,9, обменного калия — 14,1 мг/100 г почвы. Размещение вариантов в опыте — систематическое, последовательное; трехкратная повторность. Почвенные образцы для приготовления смешанной пробы отбирали методом квадратов в посевах кукурузы сорта Закарпатская желтая зубовидная и в посевах перца пряного сорта Бактянец, в основные фазы развития сельскохозяйственных культур на глубине 25 см. Микробиологический анализ почвы проводили по общепринятым методикам [8, 10]. Ферментативную активность почвы — методом Хазиева [11]. С помощью молекулярно-генетических методов определяли видовую принадлежность почвенных бактерий: ПЦР в реальном времени, полиморфизм длины рестрикционных фрагментов tRFLP, клонирование ДНК почвенных бактерий. Экстракцию ДНК почвенных бактерий проводили по соответствующему методу [12]. Молекулярно-генетические исследования были осуществлены на базе Всероссийского института сельскохозяйственной микробиологии РАСХН (г. Санкт-Петербург). Статистическая обработка полученных данных осуществлена в соответствии

с рекомендациями П. Рокицкого [13] с помощью программы STATISTICA 8 (2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Микроорганизмы являются наиболее точным индикатором функционального состояния почвы, поскольку они осуществляют важные почвенные процессы и первыми реагируют на антропогенное воздействие. В естественных условиях микроорганизмы существуют в почве в виде комплекса популяций, которые функционируют как единое целое в процессах трансформации органических и минеральных соединений и являются саморегулирующейся системой. Нарушение функциональной и структурной целостности ценоза почвенных микроорганизмов вследствие сельскохозяйственной деятельности приводит к негативным изменениям не только на микроуровне, но и на мезо- и даже макроуровнях: нарушаются метаболические процессы, снижается плодородие почвы, нарушается круговорот веществ и, как результат, происходит снижение урожайности продуцентов [14]. Соотношение и численность эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов позволяют оценить эффективность используемых агротехнологий и их экологичность. Обычно, снижение уровня плодородия почвы обусловлено экзогенетическими сукцессиями

в сообществе микроорганизмов вследствие антропогенного влияния, это в свою очередь вызывает значительные нарушения микробиологических процессов в почве [15]. Исследования показали, что выращивание кукурузы без внесения удобрений приводит к доминированию олиготрофной микробиоты (табл. 1).

Представители микробиоты рассеивания составляли 5,54 млн КОЕ на 1 г сух. почвы. Содержание азотфиксирующих микроорганизмов и органотрофов было минимальным в сравнении с другими вариантами удобрений, что свидетельствует о неблагоприятных изменениях в функционировании микроценоза почвы. Внесение органических удобрений способствовало позитивным изменениям в функциональной структуре почвенной микробиоты. Так, численность аммонификаторов и *Azotobacter* возросла втрое, численность микромицетов — снизилась в шесть раз. Обогащение почвы органическими веществами привело к значительному снижению численности олиготрофной группы микроорганизмов, практически в 4 раза по сравнению с контролем. Внесение минеральных удобрений комплекса НРК способствовало улучшению функционирования зимогенной микробиоты и незначительному снижению автохтонной. Внесение высоких доз азотных удобрений

Таблица 1

Численность разных эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов при культивировании *Zea mays* L. (КОЕ на 1 г сух. почвы)

№ п/п	Варианты опыта	Аммонификаторы, млн шт.	Микромицеты, тыс. шт.	Микроорганизмы ассимилир. минер. формы азота, млн шт.	Спорообразующие бактерии, млн шт.	Олиготрофы, млн шт.	<i>Azotobacter</i> , %
1	Без удобрений	1,08	87	2,17	3,24	5,54	20
2	Навоз 30 т/га	3,34	14	1,18	1,67	1,48	64
3	НРК	1,75	38	1,32	2,09	3,33	50
4	НРК	2,31	18	1,18	2,34	2,84	43
5	НРК	1,16	25	1,40	2,97	4,67	32
	НСР ₀₅	0,14	0,53	0,12	0,15	0,27	1,22

угнетало функционирование азотфиксирующих микроорганизмов. Содержание *Azotobacter* в почве агроэкосистем снизилось вдвое по сравнению с органической системой удобрения. Следует отметить, что использование показателей количественной и функциональной структуры микробоценозов почвы для оценки изменений, вызванных различными системами удобрений и защиты растений, показало, что степень влияния исследуемых факторов различна в зависимости от почвенно-климатических условий, выращиваемой культуры, степени антропогенной нагрузки.

