

CURRENT STATE OF AGRO PHYSICAL PROPERTIES OF BELARUSIAN POOZER·E SOIL

A.F. Chernysh, A.M. Ustinova, V.B. Tsyrybko, I.I. Kas-yanenko

Summary

The results of routing studies on arable land in the soil–ecological areas where the soil cover is represented by different groups of parent rocks are presented at the article. It was found that the physical soil properties of Belarusian Poozere is largely determined by the genesis of soil-forming rocks, types of accessories and degree of exposure to erosive processes. Almost all the studied soil overcrowded, and therefore need to develop policies and practices to regulate agrophysical condition of soils. At the same time, the soils of Belarusian Poozere are characterized by a good structural-aggregate composition and relatively high stability of the structure to collapse.

Поступила 20.11.14

УДК 631.452

БИОХИМИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

**В.В. Лапа, Н.А. Михайловская, Т.Б. Барашенко,
Т.В. Погирницкая, С.В. Дюсова**

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях воспроизводство и сохранение плодородия почв, используемых в сельскохозяйственном производстве, являются приоритетными задачами [1]. В связи с этим возрастает экологическая значимость диагностики биологического состояния почв, являющегося одним из основных критериев оценки изменений плодородия почв, вызываемых антропогенной деятельностью [2–4]. Как правило, при возрастающем уровне антропогенной нагрузки отмечается ускорение биологического круговорота веществ и повышение биологической активности почв, которое может сопровождаться усиленной минерализацией органического вещества и приводить к развитию процессов деградации плодородия [5]. Изучение биологического статуса позволяет контролировать влияние интенсификации растениеводства на состояние почвенного плодородия и своевременно решать экологические задачи [2, 5].

Для оценки биологического состояния почв в настоящее время используется широкий спектр показателей, что обусловлено многообразием функций почвенных микроорганизмов. Традиционные микробиологические исследования, включаю-

щие определение общей численности и группового состава микроорганизмов, применяются в основном для решения фундаментальных задач генетического почвоведения, физики и химии почв, для выяснения роли микроорганизмов в круговороте веществ. Благодаря таким исследованиям накоплена научная информация о структурной и функциональной организации микробных сообществ почвы, об основных почвенно-микробиологических процессах и микробных сообществах, ответственных за их протекание, изучена экология почвенных микроорганизмов, структура микробных сообществ в разных природно-климатических зонах [2].

Однако традиционные микробиологические исследования не нашли широкого практического применения для оценки почвенного плодородия. Для диагностических целей наибольший интерес представляют показатели активности (интенсивности) ключевых биологических процессов, регулирующих плодородие. Такую возможность дает проведение почвенных биохимических исследований. В основе микробного метаболизма лежит работа ферментов, которые катализируют все биохимические реакции и являются интегральной частью круговорота элементов питания в почве. Почвенные ферменты имеют преимущественно микробное происхождение [7], доля ферментов растительного и животного происхождения значительно меньше [8]. Ферменты накапливаются в почве и образуют запас, который является результатом ежегодного развития микроорганизмов в почве. Ферментативная активность почвы – чувствительный индикатор биохимической деятельности развивающихся в ней микробных сообществ.

Аргументами в пользу биохимической диагностики являются относительная простота измерения и быстрый отклик на антропогенное воздействие. По сравнению с другими показателями изменения ферментативной активности, вызванные антропогенными факторами, регистрируются на более ранних этапах и в большей степени подходят для ранней диагностики нежелательных экологических тенденций [9]. Преимуществом ферментативной диагностики является более высокая стабильность ферментативных параметров по сравнению с другими показателями биологической активности [2, 5]. Внеклеточные ферменты, составляющие значительную часть ферментного пула почвы, находятся в стабилизированном состоянии за счет прочных связей с ее минеральными и органическими компонентами [10, 11]. Стабилизированные внеклеточные ферменты устойчивы к протеолизу, защищены от инактивации, длительно сохраняют активность и функционируют при неблагоприятных условиях дефицита влаги и элементов питания, когда микробная деятельность обычно угнетена.

Цель исследований – определить необходимый минимум тестов для оценки активности ключевых биохимических и микробиологических процессов, связанных с циклами основных биогенных элементов (углерода и азота) и предложить для практических целей наиболее адекватные показатели для оценки влияния антропогенных факторов на плодородие почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Биологические исследования по установлению наиболее объективных показателей для характеристики биологического состояния почв были проведены в длительных стационарных опытах Института почвоведения и агрохимии на дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых почвах. Основные агрохимические

факторы, изученные в полевых опытах – системы удобрения и обеспеченность почв элементами минерального питания.

Биологические исследования по системам удобрения проведены в 2011–2013 гг. на дерново-подзолистых легкосуглинистой (СПК «Щемяслица», Минский р-н) и супесчаной (ГП «Э/б им. А.В. Суворова», Узденский р-н) почвах в зернотравяных севооборотах.

Для определения активности инвертазы использован широко распространенный в настоящее время колориметрический метод Т.А. Щербаковой [26], в котором для индикации редуцирующих сахаров используется 3,5-динитросалициловая кислота, а активность фермента рассчитывается в мг глюкозы/кг почвы [26]. Для установления активности почвенной уреазы наиболее точным считается колориметрический метод Т.А. Щербаковой [26], где в качестве ферментного субстрата используется мочевина, для количественного определения аммония – реактив Несслера; активность фермента рассчитывается в мг $N-NH_4^+$ /кг почвы [26]. Активность окислительных ферментов, полифенолоксидазы и пероксидазы, определяли также колориметрически, по трансформации гидрохинона в почве и выражали в мг превращенного субстрата – мг 1,4-р-бензохинона/кг почвы [26, 48]. Содержание углерода в микробной биомассе определяли методом фумигации-экстракции, который включает фумигацию почвенных образцов хлороформом и экстракцию органического углерода раствором K_2SO_4 [38]. Дегидрогеназная активность определена по модифицированному методу А.Ш. Галстяна с применением трифенилтетразолия хлористого в качестве ферментного субстрата, активность рассчитывали по продукту ферментативной реакции – в мг трифенилформаза/кг почвы [26].

