

УДК [631.44 (1-924.85): 631.465] (470.6)

ББК 40.3

Т – 24

Тих Ирина Петровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Учреждения Российской академии наук Институт экологии горных территорий КБНЦ РАН, г. Нальчик, e-mail: iemt@mail.ru;

Агиров Аслан Хангиреевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией почвенно-экологических исследований ИЭГТ КБНЦ РАН, тел. (8772)528833.

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПНОГО ПОЯСА В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

(рецензирована)

Исследована ферментативная активность (инвертаза, каталаза, уреазы) основных типов и подтипов почв лесостепного пояса кубанского варианта поясности в пределах Республики Адыгея. Наибольшей активностью по изученным ферментам в лесостепном поясе характеризуется серая лесостепная почва, наименьшей – аллювиальная луговая карбонатная. Наиболее высокую инвертазную активность имеют луговато-лесные выщелоченные почвы. Уреазный потенциал наиболее высокий в темно-серых лесостепных почвах, а каталазный – серой лесостепной.

Ключевые слова: почва, ферментативная активность (инвертаза, каталаза, уреазы), Западный Кавказ, лесостепной пояс, Республика Адыгея.

Tikh Irina Petrovna, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the Institution of the Russian Academy of Sciences, Institute of Ecology of Mountain Territories KBSC Academy of Sciences, Nalchik, e-mail: iemt@mail.ru;

Agirov Aslan Hangireevic, MD, professor, head of the laboratory of soil and ecological research IEGT KBSC Sciences, tel. (8772) 528833.

ENZYMATIC ACTIVITY OF VARIOUS SOIL TYPES OF FOREST AND STEPPE ZONE IN THE WESTERN CAUCASUS

The enzymatic activity (invertase, catalase, urease) of the main types and subtypes of soils in the forest-steppe zone of the Kuban option zonation within the Republic of Adyghea has been studied. Grey forest-steppe soils have the greatest activity according to the studied enzymes, alluvial meadow carbonate - the smallest. Meadow-forest leached soils have the highest invertase activity. Urease capacity is the highest in dark-grey forest-steppe soils, and catalase - in grey forest-steppe ones.

Key words: soil, enzyme activity (invertase, catalase, urease), West Caucasus, the steppe zone, the Republic of Adyghea.

Представление о почве как о биохимической системе развивается в работах Д.Г. Звягинцева [9]. Формированию такого подхода в почве способствовали работы И.В. Тюрина [19], М.М. Кононовой [11], Н.А. Красильникова [13], Д.С. Орлова [15], Д.Г. Звягинцева [9], В.Ф. Купревича [14], Т.А. Щербаковой [14, 22], А.Ш. Галстяна [4], Ф.Х. Хазиева [20,21], С.А. Абрамяна [1], В.Ф. Валькова [3] и других по биохимии гумуса, по физиологически активным соединениям и ферментам почв. Метаболизм живых организмов, превращения органических и минеральных соединений в почве создают своеобразную биохимическую обстановку в ней. Основу формирования почвы и ее плодородия составляет сложный процесс гумусообразования с участием разнообразных ферментов.

Функциональная роль ферментов как катализаторов материально-энергетического обмена в почве и в почвенных процессах огромна. В почве присутствуют и

функционируют системы ферментов, последовательно осуществляющие биохимические реакции [14], выполняющие материальные и энергетические обмены, в основе которых лежат синтетико-деструктивные реакции. Важная роль ферментов в почве заключается в том, что они осуществляют функциональные связи между компонентами экосистемы, и ферментативная активность почвы отражает функциональное состояние живого населения ее [22]. Под действием ферментов органические вещества почвы и остатки биоты распадаются до различных и конечных продуктов минерализации. Ферменты, выполняя ведущую роль в процессах трансформации органических веществ, являются чувствительными индикаторами на воздействие разных факторов почвообразования и на изменение условий функционирования естественных биоценозов [2, 17, 22].

Изучению ферментативной активности почв Юга России уделено большое внимание. В целом имеющиеся сведения о ферментативной активности различных типов почв в настоящее время пока недостаточны и требуют дальнейшего изучения. Это делает весьма актуальным в теоретическом и практическом отношении изучение вопросов, связанных с определением ферментативной активности почв различного генезиса из различных природно-климатических условий в зависимости от широтной зональности и высотной поясности в условиях Западного Кавказа.

