

В тканях живородки содержание соединений меди, как было сказано выше, в период 2019–2021 гг. увеличивается. Отмечено, что в 2021 г. содержание элемента превышает содержание, определенное в 2020 г. в 2,0 раза. Увеличение содержания меди на протяжении 2019–2021 гг. свидетельствует не только о наличии доступных форм металла в донных отложениях водоемов, но и о возможности поступления металла с поверхностным стоком в водные экосистемы. Несмотря на то, что изучаемые водоемы не принимают сточных вод предприятий, в почвах водосборных территорий может содержаться значительное количество токсикантов, которые накапливались в течение длительного времени и вымываются дождевыми и талыми водами, поступают в водные экосистемы.

Заключение. Донные отложения водоемов и почвы прилегающих территорий к водным экосистемам могут являться источниками вторичного загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами. Снижение содержания соединений меди в мягких тканях брюхоногих моллюсков в 2019 г. в сравнении с 2010 г. свидетельствует о снижении антропогенной нагрузки на водные экосистемы. Это является результатом природоохранной политики, проводимой в Республике Беларусь. Для мониторинга содержания доступных форм меди в абиотических компонентах водных экосистем можно использовать живородку речную. Увеличение содержания токсиканта в мягких тканях живородки свидетельствует о вторичном загрязнении водных экосистем, когда тяжелые металлы переходят в донных отложениях в доступные для биологических объектов формы.

Литература

1 Абакумов, В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / В. А. Абакумов. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1983. – 240 с.

2 Безматерных, Д. М. Моллюски прудовик обыкновенный и прудовик яйцевидный как аккумулятивные индикаторы загрязнения пресных вод тяжелыми металлами / Д. М. Безматерных // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2018. – № 1 (5). – С. 112–117.

3 Дабахов, М. В. Экотоксикология и проблемы нормирования / М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова, В. И. Титова. – Нижегородская гос. с.-х. академия. – Новгород : ВВАГС, 2005. – 165 с.

4 Мур, Дж. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния / Дж. Мур, С. Рамамурти: пер. с англ. – Москва : Мир, 1987. – 288 с.

5 Донные отложения как индикатор первичного и источник вторичного загрязнения речных вод углепромышленных территорий Восточного Донбасса / В. Е. Закруткин [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2020. – № 84 (2). – С. 259–271.

6 Уровень и температура воды в р. Сож по гидропосту г. Гомель сегодня [Электронный ресурс] / AllRivers Уровень воды онлайн. – Гомель, 2019. – Режим доступа : <https://allrivers.info>. – Дата доступа : 31.07.2021.

УДК 543.068.8:631.465

Д. М. Емельянов

ЭКСПРЕСС-ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРЕАЗНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ

В статье рассмотрена возможность экспресс-диагностики уреазной активности почв по методу Т. В. Аристовской и М. В. Чугуновой. Данный метод основан на фиксации

уровня изменения *pH* почвы, происходящего в результате высвобождения аммиака за счет разложения субстрата (мочевины). Метод позволяет провести полуколичественное сравнительное исследование активности уреазы в различных типах почв.

Введение. Уреаза (карбамид–амидогидролаза, К. Ф. 3.5.1.5. [1, с. 169]) является ферментом, катализирующим необратимый гидролиз связи –CO–NH в молекуле мочевины с образованием аммиака и диоксида углерода [2, с. 376; 3, с. 135; 4, с. 182; 5, с. 23] (рисунок 1). Но данный фермент не обладает абсолютной специфичностью к мочеvine как единственному субстрату и способен подвергать гидролизу некоторые ее производные [2, с. 377]. Фермент не способен гидролизовать амидную связь в составе пептидов [6, с. 7].