При разработке системы показателей для диагностики плодородия почв учитывали целый ряд условий:

- для диагностических целей целесообразно использовать показатели, наиболее тесно связанные с органическим веществом, которое является основополагающим фактором плодородия почвы и оказывает комплексное влияние на ее физические, химические и биологические характеристики;
- для оценки плодородия имеет значение не только общее содержание органического вещества в почве, но и его состав – содержание фракций, различающихся по скорости трансформации и играющих специфическую роль в формировании плодородия. Необходимо учитывать как минимум две составляющие – относительно инертную часть, трудно поддающуюся минерализации, и активную, легко разлагаемую составляющую [12, 13];
- в наших исследованиях в качестве инертной составляющей органического вещества использовано содержание гумуса (по И.В. Тюрину в модификации ЦИНАО), который контролируется в системе экологического мониторинга почв [14]. Этот показатель представляет собой преимущественно гумифицированные соединения [14, 15, 16]. В качестве характеристики активной составляющей органического вещества почвы использовали углерод, экстрагируемый горячей водой – C_{hwe} [12, 17].
- для диагностических целей наиболее важна характеристика универсальных биохимических процессов, регулирующих минерализацию и гумификацию органических веществ в почве, связанных с циклами основных биогенных элементов. К наиболее универсальным и масштабным деструкционным процессам, формиру-

ющим плодородия почвы, относятся разложение целлюлозы и аммонификация, к наиболее универсальным и масштабным процессам, ведущим к образованию органического вещества – гумификация лигнинов [3]. По соотношению активности минерализационных и синтетических процессов можно давать биохимическую оценку направленности трансформации органических веществ и определять тенденции изменения плодородия под влиянием антропогенных факторов;

- одним из важнейших условий при разработке системы биодиагностики является оптимизация срока отбора почвенных образцов для биологических исследований. Противоречивость и несопоставимость результатов во многом связана с неопределенностью по срокам отбора почвенных образцов;
- одним из условий разработки системы диагностики является стандартизация лабораторных методов определения биохимических и микробиологических показателей, необходимая для получения сопоставимых результатов. Градации и шкалы должны быть приурочены к определенным методам;
- обязательным условием является статистическая обработка экспериментальных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимизация сроков отбора почвенных образцов. Одним из важнейших условий получения объективной информации о биологическом состоянии почвы является оптимизация срока отбора почвенных образцов. Известно, что биологические показатели отличаются динамичностью и значительно варьируют в течение вегетационного периода в зависимости от разных факторов, наиболее значимыми из которых являются влажность почвы [18–20], внесение удобрений [2, 3, 5, 19, 21, 22, 28], возделываемые сельскохозяйственные культуры [3, 19, 20]. В связи с этим сроки отбора почвенных образцов должны дифференцироваться в зависимости от конкретных задач исследований.

В ранее проведенных исследованиях нами установлено, что для решения диагностических задач наиболее объективную информацию дает анализ почвенных образцов, отобранных весной до внесения удобрений [23]. Для этого был выполнен сравнительный анализ результатов определения ферментативной активности при разных сроках отбора почвенных образцов. Сравнение показало, что при весеннем отборе образцов регистрируется наиболее тесная связь активности ферментов с содержанием органического вещества в почве. Это подтверждает целесообразность отбора почвы для биохимических исследований весной, до внесения удобрений. Весенний отбор позволяет снизить маскирующий эффект гидротермических условий, возделываемых культур, внесения удобрений и дает возможность оценить результат биохимической деятельности микроорганизмов, когда процессы трансформации свежего органического вещества, поступившего в почву в течение вегетации, практически завершены. Таким образом, при использовании биологических показателей для оценки влияния антропогенных факторов объективную информацию дает однократный отбор почвенных образцов весной до внесения удобрений [23].

Биохимические показатели скорости гидролитической трансформации полисахаридов в почве. Микроорганизмам принадлежит глобальная деструкционная функция. Способность почвы трансформировать сложные высокомоле-

кулярные органические соединения в усвояемые структурные единицы обусловлена биохимической деятельностью микроорганизмов. Динамика и мобилизация элементов питания тесно связана с действием гидролитических ферментов [2, 24, 25]. Универсальные гидролитические процессы во многом определяют плодородие почв.

Один из самых масштабных деструкционных процессов в почве – разложение целлюлозы составляющей 40–70 % с.в. растительных остатков. Целлюлоза является наиболее значимым полисахаридом, поступающим в почву. Только микроорганизмы за счет выделения ферментов способны разлагать целлюлозу. Ферментативный гидролиз целлюлозы осуществляется в аэробных и анаэробных условиях сообществами грибов, актиномицетов и бактерий. На разных стадиях процесс катализируется специфическими группами ферментов (целлюлазы, целлобиазы). На начальных стадиях гидролиз идет внеклеточно (за счет выделения ферментов в среду), так как из-за больших размеров полимеры не могут проникать в клетку. Короткие цепочки поступают в микробные клетки и далее превращения идут внутриклеточно. В результате высвобождаются низкомолекулярные сахара, являющиеся источником энергии для микроорганизмов. С разложением целлюлозы связаны образование гумуса (промежуточные и конечные продукты гумифицируются) и формирование почвенной структуры [2, 25].