Целью исследования является установление уровня каталазной, уреазной и инвертазной активностей основных типов и подтипов почв лесостепного пояса кубанского варианта поясности Республики Адыгеи (по типизации: А.К. Темботова и др., 2001) [18], и выявление сопряженных изменений активности ферментов с содержанием гумуса и влажностью.

Изучаемые ферменты, относящиеся к классу гидролаз и оксидоредуктаз, играют существенную роль в важнейших биохимических процессах: инвертаза и уреазы в гидролитическом расщеплении органических веществ, каталаза - в окислительно-восстановительных реакциях.

Материал и методы исследования

Исследуемые почвы лесостепного пояса кубанского варианта поясности в пределах Республики Адыгеи (высотные пределы 230 – 642 м над ур.м.), координаты 44⁰28' - 44⁰41' с.ш. и 40⁰03' - 40⁰20' в.д. расположены в умеренно влажной зоне. Годовое количество осадков составляет 600-750 мм. Среднегодовая температура воздуха составляет +10,6⁰С, самый жаркий месяц (июль) со среднемесячной температурой воздуха +23⁰С, абсолютный максимум отмечен в августе +42⁰С. Наиболее низкие температуры наблюдаются в зимний период: среднемесячная температура воздуха составляет -2,4⁰С., абсолютный минимум отмечен в январе и равен -31⁰С [12].

Разнообразные климатические, гидрологические, растительные и рельефные условия способствовали формированию на территории Республики Адыгея сложного почвенного покрова. В лесостепной зоне преобладающим типом растительности являются дубовые леса. Господствующей породой является *Quercus robur* L. В качестве содоминирующих пород в его формировании принимают участие *Fraxinus excelsior* L., *Tilia caucasica* L., *Acer campestre* L., *Carpinus betulus* L. Наиболее характерными сопутствующими видами деревьев являются *Pyrus caucasica* Fed., *Ulmus glabra* Huds., *Crataegus monogyna* Jacq., *Acer tataricum* L. Среди кустарников преобладают *Euonymus europaea* L., *Ligustrum vulgare* L., *Swida australis* (С.А. Mey) Pojark. ex. Gross., *Crataegus monogyna*, *Cornus mas* L. Травяной ярус представлен *Vincetoxicum scandens* Somm. et Levier., *Geum urbanum* L., *Urtica dioica* L., *Lamium maculatum* L., *Carex silvatica* Huds., *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) Beauv., *Fragaria vesca*, *Dryopteris filix mas*, *Poa angustifolia* Bieb., *Dactylis glomerata* L. Типичными представителями разнотравья являются *Teucrium polium* L., *Achillea millefolium* L., *Euphorbia virgata* Waldst. et Kit., *Plantago media* L., *Galium odoratum* (L) Scop., *Salvia verticillata* L., *Inula salicina* L. Из бобовых высоким обилием отличается *Medicago minima* L. Реже отмечены: *Vicia cracca* L., *Galega officinalis* L.

Сбор и анализ почвенных образцов на ферментативную активность осуществляли по общепринятым в почвоведении методам [10, 21, 6]. Пробы почв отбирались в естественных биоценозах в летний период 2008 г. ($t=24-27^{\circ}\text{C}$) в лесостепной зоне кубанского варианта поясности в пределах Республики Адыгея. Всего проанализировано 90 почвенных образцов. Для исследования использовали образцы с поверхностного слоя (0-15 см) различных типов и подтипов почв: чернозема выщелоченного слитого, чернозема выщелоченного уплотненного, лугово-черноземной выщелоченной, луговато-лесной выщелоченной, аллювиальной луговой карбонатной, лесостепной (серой, серой глееватой и темно-серой) и лесной (серой и темно-серой). Почвы подвергались тщательной очистке, сушке до воздушно-сухого состояния, измельчению. Контролем служили стерилизованные почвы ($t=180^{\circ}\text{C}$, 3 час.). Ферментативную активность почв оценивали по шкале Гапонюк-Малахова [5]. Типы почв определялись по почвенно-экологической карте Республики Адыгея [16].

Сопряжено с активностью ферментов определялись процентное содержание гумуса по методу Тюрина в модификации Никитина [10], рН [7], гигроскопическая влага [8].