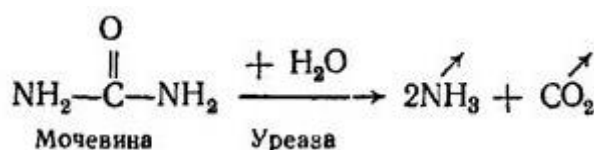


Рисунок 1 – Реакция гидролиза мочевины

Образование карбамида в почве связано с процессами превращения различных азотсодержащих органических соединений [3, с. 153; 4, с. 182]. Но высокая реакционная способность уреазы к превращению мочевины в летучие соединения препятствует ее накоплению в почве [5, с. 23]. Образовавшийся аммиак служит источником азотного питания для растений и микроорганизмов [3, с. 153; 4, с. 182].

Таким образом, уреазы являются одним из важных ферментов процесса азотного обмена в почве [5, с. 23; 7, с. 67]. Ее активность тесно коррелирует с активностью всех ведущих ферментов азотного метаболизма [5, с. 24].

Как и большинство почвенных ферментов, уреазы имеют преимущественно микробное происхождение [7, с. 46]. Попадая в почву, одна часть фермента находится в свободном состоянии вплоть до инактивации, другая адсорбируется на почвенных коллоидах, что предохраняет фермент от различного рода воздействий и способствует его аккумуляции [7, с. 68].

Распределение фермента относительно горизонтов почвы имеет свои особенности. Наибольшей уреазной активностью обладает гумусовый горизонт [5, с. 23; 7, с. 68].

При изучении профилейного распределения уреазы в гумусовом горизонте чернозема обыкновенного О. И. Наими было установлено, что нижняя часть гумусового профиля в пределах 20–80 см имеет «среднюю обогащенность» ферментом (от 10,0 до 17,5 мг NH₃/10 г за 24 ч). Наибольшую активность фермента (16,9±2,2 мг NH₃/10 г за 24 ч) автор наблюдал в горизонте 20–40 см [8, с. 13].

Высокая активность характерна черноземным и перегнойно-торфяным почвам. Малогумусные дерново-подзолистые почвы характеризуются меньшей активностью [5, с. 24].

Как и любому другому ферменту, уреазе характерны свои отличительные особенности. Например, в статье Е. В. Товстик и А. С. Ольковой, посвященной исследованию активности некоторых ферментов в дерново-подзолистых и серых лесных почвах, указано, что повышение минерализации почвенного раствора приводит к увеличению активности уреазы [9, с. 133].

На каталитическую способность уреазы также влияет внесение минеральных удобрений [5, с. 24]. В статье О. В. Наими указывается, что связь активности уреазы с содержанием в почве минерального азота носит переменный характер: небольшие

концентрации азота повышают активность, очень высокие – ингибируют фермент. Автором была выявлена обратная корреляционная зависимость между активностью фермента и содержанием аммонийных и нитратных удобрений [8, с. 14]. Таким образом, уреазы является одним из основных ферментов азотного обмена и служит важным показателем биологической активности почв.

Материалы и методы исследования. Пробы дерново-подзолистой почвы отобраны в сентябре 2021 г. на глубине 0–20 см на территории, сопредельной с санитарно-защитной зоной полигона твердых коммунальных отходов (ТКО) г. Гомеля. Пробы почв были высушены до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре.

Большинство методов определения активности уреазы основано на учете количества продуктов (аммиака или диоксида углерода), образуемых при гидролизе мочевины или количестве негидролизованного субстрата [3, с. 153].











В данной работе представлены результаты определения уреазной активности почвы, выполненные экспресс-методом Т. В. Аристовской и М. В. Чуговой [10, с. 142].

Перед проведением опытов воздушно-сухие образцы почвы были помещены в чашки Петри, увлажнены до пастообразного состояния и инкубированы 3 часа при комнатной температуре, после чего вносили раствор карбамида в количестве, соответствующем 0,5 г на 50 г почвы в пересчете на воздушно-сухое вещество. В качестве контроля выступала почва без внесения карбамида. Изменение рН в ходе реакции фиксировали с помощью универсальной индикаторной бумаги, действующей в диапазоне рН 7–14 с интервалом в 1 ед. рН.