Объективную информацию об интенсивности разложения целлюлозы в почве дает применение аппликационных методов. Сущность методов состоит в закладке целлюлозных материалов (фильтровальной бумаги), в почву на определенную глубину (вертикально), после экспозиция в почве (1–1,5 мес.) по убыли массы целлюлозы определяют актуальные показатели деятельности целлюлозолитических микробных сообществ [26].

В состав растительных тканей, наряду с целлюлозой, входят олигосахариды, разлагающиеся в почве значительно быстрее. Одним из наиболее широко используемых биохимических показателей для характеристики биологического состояния почвы, является инвертазная активность. Инвертаза обнаруживается во всех почвах, она катализирует гидролиз сахарозы с образованием глюкозы и фруктозы, которые служат источником энергии для микроорганизмов. В качестве диагностического показателя способности почвы накапливать усвояемые структурные единицы наиболее целесообразно использовать активность ферментов последних стадий гидролиза [27], в результате которых образуются растворимые моносахариды. Основанием для предложения инвертазной активности в качестве диагностического показателя является ее критическая роль в высвобождении низкомолекулярных сахаров, глюкозы и фруктозы. Имеет значение и тот факт, что инвертаза – один из немногих ферментов, для определения активности которого в лаборатории используется ее естественный субстрат – сахароза.

Установлено, что инвертазная активность тесно положительно коррелирует с содержанием гумуса в почве. Варьирование коэффициентов детерминации R^2 по годам исследований составило – 0,88–0,92, в среднем – 0,90 ($P \leq 0,05$). Связь инвертазной активности с активным органическим веществом (Ch_{we}) характеризуется коэффициентом $R^2 = 0,92$, по годам исследований – 0,87–0,95 (рис. 1).

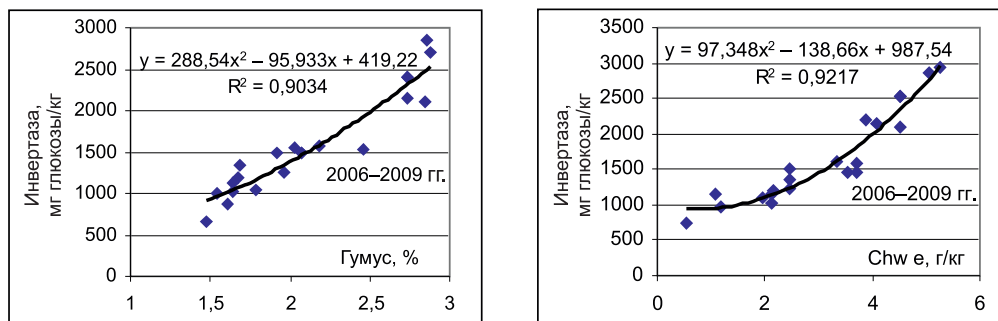


Рис. 1. Взаимосвязь активности инвертазы с содержанием гумуса и Chw e в дерново-подзолистой супесчаной почве (2006–2009 гг.)

Биохимический показатель скорости гидролитической трансформации азотсодержащих органических соединений почвы. Основная часть азота находится в почве в виде сложных органических соединений (94–95 %). Азот, входящий в состав белков и их производных, становится доступным для растений в результате аммонификации. На разных стадиях аммонификации действуют специфические группы гидролитических ферментов. В результате последовательного протеолитического разложения до полипептидов и аминокислот, и далее под действием амидогидролаз и дезаминаз, азот органических соединений переходит в минеральную форму. Таким образом, действие гидролитических ферментов – протеаз, пептидаз, дезаминаз и амидогидролаз определяет динамику азота в почве [28, 29]. На завершающих стадиях аммонификации, обеспечивающих непосредственное поступление аммония в почву, действуют гидролитические ферменты амидогидролазы, к которым относится уреаза.

В качестве диагностического показателя способности почвы накапливать минеральный азот наиболее целесообразно использовать активность ферментов завершающих стадий аммонификации, когда в почву поступает аммоний [27], который может быть непосредственно ассимилирован растениями и микроорганизмами. В пользу выбора уреазной активности в качестве диагностического показателя свидетельствует и то, что в лаборатории активность фермента определяют с естественным субстратом – мочевиной.

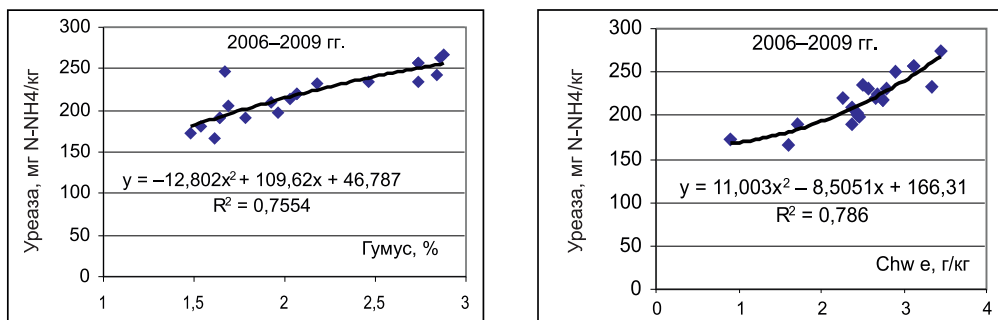


Рис. 2. Взаимосвязь активности уреазы с содержанием гумуса и Chw e в дерново-подзолистой супесчаной почве (2006–2009 гг.)