Результаты исследований и их обсуждение

Значительную роль почвенные ферменты играют в процессах гумусообразования [9]. Орлов Д.С. и Бирюкова О.Н. [15] выявили прямую связь между интенсивностью гумификации и ферментативной активностью. Хазиев Ф.Х. [20] также связывает активность ферментов с содержанием органического вещества в почве.

Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1. Исследуемые почвы характеризуются как среднегумусные и высокогумусные. Колебания в содержании гумуса в разных типах почв весьма существенно, и максимальные уровни превышают минимальные в 2-3 раза. Варьирование содержания гумуса составляет 1,19-32,73%.

По результатам проведенных исследований установлено, что серые лесостепные и серые лесные почвы, а также их подтипы характеризуются кислой и слабокислой реакцией среды, тогда как черноземы и луговые почвы – нейтральной и слабощелочной. Величины рН для всех почв отличаются наименьшей вариабельностью, которая не превышает 3 %.

Гигроскопическая влажность варьирует от минимального значения для почв чернозема выщелоченного уплотненного и слитого до максимального для луговато-лесной и аллювиальной луговой карбонатной. Вариабельность влажности колеблется в пределах 1,16 – 49,68%.

Стадия ферментативного превращения углеводов в почве представляет собой важнейшее звено круговорота углерода в природе. Ферментативное превращение углеводов обеспечивает передвижение поступающего в почву в огромных количествах органического материала и накопленной в нем энергии, а также аккумуляцию его в почве в форме гумуса, так как при этом образуются предгумусовые компоненты. Фермент представляющий наибольший интерес в общем, углеводородном обмене в почве - активность инвертазы, так как имеет широкое распределение сахарозы во всех биологических организмах, являющимся потенциальным источником накопления ее в почве.

В изученных нами почвах активность фермента инвертазы характеризуется как средняя, при этом средние значения инвертазной активности близки. Максимальная активность фермента отмечена у луговато-лесной и серой лесостепной почвы. Самая низкая инвертазная активность зарегистрирована в аллювиальной луговой карбонатной почве, которая характеризуется наличием признаков периодического гидроморфизма. В данном типе почвы образуются на поверхности мочаги, которые приводят к временному заболачиванию почвы. Избыточная влажность на поверхности почвы может быть причиной изменения соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов в почвенном микробиологическом комплексе и снижении численности микроорганизмов,

гидролизующих дисахариды. Коэффициенты вариации инвертазной активности невысокие 2,04-22,44%.

Изученная серая лесостепная глеевая почва имеет меньшую инвертазную активность в связи с меньшим содержанием гумуса, углеводов и менее благоприятными для накопления и функционирования ферментов свойствами поглощающего комплекса. В поглощающем комплексе этих почв содержится, по-видимому, значительное количество железа и алюминия, в составе гумуса преобладают фульвокислоты, которые могут оказать отрицательное действие на активность сахарозы.

Таблица 1. Средние значения ферментативной активности почв лесостепного пояса Адыгеи

Почвы	pH	Влажно-сть, %	Гумус, %	Инвертаза, глюкоза мг/1 г сут ⁻¹	Уреаза, мг NH ₃ /10 г сут ⁻¹	Каталаза, мл O ₂ /1г/1мин
Серая лесостепная	5,41	10,68±4,33	6,24±1,09	38,20±6,63	95,63±13,93	9,17±1,78
Темно-серая лесостепная	5,94	9,88±4,45	5,35±0,38	28,60±5,47	124,68±25,97	7,01±2,10
Серая лесостепная глееватая	5,21	9,09±0,96	3,72±0,05	21,63±2,16	11,87±1,78	2,58±0,76
Чернозем выщелоченный слитый	6,78	8,17±1,33	5,56±1,82	31,93±1,47	38,47±5,31	5,61±2,58
Чернозем выщелоченный уплотненный	7,50	6,95±0,081	6,64±0,78	31,54±6,94	36,49±2,50	8,95±1,65
Луговато-черноземная выщелоченная	7,23	10,97 ±0,49	4,70±0,06	36,49±2,96	20,93±3,60	6,90±1,48
Луговато-лесная выщелоченная	7,53	12,26±2,23	6,78±0,80	40,35±1,35	41,01±4,02	7,67±1,6 0
Аллювиальная луговая карбонатная	7,16	12,13 ±2,93	4,56±0,54	17,85±3,32	26,38±7,06	2,15±0,55
Серая лесная	5,86	8,58±0,42	7,76±0,91	31,40±0,64	55,87±5,49	8,52±1,44
Темно-серая лесная	6,21	8,96±1,174	6,19 ±0,73	27,90±6,26	78,86±10,64	7,27±1,10