В последнее время в области биологии широкое развитие получили молекулярные методы, при помощи которых появилась возможность преодолеть проблемы, возникающие в практике классических

микробиологических методов исследований [16].

Изучение видового состава бактерий (табл. 2) показало, что при выращивании перца (*Capsicum annuum* L.) без удобрений в ризосфере нами обнаружено 8 видов неспорообразующих бактерий, которые встречались в ризосферной почве при внесении органических удобрений, а именно: *Rhizobium radiobacter*, *Arthrobacter oxydans*, *A. ureafaciens*, *Flavobacterium suaveolens*, *Nocardia albicans*, *Gardonia rubropertincta*, *Pseudomonas rathonis*, *Serratia plymuthica*. Общими для двух исследуемых вариантов удобрения были 6 видов ризосферных неспоровых бактерий.

Коэффициент видовой общности (Км) неспорообразующих бактерий в ризосфере *Capsicum annuum* L. составляет 35%. В ри-

Таблица 2

Типичные и доминирующие виды неспорообразующих бактерий в ризосфере *Capsicum annuum* L. при разных видах удобрений и норм их внесения *

Название вида	Без удобрений		Фон + 2 т/га витацила + Росток-плюс	
	I	II	I	II
<i>Agrobacterium radiobacter</i>	–	–	12	3
<i>Arthrobacter globiforvis</i>	87	18	57	8
<i>A. oxydans</i>	–	–	71	12
<i>A. pascens</i>	78	10	4	–
<i>A. simplex</i>	91	8	2	–
<i>A. tumescens</i>	63	4	88	12
<i>A. ureafaciens</i>	–	–	56	4
<i>Brevibacterium fuscum</i>	34	2	–	–
<i>Flavobacterium diffusum</i>	55	5	32	3
<i>F. harrisonii</i>	44	4	–	–
<i>Microbacterium esteraromaticum</i>	–	–	77	5
<i>M. lacticum</i>	56	8	–	–
<i>Nocardia albicans</i>	–	–	30	3
<i>Gardonia rubropertincta</i>	–	–	60	3
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	94	11	70	7
<i>P. fragi</i>	78	10	–	–
<i>P. putida</i>	89	9	–	–
<i>P. rathonis</i>	–	–	85	4
<i>Serratia plymuthica</i>	–	–	55	4

Примечание (к таб. 2, 3): *I – частота встречаемости вида, %; II – плотность вида, %.

зосфере *Capsicum annuum* L., выращиваемого без удобрений, 90%-ю и более частоту встречаемости имели *Arthrobacter simplex*, *Pseudomonas fluorescens*, часто встречались *A. globiformis*, *A. tumescens*, *P. putida*.

Следует отметить, что при выращивании перца без удобрений чаще встречались бактерии рода *Pseudomonas*, а в варианте с применением органических удобрений преобладали виды *Arthrobacter* и *Nocardia*, которые, как известно, отличаются высокой биохимической активностью. Частота встречаемости спорообразующих бактерий (табл. 3) в эдафотопе при выращивании *Capsicum annuum* L. с органическими удобрениями была несколько выше, чем при выращивании перца без удобрений. В качестве типичных видов следует отметить: *Bacillus cereus*, *B. megaterium*, *B. subtilis*, *Paenibacillus polymyxa*. Км спорообразующих бактерий в ризосфере *Capsicum annuum* L. составляет 100%.

В вариантах с органическими удобрениями частота встречаемости и плотность *B. subtilis* и *B. megaterium* возрастала. Увеличение в почве с системой удобрения (фон + 2 т/га витацила + Росток) удельного веса в составе спорообразующих бактерий этих

видов, способных использовать минерализованный и минеральный азот, указывает на то, что мобилизационные процессы при применении системы органических удобрений протекают значительно энергичнее, чем в вариантах без удобрений.

Более глубокие изменения, происходящие в почве агроэкосистем при использовании разных агротехнологий, можно определить с помощью функциональных показателей, к которым относится ферментативная активность [17].

Активность почвенных ферментов позволяет оценить не только почвенное плодородие, но и функциональную структуру почвенного микросообщества в результате антропогенного влияния.

Изучение инвертазной и каталазной активности почвы агроэкосистем проводили в динамике, результаты исследований представлены в таблице 4.