Корреляционно-регрессионный анализ указывает на тесную положительную корреляцию активности уреазы с содержанием активной и инертной фракций органического вещества. По средним данным связь активности уреазы с гумусом характеризуется коэффициентом детерминации 0,75, а с активным органическим веществом – 0,79 ($P \leq 0,05$) (рис. 2). Уреазная активность является количественным показателем скорости минерализации азотсодержащих органических соединений и накопления минерального азота, доступного для питания растений.

Биохимические показатели интенсивности гумификации лигнинов растительных остатков. Разложение лигнина в почве – второй по значимости деструкционный процесс. Растительные остатки на 15–30 % состоят из лигнинов. Ферментативный гидролиз лигнина осуществляется сложным комплексом грибов, актиномицетов и бактерий, за счет действия микробных лигниназ [30]. Наряду с белками, лигнины являются основными источниками структурных единиц для гумификации [31, 32, 33].

Почвенные микроорганизмы и их метаболиты ведут разнонаправленные процессы, одновременно с минерализацией протекает гумификация органических соединений [3, 31, 33, 34, 38]. В процессах гумификации также участвует сложный комплекс микроорганизмов и их метаболитов. Несмотря на наличие разных концепций гумусообразования, общепризнано, что гумификация – процесс биохимический, управляемый микробными ферментами. В настоящее время катализаторами гумификации разлагающегося органического вещества признаются микробные оксидазы – фенолоксидазы и пероксидазы [2, 3, 9, 19, 31, 32, 33, 41]. Эти ферменты катализируют процессы окисления ароматических соединений и их производных до хинонов, которые в соответствующих условиях конденсируются с аминокислотами и пептидами с образованием первичных молекул гуминовых кислот [30, 32, 35]. Полифенолоксидазы осуществляют катализ в присутствии кислорода воздуха, пероксидазы – с помощью перекиси водорода, которая образуется в почве за счёт жизнедеятельности микроорганизмов и действия оксидаз. Химические реакции также имеют место, но их значение второстепенно (поликонденсация идет без участия микроорганизмов).

В качестве биохимических показателей для характеристики интенсивности гумификации лигнинов растительных остатков в почве предлагается активность окислительных ферментов – пероксидазы и полифенолоксидазы. Основанием для предложения этих показателей в качестве диагностических служит их роль в цикле углерода почвы, а также их тесная положительная корреляция с содержанием гумуса, преобладающую часть которого составляют инертные гумифицированные вещества [34].

По результатам наших исследований теснота взаимосвязи активности почвенных оксидаз с содержанием инертной части органического вещества, характеризуется следующими коэффициентами детерминации: для пероксидазы R^2 в среднем составил 0,90, по годам исследований – 0,81–0,94; для полифенолоксидазы R^2 в среднем достигал 0,82, по годам исследований – 0,62–0,84 ($P \leq 0,05$). Активность оксидаз значительно слабее коррелировала с содержанием активной фракции органического вещества, R^2 как для пероксидазы, так и для полифенолоксидазы в среднем не превышал 0,40 (рис. 3, 4). Установленные закономерности позволяют дифференцированно использовать активность почвенных оксидаз – в качестве характеристик инертной (гумифицированной) фракции органического вещества.

ва и показателей скорости гумификации растительных остатков. Определение активности почвенных оксидаз дает возможность оценивать влияние аграрных технологий на скорость гумификации растительных остатков и контролировать уровень нагрузки для своевременного предупреждения негативных экологических последствий.

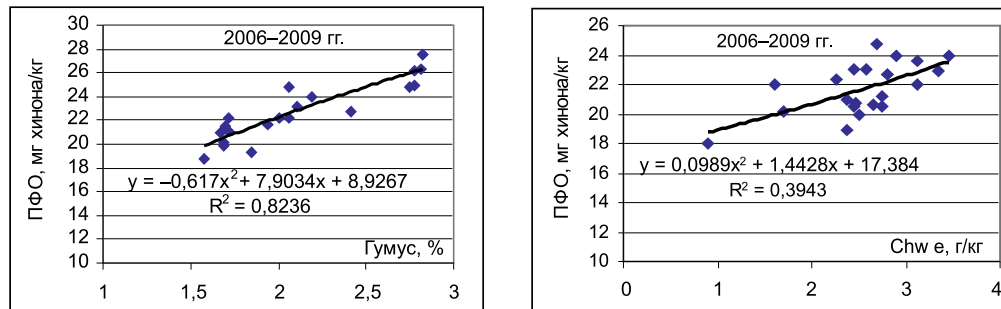


Рис. 3. Взаимосвязь полифенолоксидазной активности с содержанием гумуса и Chwe в дерново-подзолистой супесчаной почве (2006–2009 гг.)

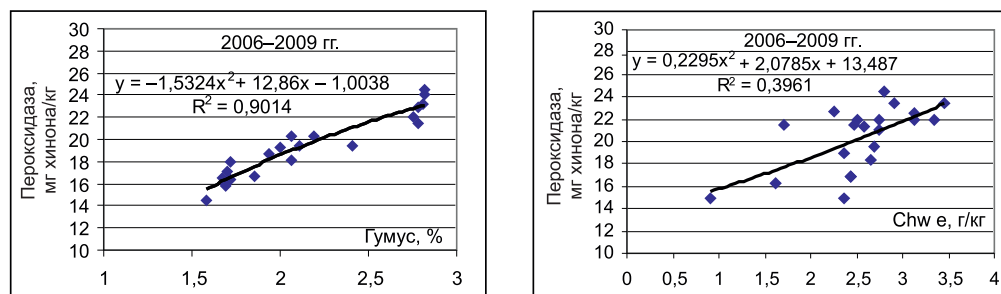


Рис. 4. Взаимосвязь пероксидазной активности с содержанием гумуса и Chwe в дерново-подзолистой супесчаной почве (2006–2009 гг.)