Сущность метода состоит в фиксации изменения уровня рН, происходящего в инкубационном сосуде за счет выделения аммиака. Изменение уровня рН фиксировали по изменению цвета индикаторной бумаги, закрепленной на внутренней крышке емкости с исследуемым образцом почвы с добавлением мочевины. Аммиак, являясь продуктом разложения мочевины, из-за своей летучести приводил к ощелачиванию воздушного пространства над почвой. При этом цвет индикатора изменялся в соответствии с изменениями рН среды. Пользуясь колориметрической шкалой, через определенные промежутки времени отмечали изменение величины рН в реакционных сосудах. Скорость защелачивания воздушного пространства является показателем биологической активности почвы.

Результаты и их обсуждение. Интенсивность изменения щелочности воздушного пространства над почвой отмечалась в баллах. Предложенная нами балльная шкала (таблица 1) отражает изменения рН в условиях эксперимента в диапазоне от 7,0 до 10,0.

Таблица 1 – Колориметрическая шкала определения активности уреазы

Значение рН	7,0	около 7,5		8,0	около 8,5		9,0	около 9,5		10,0
Окраска индикатора										
Количество баллов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Это связано с тем, что максимальное значение рН воздушного пространства, зафиксированное за 50 ч инкубации, составило 10,0 ед. рН.

Сопоставляя данные таблицы 2 с предложенной нами шкалой можно констатировать, что наибольшей активностью характеризуются почвы образца 2. По истечению 50 ч инкубации Δ рН составило 3 ед. Для образца 1 Δ рН достигло 2 ед. спустя 20 ч инкубации и в дальнейшем изменений не наблюдалось. В контрольных образцах почвы изменений щелочности не зафиксировано.

Таблица 2 – Бальная оценка активности уреазы в дерново-подзолистой почве

№ образца		Изменение щелочности воздуха в закрытом сосуде над почвой (рН)											
		Через 1 час		Через 2 часа		Через 3 часа		Через 20 часов		Через 25 часов		Через 50 часов	
		в ед. рН	в баллах	в ед. рН	в баллах	в ед. рН	в баллах	в ед. рН	в баллах	в ед. рН	в баллах	в ед. рН	в баллах
1	Опыт	7,0	1	7,0	1	8,0	4	9,0	7	9,0	7	9,0	7
	Контроль	7,0	1	7,0	1	7,0	1	7,0	1	7,0	1	7,0	1
2	Опыт	7,0	1	7,0	1	8,0	4	9,0	7	9,0	7	10,0	10
	Контроль	7,0	1	7,0	1	7,0	1	7,0	1	7,0	1	7,0	1

Полученные нами результаты согласуются с данными ранее проведенного количественного определения уреазной активности исследуемых почв. Активность уреазы в 1 и 2 образцах соответственно составляла 28,44 мг NH₃/10 г за 24 ч и 50,37 мг NH₃/10 г за 24 ч, что в соответствии со шкалой Д. В. Звягинцева [11, с. 51] позволило нам оценить степень обогащенности данных почв как «среднеобогатенную» и «богатую».

Как было высказано ранее, на активность уреазы влияют многие факторы, в том числе кислотность почвы. По значениям потенциальной кислотности образец 1 «близок к нейтральной» (рН_{ксл} 5,61–5,64), а образец 2 – «слабокислой среде» (рН_{ксл} 5,45–5,47).

Пробы были исследованы на содержание нитратов как одного из факторов влияния на уреазную активность. Установлено, что содержание нитрат-ионов в образце 1 составляло 105,41 ± 3,35 мг/кг, в образце 2 – 147,41 ± 6,75 мг/кг. Наблюдается взаимосвязь между показателем активности фермента и содержанием нитратов. Вероятней всего, наличие в почве минерального азота стимулирует микробные ценозы к увеличенной продукции фермента, и, как следствие, наблюдается повышенная уреазная активность почвы.