Исследования каталазной активности почв показали, что внесение органических и умеренных доз минеральных удобрений способствует более активному разложению перекиси водорода. Весной эти показатели составляли 9,64 и $7,78 \pm 0,4$ см³О₂/г почвы соответственно. Внесение более высоких

Таблица 3

Типичные и доминирующие виды спорообразующих бактерий в ризосфере *Capsicum annuum* L. при разных видах удобрений и норм их внесения*

Название вида	Без удобрений		фон + 2 т/га витацила + Росток-плюс	
	I	II	I	II
Ризосфера				
<i>Bacillus cereus</i>	90	18	80	21
<i>B. macerans</i>	90	64	100	34
<i>B. megaterium</i>	43	6	60	8
<i>B. subtilis</i>	70	8	86	30
<i>Paenibacillus polymyxa</i>	67	20	70	28
Междурядье				
<i>Bacillus macerans</i>	90	45	50	19
<i>B. cereus</i> + <i>B. mycoides</i>	90	19	96	35
<i>B. megaterium</i>	55	10	90	15
<i>B. subtilis</i>	70	20	93	40
<i>B. idosus</i>	17	7	19	4

Таблица 4

Ферментативная активность почвы при культивировании *Zea mays* L.

№ п/п	Варианты опыта	Каталазная активность, см ³ O ₂ /г почвы		Инвертазная активность, мг глюкозы на 1 г почвы	
		весна	осень	весна	осень
1	Без удобрений	3,85±0,1	2,67±0,2	13,45±0,8	8,22±1,2
2	Навоз 30 т/га	9,64±1,2	4,28±0,4	29,34±1,4	14,56±1,3
3	N ₂₀ P ₆₀ K ₂₀	5,98±0,6	3,15±0,5	22,87±0,8	12,56±1,1
4	N ₈₀ P ₂₀ K ₂₀	7,78±0,4	7,27±0,6	25,54±0,6	20,67±0,9
5	N ₁₀₀ P ₂₀ K ₂₀	4,92±0,9	3,37±0,3	20,67±0,4	15,63±1,3

доз минеральных удобрений способствовало снижению уровня каталазной активности почвы, это объясняется тем, что в повышенных дозах содержится значительное количество нитратных и фосфатных физиологически кислых ионов, ингибирующих каталазу.

Разложение углеродосодержащих веществ ароматического ряда с преобразованием их в гумусные соединения более активно проходило в варианте опыта с внесением органического удобрения (навоз 30 т/га), что подтверждается достаточно высоким уровнем инвертазной активности почвы (29,34 мг глюкозы на 1 г почвы) в сравнении с контролем. Следует также отметить, что уровень ферментативной активности почвы весной был в среднем выше на 45%, чем осенью.

Сравнительная оценка почвенных сообществ микроорганизмов разных агроэкосистем на основе численности и видового биоразнообразия основных эколого-трофических групп, энзиматических показателей эдафотопов позволила определить показатели ранней и более поздней диагностики состояния почв.

ВЫВОДЫ

Для экологической оценки почв рекомендуется использовать показатели ранней диагностики, которые указывают даже на незначительные неблагоприятные изменения в функционировании агроэкосистем. Это сенсативные показатели, к которым относятся: численность и соотношение

разных эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов, видовое биоразнообразие.

Вторая группа биодиагностических показателей рекомендуется для определения более значительных негативных изменений состояния агроэкосистем, вплоть до нарушения их гомеостаза. К этой группе относятся показатели функционального состояния почвенного сообщества микроорганизмов, прежде всего уровень ферментативной активности.

Было установлено, что использование органических систем удобрений способствует ее повышению. При выращивании кукурузы с внесением органических удобрений, уровень каталазной активности составлял 9,64 см³O₂/г почвы, а инвертазной – 29,34 мг глюкозы на 1 г почвы.

Таким образом, для комплексной экологической оценки состояния агробиогеоценозов целесообразно использовать чувствительные показатели ранней и информативные показатели поздней биодиагностики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воронцова О.В.* Международное сотрудничество и политика Европейского Союза в области охраны почв / О.В. Воронцова // Международное право. – 2013. – № 2. – С. 16–38.
2. *Никифоров А.А.* Международно-правовая охрана окружающей среды в странах Северной Европы / А.А. Никифоров // Международное право и международные организации. – 2012. – № 4. – С. 24–38.
3. *Шапиро Я.С.* Агроэкосистемы: Учеб. пособие / Я.С. Шапиро. – СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2005. – 264 с.