Показатели пероксидазной и полифенолоксидазной активности представляют стабильные характеристики гумификационных процессов почвы, тесно коррелируют с содержанием инертной части органического вещества и незначительно варьируют по годам исследований. Разработаны удобные экспресс-методы их определения [26].

Биохимическая оценка направленности трансформации органических веществ почвы под действием антропогенных факторов. Ключевыми экологическими функциями почвы являются синтез и минерализация органических веществ [2, 6, 10]. При интенсивной антропогенной нагрузке важно контролировать способность почвы сохранять и поддерживать эти функции. Так как все процессы синтеза и минерализации органических веществ в почве катализируются ферментами и являются биохимическими по природе, то ферментативная диагностика почв является удобным инструментом для осуществления такого контроля.

При изучении влияния антропогенных факторов приоритетное значение имеет оценка соотношения активностей минерализации и гумификации органических веществ, которое показывает направленность трансформации органических ве-

ществ под действием антропогенных факторов и позволяет устанавливать экологически обоснованные аграрные технологии, способствующие сохранению плодородия почвы. Интенсивная антропогенная нагрузка может приводить к ускоренной минерализации органического вещества и развитию процессов деградации плодородия [1, 6, 24].

Ферментативная диагностика почвы позволяет оценивать соотношение интенсивностей минерализационных и гумификационных процессов. Для этого энзиматические показатели группируют по направленности действия ферментов. Относительную интенсивность минерализации (%) рассчитывают по активности гидролитических ферментов (целлюлазы, инвертазы и уреазы), активность гумификации (%) – по активности окислительных ферментов (полифенолоксидазы и пероксидазы), используя метод Дж. Ацци [43]. В биологических науках для сравнительного анализа показателей, выраженных в разных единицах измерения, обычно используется метод Дж. Ацци [43] и изучаемые характеристики оцениваются в относительных единицах (%) по отношению к контрольному варианту.

В 2011–2013 гг. в стационарных опытах была выполнена биохимическая диагностика дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почв по гидролитическим и окислительным ферментам, дана относительная оценка общей интенсивности минерализации (%) и гумификации (%). По соотношению активностей минерализационных и гумификационных процессов была дана биохимическая оценка направленности изменения плодородия почв в зависимости от системы удобрения. Для дерново-подзолистой супесчаной [21] и легкосуглинистой [22] почв были установлены наиболее обоснованные с экологических позиций системы удобрения, обеспечивающие высокую продуктивность сельскохозяйственных культур при сберегающем уровне минерализации органических веществ. Ферментативная диагностика способствует определению приемов экологически оптимального воздействия на почвы.

Микробиологические показатели для характеристики обилия и метаболической активности микробных сообществ почвы. В качестве интегральных микробиологических показателей предлагается использовать углерод микробной биомассы и дегидрогеназную активность почвы.

Почвенные микроорганизмы непосредственно или косвенно являются основным агентом всех биохимических превращений в почве, они контролируют деструкционную и гумификационную функции почвы [2, 6, 12, 13, 17, 20, 30, 36, 37]. Поэтому при нормировании антропогенной нагрузки необходимы объективные характеристики деятельности микробных сообществ почвы.

Однако, традиционные микробиологические методы по определению общей численности и группового состава микроорганизмов не нашли широкого практического применения для оценки почвенного плодородия. Это обусловлено рядом причин: несопоставимостью данных разных авторов из-за отсутствия стандартизации состава питательных сред, методов посева и учета микроорганизмов, способов предварительной подготовки почвы; динамичностью микробиологических показателей и выраженной зависимостью от гидротермических условий; сложностью и длительностью экспериментов; потребностью в специальном оборудовании для стерилизации. Но все же основные причины – недостаточная информативность вследствие специфики микроорганизмов, заключающейся в том, что их количество может быть не пропорционально их реальной активности и интен-

сивности проводимых ими процессов (Д.Г. Звягинцев, И.Л. Бабьева, Г.М. Зенова, 2005) [2], а также вследствие неопределенности учета активных микроорганизмов или покоящихся форм (Е.Н. Мишустин, 1972) [44].

Для характеристики состояния и деятельности микробных сообществ целесообразно использовать два интегральных показателя – обилие микробной биомассы и активность микробных дегидрогеназ.

Показатель обилия микробной биомассы в настоящее время широко используется в микробиологических исследованиях. Один из наиболее удобных и распространенных методов оценки микробной биомассы – фумигационно-экстракционный метод, состоящий в определении содержания углерода в микробной биомассе [38]. Метод дает надежные результаты, менее трудоемкий и требует меньших затрат времени.

Основанием для рекомендации этого показателя в качестве диагностического служит его тесная положительная взаимосвязь с содержанием Chwe (экстрагируемого горячей водой органического углерода). Активная фракция органического вещества включает негумифицированные соединения: алифатические и ароматические кислоты, углеводы, аминокислоты и их полимеры – полипептиды, белки, полисахариды, липиды [16]. Эта фракция легко утилизируется микроорганизмами и отличается быстрым круговоротом в почве. Содержание активной составляющей органического вещества важно для оценки влияния систем удобрения, севооборотов и других агротехнологий, так как именно активная часть органического вещества определяет устойчивость агросистемы [13].