Выщелоченные слитые и уплотненные черноземы имеют примерно одинаковую инвертазную активность, хотя черноземы выщелоченные уплотненные более гумусированы. Очевидно, для черноземов выщелоченных слитых фактором, лимитирующим формирования более высокой инвертазной активности, выступает неблагоприятный водный режим, тогда как для уплотненных черноземов таким лимитирующим фактором является температурный режим.

Находящиеся в сходных типах растительного покрова подтипы серых лесостепных почв характеризуются практически одинаковой инвертазной активностью. Выявлены существенные различия между активностью инвертазы луговато-лесных выщелоченных почв ($t = 4,22 - 7,35$) и подтипами серых лесостепных почв.

Активность каталазы исследованных типов и подтипов почв отличаются по интенсивности окислительных процессов, и характеризуется как слабая, средняя и высокая. Различие между слабой активностью и высокой составляет 6-10 раз. В лесостепных почвах активность почвенного фермента каталазы варьирует от 1,3 мл O₂ до 13,0 мл O₂. Вариабельность каталазной активности составляет 15,13-45,99%. Наибольшую

каталазную активность (среднее 9,17 мл O₂) из всех изученных почв проявляет серая лесостепная почва, что свидетельствует об энергичных окислительно-восстановительных процессах, происходящих в данной почве. Минимальная активность наблюдается у аллювиальной луговой карбонатной (среднее 2,15 мл O₂) и серой лесостепной глеевой (среднее 2,58 мл O₂) почвах. Каталазная активность возрастает от черноземов и луговых почв к серым лесостепным и лесным почвам, а также их подтипам. Отличие от других типов почв высоко достоверно ($t = 2,60-3,64$) для серых лесостепных глеевых почв и ($t = 2,24-4,16$) для аллювиальной луговой карбонатной почвы.

У наиболее гумусированных почв – серых лесных, серых лесостепных почв и ее подтипов, а также чернозема выщелоченного уплотненного и луговато-лесной почвы выявлена средняя активность данного фермента. Как отмечено выше, эти почвы отличаются также повышенной активностью инвертазы.

С действием уреазы связаны процессы гидролиза и превращения в доступную форму азота мочевины. Последняя в значительных количествах может образоваться в естественных почвах в качестве промежуточных продуктов метаболизма азоторганических соединений, особенно азотистых оснований нуклеиновых кислот.

Активность уреазы исследованных типов и подтипов почв неодинакова и характеризуется как средняя, высокая и очень высокая. Пределы колебания активности уреазы в почвах составляла 7,70 -183,80 мг NH₃/10 г почвы сут⁻¹. Максимальная активность данного фермента отмечена у темно-серых и серых лесостепных почв, минимальная – серой лесостепной глеевой и луговато-черноземной. Повышение уреазной активности почв, по-видимому, способствуют оптимальные значения рН в указанных почвах. Очевидно, относительно меньшее содержание амидных форм органического азота в лесостепных почвах, обуславливается повышенной активностью в них уреазы.

Активность уреазы в черноземах (уплотненных и слитых) и луговато-лесных почвах различалась незначительно. Скорость разложения мочевины в серой лесостепной глеевой, луговато-черноземной и аллювиальной луговой карбонатной почвах была существенно ниже по сравнению с другими участками. Вероятно, это связано с нарушением биохимической активности групп микроорганизмов, принимающих участие в минерализации азотистых соединений в почве.

В черноземной почве по сравнению с темно-серой лесостепной почвой, скорость разложения мочевины была почти в 3-3,5 раза ниже. По уровню активности данного фермента черноземы (слитые и уплотненные), серые лесостепные глеевые и луговатые почвы (луговато-лесные и луговато-черноземные выщелоченные) уступают серым лесостепным и серым лесным почвам, а также их подтипам ($t = 2,18-7,93$). Изменчивость уреазной активности исследованных типов почв составляет 6,85 – 26,76%.