Вывод. Таким образом, проведенное нами определение уреазной активности позволило получить полуколичественные результаты, согласующиеся с результатами количественного определения в образцах, находимых в воздушно-сухом состоянии. Использованный нами метод может быть применен при изучении биологической активности различных типов почв как простой в исполнении способ их первичной оценки.

Литература

- 1 Номенклатура ферментов / Международный биохимический союз по номенклатуре и классификации ферментов. ; ред. А. Е. Браунштейн. – Москва : ВИНТЕ, 1978. – 321 с.
- 2 Диксон, М. Ферменты : в 3 т. / М. Диксон, Э. Уэбб. – Москва : МИР, 1982. – Т. 1. – 392 с.

3 Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. – Москва : Наука, 2005. – 252 с.

4 Казеев, К. Ш. Биодиагностика почв / К. Ш. Казеев, С. Н. Колесников. – Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2012. – 260 с.

5 Хазиев, Ф. Х. Почвенные ферменты / Ф. Х. Хазиев. – Москва : Знания, 1972. – 32 с.

6 Березин, И. В. Практический курс химической и ферментативной кинетики / И. В. Березин, А. А. Клёсов. – Москва : Изд-во МГУ, 1976. – 322 с.

7 Абдуллаева, Р. З. Ферментативная активность как один из факторов биологического потенциала почвы / Р. З. Абдуллаева // Вестник донского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2–1 (28). – С. 65–71.

8 Наими, О. И. Закономерности профильного распределения уреазы в черноземе обыкновенном в агроценозе / О. И. Наими // Междунар. журн. гуманитар. и естеств. наук. – 2019. – № 8–1. – С. 12–14.

9 Товстик, Е. В. Оценка влияния факторов абиотической природы на ферментативную активность почвы / Е. В. Товстик, О. С. Олькова // Экобиотех. – 2021. – Т. 4. – № 2. – С. 128–134.

10 Аристовская, Т. В. Экспресс-метод определения биологической активности почвы / Т. В. Аристовская, М. В. Чугунова // Почвоведение. – 1989. – № 11. – С. 142–147.

11 Звягинцев, Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д. В. Звягинцев // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–54.

УДК 546.175:581.19:631.8

А. Д. Зайцева

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ НИТРАТ-ИОНОВ РАСТЕНИЯМИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЯ

Статья посвящена изучению особенностей накопления нитратов в растительной продукции, культивируемой в среде микрополевого однофакторного опыта при различных способах внесения азотсодержащего удобрения. Показано, что способ внесения удобрения влияет на количественное содержание нитрат-ионов в растениях, принадлежащих к семействам Бобовые (Fabaceae), Тыквенные (Cucurbitaceae), Зонтичные (Ariaceae).

Под влиянием живых организмов в почве фиксируется большое количество азота. К свободноживущим азотфиксаторам относятся бактерии клостридий, азотобактер, некоторые сине-зеленые водоросли и др. При помощи ферментов данных организмов они образуют органические соединения. Активирование молекулярного азота происходит под действием фермента нитрогеназы. Часть нитрат- и нитрит-ионов находится в почвенном растворе.

Образование и накопление нитратов в земных экосистемах необходимо рассматривать в совокупности с биологическим круговоротом азота. Обмен между азотом атмосферы и земной поверхностью происходит различными способами, в том числе через воду, почву, микроорганизмы, растения, животных и людей. Используя азотфиксирующие ферменты микроорганизмов, газообразный азот в атмосфере связывается с другими химическими элементами с образованием азотсодержащих соединений. Вся эта цепочка транспорта и превращения называется круговоротом азота [1, с. 66]. Свободный азот из воздуха фиксируется живущими в почве микроорганизмами, содержащими азотфиксирующие ферменты, которые обеспечивают его связь с химическими элементами, образуя азотсодержащие соединения.