Показатель Сбиомассы тесно положительно коррелирует с содержанием экстрагируемого горячей водой органического углерода (Chwe). В среднем за 4 года исследований коэффициент детерминации R^2 составил 0,95, по годам R^2 варьировали в пределах 0,92–0,96 ($P \leq 0,05$). Показатель Сбиомассы значительно меньше связан с содержанием гумуса в почве: по средним данным за 4 года коэффициент детерминации R^2 составил 0,53; по годам R^2 варьировали в пределах 0,34–0,60 (рис. 5).

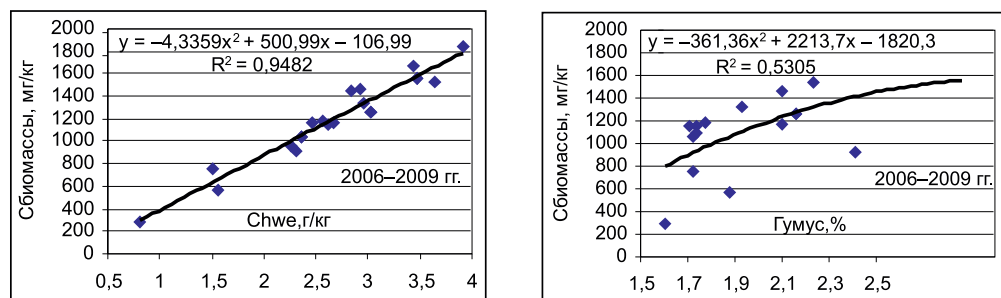


Рис. 5. Взаимосвязь Сбиомассы с содержанием гумуса и Chwe в дерново-подзолистой супесчаной почве (2006–2009 гг.)

Определение двух микробиологических параметров – микробной биомассы и дегидрогеназной активности микробных сообществ почвы дает наиболее объективную информацию как об актуальной численности, так и о метаболической активности микробных сообществ почвы.

Как известно, дегидрогеназы имеются у абсолютного большинства микроорганизмов [39], они характеризуют интенсивность процессов дегидрирования органи-

ческих субстратов и метаболическую активность микрофлоры. В отличие от других ферментов, дегидрогеназы не имеют внеклеточного компонента, они не адсорбируются и не накапливаются в почве, дегидрирование органического субстрата идет за счет дегидрогеназ живых микробных клеток [40]. Именно поэтому дегидрогеназная активность относится к наиболее объективным характеристикам как актуальной численности, так и метаболической активности микробных сообществ почвы.

Дегидрогеназы катализируют процессы дегидрирования органических субстратов и играют роль промежуточных переносчиков водорода. Субстратами дегидрирования служат углеводы, органические кислоты, аминокислоты, спирты и гуминовые кислоты.

Установлено, что дегидрогеназная активность в значительно большей степени связана с содержанием разлагаемой фракции органического вещества (Chwe) и слабо коррелирует с содержанием гумуса в почве. По результатам корреляционно-регрессионного анализа теснота взаимосвязи дегидрогеназной активности с содержанием Chwe (экстрагируемого горячей водой органического углерода) характеризуется $R^2 = 0,87$, по годам исследований R^2 – в пределах 0,82–0,89. В меньшей степени активность дегидрогеназ связана с содержанием гумуса в почве. В среднем за четыре года уровень взаимосвязи характеризуется $R^2 = 0,5$, варьирование R^2 по годам исследований – в пределах 0,48–0,57 (рис. 6). Для определения активности дегидрогеназ наиболее часто используется модифицированный метод А.Ш. Галстяна [26].

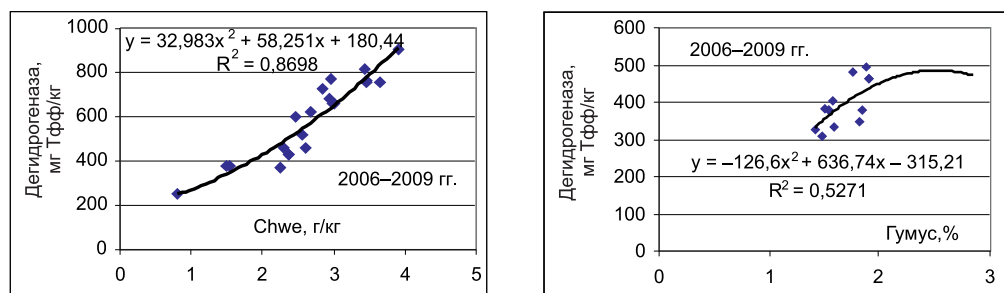


Рис. 6. Взаимосвязь активности дегидрогеназы с содержанием гумуса и Chwe в дерново-подзолистой супесчаной почве (2006-2009 гг.)

Таким образом, на основании длительных исследований по установлению влияния систем удобрения и обеспеченности элементами минерального питания на биологический статус дерново-подзолистых почв предложена система информативных биохимических и микробиологических показателей для биологического нормирования антропогенной нагрузки.

ВЫВОДЫ

1. Для оценки биологического состояния почвы под влиянием антропогенной нагрузки предложены информативные биохимические и микробиологические показатели, позволяющие устанавливать активность и соотношение процессов минерализации и гумификации органических веществ, состояние и деятельность микробных сообществ почвы. Выбор биологических показателей был обусловлен

их ролью в циклах углерода и азота почвы, а также значимой корреляцией с соответствующими фракциями органического вещества почвы.

2. Активность минерализации в цикле углерода почвы целесообразно оценивать по деструкции целлюлозы, представляющей самый масштабный гидролитический процесс, а также по сопряженному с ним гидролизу олигосахаридов, в частности по инвертазной активности почвы.