Корреляционный анализ выявил зависимость ферментативной активности почв от влажности и содержания гумуса. Установлена средняя и высокая корреляционная связь с содержанием гумуса и активности инвертазы ($r = 0,27-0,92$), каталазы ($r = 0,19-0,85$), уреазы ($r = 0,50-0,99$) с максимальной связью для луговато-черноземной выщелоченной и луговато-лесной почвы. Аналогичная сопряженная связь активности ферментов отмечена с влажностью ($r=0,39-0,99$; $r=0,17-0,88$; $r=0,45-0,94$ соответственно). Максимальная корреляционная зависимость изученных показателей выявлена для серой лесостепной глеевой, темно-серой лесостепной и лесной почвы.

Выводы:

Определена активность важнейших почвенных ферментов – инвертазы, каталазы и уреазы различных типов и подтипов почв лесостепной зоны кубанского варианта пояности в пределах Республики Адыгея, и выявлены сопряженные изменения активности ферментов с содержанием гумуса и гигроскопической влажностью. Изученные почвы по активности инвертазы проявляют среднюю активность. Наиболее контрастны почвы по активности каталазы и уреазы, которые варьируют соответственно от слабой до высокой и от средней до очень высокой.

Серая лесостепная почва характеризуется наибольшей активностью по изученным ферментам, наименьшей – аллювиальная луговая карбонатная почва. Наиболее высокую инвертазную активность имеют луговато-лесные выщелоченные почвы. Уреазный потенциал наиболее высокий в темно-серых лесостепных почвах, а каталазный – серой лесостепной.

Несмотря на то, что черноземы уплотненные выщелоченные и черноземы слитые выщелоченные имеют высокие показатели гумуса, эти почвы обладают средней активностью изученных ферментов, что, по-видимому, связано с запасом влаги в почве и количеством атмосферных осадков за биологически активный период.

Серая лесостепная почва по активности изученных ферментов превосходит серые лесные почвы (аналогично и темно-серые), хотя по содержанию гумуса, наоборот уступают им.

Ферментативная активность изученных почв положительно коррелирует с содержанием гумуса и гигроскопической влажностью. Сравнительный анализ выявил достоверные различия в активности ферментов между черноземами и серыми (темно-серыми) лесостепными почвами, луговато-лесными выщелоченными и аллювиальными луговыми карбонатными почвами.

Литература:

1. Абрамян С.А. Изменение ферментативной активности почв под влиянием естественных и антропогенных факторов // Почвоведение. 1992. № 7. С.70-82.
2. Александрова Л.Н. Органическое вещество почв и процессы его трансформации. М., 1980. 286 с.
3. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методология исследования биологической активности почв на примере Северного Кавказа // Научная мысль Кавказа. 1999. №1. С. 32-37.
4. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.
5. Гришина Л.А., Копчик Т.Н., Моргун Л.В. Организация и проведение почвенных исследований для экологического мониторинга. М., 1991. 82 с.
6. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб.
7. ГОСТ 26483-85. Приготовление солевой вытяжки и определение её рН по методу ЦИНАО. М.: Госком СССР по стандартам, 1985.
8. Добровольский В.В. Практикум по географии почв. М.: Владос, 2001. 143 с.
9. Звягинцев Д.Г. Проблемы биохимии почв // Вестник МГУ. Сер. 17: Почвоведение. 1977. № 1. С. 74-84.
10. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследования. Ростов н/Д, 2003. 204 с.
11. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.
12. Климат Ростовской области и Краснодарского края. Ростов н/Д: Ростоблиздат, 1938. 139 с.
13. Красильникова Н.А. Выделение ферментов корнями высших растений // Докл. АН СССР. 1952. Т. 87, № 2. С. 309-312.
14. Купревич В.Ф., Щербакова Т.А. Почвенная энзимология. Минск: Наука и Техника, 1966. 275 с.
15. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Гумусное состояние почв как функция их биологической активности // Почвоведение. 1984. №8. С. 39-48.
16. Почвенно-экологический атлас Республики Адыгея / Южно-российский региональный кадастровый центр «Земля». Майкоп, 1999. 35 с.
17. Смолянинов И.И. Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов. М.: Лесная промышленность, 1969. 192 с.
18. Проблемы экологии горных территорий / А.К. Темботов [и др.]. Майкоп, 2001. С. 100-107, 171-177.
19. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в плодородии. М., 1965. 319 с.
20. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. М., 1976. 180 с.
21. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 1990. 189 с.
22. Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. Минск, 1983. 222 с.