4. *Волкогон В.В.* Мікробіологічні аспекти оптимізації азотного удобрення сільськогосподарських культур: Монографія / В.В. Волкогон. — К.: Аграрна наука, 2007. — 144 с.
5. *Симочко Л.Ю.* Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті агробіогеоценозів при застосуванні різних агрозаходів / Л.Ю. Симочко, В.В. Симочко, І.Й. Бігарій // Науковий Вісник Ужгородського університету. — 2010. — № 28. — С. 47–51. — (Серія: Біологія).
6. *Патика В.П.* Мікробіологічний моніторинг ґрунту природних та трансформованих екосистем Закарпаття України / В.П. Патика, Л.Ю. Симочко // Мікробіологічний журнал — 2013. — Т. 75. — № 2. — С. 21–31.
7. Сільськогосподарська мікробіологія і збалансований розвиток агроекосистем / В.Ф. Петриченко, І.А. Тихонович, С.Я. Коць та ін. // Вісник аграрної науки. — 2012. — № 8. — С. 5–11.
8. *Іутинська Г.О.* Ґрунтова мікробіологія: Навчальний посібник / Г.О. Іутинська. — К.: Арістей, 2006. — 284 с.
9. *Bardgett R.D.* Biological diversity and function in soils / R.D. Bardgett, M.B. Usher. — Cambridge Univ.-Press, 2005. — 505 p.
10. *Звягинцев Д.Г.* Методи почвенной микробиологии и биохимии / Д.Г. Звягинцев. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. — 286 с.
11. *Хазиев Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. — М.: Наука, 2005. — 280 с.
12. *Doyle J.J.* A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue / J.J. Doyle, J.L. Doyle // Phytochemical Bulletin. — 1987. — Vol. 19. — P. 11–15.
13. *Рокицкий П.Ф.* Биологическая статистика / П.Ф. Рокицкий. — Изд. 2-е. — Минск: Вышэйш. шк., 1967. — 326 с.
14. *Collins W.* Biodiversity in Agroecosystems / W. Collins, C. Qualset. — CRC Press., 1998. — 352 p.
15. *Girardin P.* Integrated agriculture in Western Europe: researchers experience and limitations / P. Girardin, J.H. Spiertz // J. Sustainable Agr. — 1993. — Vol. 3, No. 3–4. — P. 155–170.
16. *Патыка Н.В.* Профіль поліморфізму для рестрикційних фрагментів (trFLP) комплексу прокаріотних мікроорганізмів подзолистих ґрунтів / Н.В. Патыка, Ю.В. Круглов, І.А. Тихонович, В.Ф. Патыка // Доповіді Національної академії наук України. — 2009. — № 1. — С. 187–192.
17. *Tabatabai M.A.* 2002. Enzymes in soil / M.A. Tabatabai, W.A. Dick; In: Burns, R.G., Dick, R.P. (Eds.) // Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications. — Marcel Dekker, New York. — P. 567–596.

УДК 633.11:63.5

ВПЛИВ АГРОЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В СТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ

О.Л. Романенко¹, С.Р. Конова¹, М.М. Солодушко², С.В. Бальошенко²

¹ Запорізька філія ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»
² ДУ «Інститут сільського господарства степової зони НААН»

Викладено результати багаторічних досліджень Запорізької державної сільськогосподарської дослідної станції (зона Південного Степу) щодо впливу на врожайність запасів продуктивної вологи у ґрунті під посівами пшениці м'якої озимої за умови глобальних змін клімату. Встановлено погіршення водного режиму в посівах пшениці по чорному пару впродовж вегетаційного періоду за фазами розвитку рослин. Визначено, що за осінньо-зимовий період (припинення — відновлення вегетації) рослинами пшениці озимої по чорному пару поглинається лише 27% атмосферних опадів. Основними чинниками низького коефіцієнта вбирання опадів є погіршення агрофізичних властивостей ґрунту, збільшення його щільності, зниження водопроникності.

Ключові слова: урожайність, терміни сівби, запаси продуктивної вологи в ґрунті, потепління, водоспоживання.

Нині світове виробництво зерна становить близько 2 млрд т, з яких найбільшу

питому вагу мають кукурудза (600 млн т), пшениця (570–580), рис (400), ячмінь (130–140 млн т), тобто пшениця є однією з провідних зернових культур. Щорічно в