3. Для оценки активности минерализационных процессов в цикле азота почвы целесообразно использовать активность амидогидролаз, действующих на завершающих стадиях универсального процесса аммонификации, в частности по уреазной активности почвы.

4. Биохимическая оценка активности минерализации в циклах углерода и азота почвы может быть проведена по относительным показателям целлюлозолитической, инвертазной и уреазной активности почвы.

5. Наиболее адекватную характеристику интенсивности гумификации ароматических соединений дает определение активности окислительных ферментов – полифенолоксидаз и пероксидаз, катализирующих окисление ароматических соединений до хинонов, которые конденсируются с аминокислотами и пептидами с образованием гуминовых кислот. Биохимическая оценка активности гумификации может быть проведена по относительным показателям полифенолоксидазной и пероксидазной активности почвы.

6. Соотношение показателей минерализации и гумификации целесообразно использовать для биохимической оценки направленности трансформации органических веществ под действием антропогенных факторов и установления экологически обоснованных аграрных технологий, способствующих сохранению плодородия почвы.

7. Объективную характеристику обилия и метаболической активности микробных сообществ почвы обеспечивает одновременное определение интегральных микробиологических показателей – содержание углерода в микробной биомассе и дегидрогеназная активность почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапа, В.В. Плодородие почв Республики Беларусь, проблемы и перспективы / В.В. Лапа // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 1(44). – С. 7–14.
2. Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.Л. Бабьева, Г.М. Зенова. – МГУ, 2005. – 445 с.
3. Купревич, В.Ф. Почвенная энзимология / В.Ф. Купревич, Т.А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1966. – 274 с.
4. Dick, R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality / R.P. Dick // Defining Soil Quality for a Sustainable Environment / Eds. J.W. Doran [et al.]. – Soil Science Society of America, Madison, 1994. – P. 107–124.
5. Туев, Н.А. Экологические проблемы интенсивного земледелия / Н.А. Туев // Вестн. с.-х. науки. – 1988. – № 6. – С. 91–95.
6. Туев, Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования / Н.А. Туев. – М.: ВО Агропромиздат. – 1989. – 237 с.
7. Ladd, J.N. Origin and range of enzymes in soil / J.N. Ladd // Soil Enzymes / Ed. R.G. Burns. – Academic Press, London, 1978. – P. 51–96.

8. *Tabatabai, M.A.* Enzymes / M.A. Tabatabai // Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties / Eds. R.W. Weaver [et al.]. – Soil Science Society of America, Madison, 1994. – P. 775–833.
9. *Sariaslani, F.S.* Microbial enzymes for oxidation of organic molecules / Crit. Rev. Biotechnol. – 1989. – Vol. 9. – P. 171–257.
10. *Щербакова, Т.А.* Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т.А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 221 с.
11. *Boyd, S.A.* Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes / S.A. Boyd, M.M. Mortland // Soil Biochemistry. – New York: Marcel Dekker, 1990. – P. 1–28.
12. *Schulz, E.* Characterization of the decomposable part of soil organic matter (SOM) and transformation processes by hot water extraction / E. Schulz, M. Korschens // Eurasian Soil Science. – 1998. – Vol. 31, № 7. – P. 809–813.
13. *Kubat, J.* Soil organic matter and its inert and decomposable part in arable soils in the Czech Republic / J. Kubat [et al.] // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1(36). – С. 40–49.
14. Определение гумуса по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО. ГОСТ 26213-84.
15. *Anderson, D.W.* Processes of humus formation and transformation in soils of Canadian Great Plains / D.W. Anderson // J. Soil Sci. – 1979. – Vol. 30. – P. 77–84.
16. *Schnitzer, M.* Soil organic matter. The next 75 years / M. Schnitzer // Soil Sci. – 1991. – Vol. 151. – P. 41–58.
17. Elucidation of the source and turnover of water soluble and microbial biomass carbon in agricultural soils / E.G. Gregorich, B.C. Liang, C.F. Drury, A.F. MacKenzie and W.B. McGill // Soil Biol. Biochem. – 2000. – Vol. 32. – P. 581–587.
18. *Павлючук, З.* Влияние потенциала почвенной влаги на ферментативную активность почвы: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 06. 01. 03 / З. Павлючук; МГУ. – М., 1982. – 20 с.
19. *Карягина, Л.А.* Микробиологические основы повышения плодородия почв / Л.А. Карягина. – Минск: Наука и техника. – 1983. – 182 с.
20. *Міхайлоўская, Н.А.* Уплыў сельскагаспадарчых культур і ўмоў увільгатнення на ферментатыўную актыўнасць дзярнова-падзолістай суглінкавай глебы / Н.А. Міхайлоўская // Вес. АН БССР. Сер. с/г навук. – 1991. – № 3. – С. 91–94.
21. Влияние систем удобрения на биологическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы / В.В. Лапа [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2014. – № 2. – С. 61–68.
22. Влияние систем удобрения на ферментативную активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / В.В. Лапа [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 187–200.
23. *Михайловская, Н.А.* Влияние системы удобрения на ферментативную активность дерново-подзолистой супесчаной почвы / Н.А. Михайловская, О. Миканова, О.В. Рудько // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 2(39). – С. 186–195.
24. *T.W. Speir, D.J. Ross.* Hydrolytic enzyme activities to assess soil degradation and recovery. In: R.P. Dick, R.G. Burns, eds. Enzymes in the environment: activity, ecology, and applications. – 2002. – P. 407–431.
25. *Deng, S.P.* Cellulase activity of soil / S.P. Deng, M.A. Tabatabai // Soil Biol. Biochem. – 1994. – V. 26, № 10. – P. 1347–1354.

26. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – М: Наука, 2005. – 252 с.
27. Звягинцев, Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–52.
28. Bandick, A.K. Field management effects on soil enzyme activities / A.K. Bandick and R.P. Dick // Soil Biol. Biochem. – 1999. – Vol. 31. – P. 1471–1479.
29. Ceccanti, B. Fractionation of humus-urease complexes / B. Ceccanti, P. Nanipieri, S. Cervelli and P. Sequi // Soil Biol. Biochem. – 1978. – Vol. 10. – P. 39–45.
30. Kirk, T.K. Enzymatic «combustion»: the microbial degradation of lignin / T.K. Kirk and R.L. Ferrell // Annu. Rev. Microbiol. – 1987. – V. 41. – P. 465–505.
31. Кононова, М.М. Органическое вещество почвы / М.М. Кононова. – М.: АН СССР, 1963. – 315 с.
32. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – С. 122–133.
33. Flaig, W. Zur Umwandlung von Lignin in Humusstoffe / W. Flaig // Freiburger Forschungen. – 962. – Vol. 254.
34. Михайловская, Н.А. Взаимосвязь активности оксидаз с содержанием разных фракций органического вещества в дерново-подзолистой супесчаной почве / Н.А. Михайловская, О. Миканова // Вес. Нац. акад.наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2011. – № 1. – С. 37–44.
35. Martin, J.P. Comparison of the use of phenolase and peroxidase for the synthesis of model humic acid type polymers / J.P. Martin, K.A. Haider // Soil Sci. Soc. Amer. – 1980. – Vol. 44, № 5. – P. 983–988.
36. Ryan M.C. and R. Aravana, Combining ¹³C natural abundance and fumigation extraction methods to investigate soil microbial biomass turnover / M.C. Ryan, R. Aravana // Soil Biol. Biochem. – 1994. – Vol. 26. – P. 1583–1585.
37. Jenkinson D.S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil // J.R. Wilson, Editor, Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Systems, CAB Wallingford. – 1988. – P. 368–386.
38. Vance, E.D. An extraction method for measuring soil microbial biomass / E.D. Vance, P.C. Brookes, D.S. Jenkinson // C. Soil Biol. Biochem. – 1987. – Vol. 19. – P. 703–707.
39. Cashida, L.E. Microbial metabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations / L.E. Cashida // Appl. Environ. Microbiol. – 1977. – Vol. 34. – P. 630–636.
40. Петерсон, Н.В. Окислительно-восстановительные условия и дегидрогеназная активность в некоторых почвах западных областей Украины / Н.В. Петерсон // Научные труды Львовского СХИ. – 1968. – № 17. – С. 76–84.
41. Петерсон, Н.В. Источники образования пероксидазы в почве / Н.В. Петерсон, Г.Т. Периг // Почвоведение. – 1984. – № 9. – С. 70–77.
42. Significance of phenolic compounds in plant-soil microbial systems / J.O. Siqueira [et al.] // Crit. Rev. Plant Sci. – 1991. – Vol. 10. – P. 63–121.
43. Ацци, Ж. Сельскохозяйственная экология / Ж. Ацци. – М.: Ил, 1959. – 479 с.
44. Мишустин, Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия / Е.Н. Мишустин. – М.: Наука, 1972. – 342 с.
45. McLaren, A.D. Soil as a system of humus and clay immobilized enzymes / A.D. McLaren // Chemica Scripta. – 1975. – Vol. 8. – P. 97–99.

46. *Skujins J.* History of abiotic soil enzyme research. In: R.G. Burns, Editor, Soil Enzymes, Academic Press, New York (1978), pp. 1–49.

47. *Галстян, А.Ш.* Ферментативная активность почв Армении / А.Ш. Галстян. – Ереван: Айастан, 1974. – 260 с.

48. *Карагіна, Л.А.* Визначення актиності поліфенолаксидази і пероксидази у ґлебі / Л.А. Карагіна, Н.А. Михайлоуская // Вес. АН БССР. Сер. с.-г. наук. – 1986. – № 2. – С. 40–41.

49. *Kandeler, E.* Effect of cattle slurry in grassland on microbial biomass and on activities of various enzymes / E. Kandeler, G. Eder // Biology and Fertility of Soils. – 1993. – Vol. 16. – P. 249–254.

BIOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL INDICATORS FOR ASSESSMENT OF ANTROPOGENIC FACTOR'S EFFECT ON SOIL FERTILITY

**V.V. Lapa, N.A. Mikhailovskaya, T.B. Barashenko,
T.V. Pogiritskaya, S.V. Dyusova**

Summary

For the characterization of biomass abundance and metabolic activity of soil microbial communities two integral parameters were proposed. Simultaneous determination of carbon content in microbial biomass and dehydrogenase activity give most objective information about soil microbiological status. Indicators for biochemical assessment of mineralization and humification activities and ratio in soil were proposed.

Поступила 25.09.14

УДК 631.47

К ВОПРОСУ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ СОЛИГОРСКОГО РАЙОНА

В.В. Северцов¹, Г.С. Цытрон², Д.В. Матыченков²

¹*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь*

²*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени почвенный покров сельскохозяйственных земель Солигорского района трижды (1958–1962, 1975–1978, 2000–2001 гг.) картографирован в М 1:10 000. В этом же масштабе одиннадцать раз проведено агрохимическое обследование почв. К тому же Солигорский район является одним из приоритетных