УДК 631.46: 574.4: 630*43

**Использование активности ферментов для диагностики
последствий фумигации дымом почв***Нижельский М.С.¹, Казеев К.Ш.¹, Шхапацев А.К.², Колесников С.И.¹*¹*Южный федеральный университет*²*Майкопский государственный технологический университет***Аннотация**

В результате пожаров, кроме непосредственно огня и высоких температур, значительное влияние на биоту оказывает дым от продуктов горения. Целью работы была оценка влияния фумигации продуктами горения растительного происхождения на биологическую активность чернозема обыкновенного. В серии модельных экспериментов показана реакция почвенных ферментов (каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза, инвертаза, уреазы, фосфатаза) на задымление изучаемой почвы продуктами термического разложения материалов растительного происхождения (листва, хвоя, солома, древесная щепа). Выявлено достоверное снижение ферментативной активности исследуемых ферментов в диапазоне от 7% до 33%, в зависимости от времени нахождения чернозема под дымом (15–120 минут). Наибольшая чувствительность к фумигации была отмечена для ферментов класса оксидоредуктаз: каталазы, полифенолоксидазы и пероксидазы. Таким образом, установлена значительная чувствительность и информативность показателей ферментативной активности почв на воздействие дыма, что можно использовать в мониторинге последствий пожаров.

Ключевые слова: ПИРОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, ПОЖАРЫ, ПРОДУКТЫ ГОРЕНИЯ, ЧЕРНОЗЕМ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Введение

Пирогенный фактор является одним из наиболее интенсивных природно-техногенных процессов, воздействующих на почву, растительный покров и живые организмы. Он приводит к существенным трансформациям в природных экосистемах,

ежегодно нанося громадный ущерб окружающей среде [1]. Установлено существенное воздействие огня на почву, в результате чего происходит изменение физических, химических свойств почв [2-5]. Еще большее влияние пожары оказывают на биоту и биологическую активность почв [6-9]. Важнейший негативный экологический эффект от возникновения пожаров в природной среде – потеря органического вещества экосистемой в целом, в том числе потеря органического вещества почвы [10]. Установлено, что горение стерни и соломы влияет на микробиологические (микробная биомасса, азотофиксирующие бактерии) и биохимические свойства почв [7, 11, 12]. Воздействие дыма привело к снижению активности оксидоредуктаз и гидролаз сухой и влажной почвы. При этом наибольший эффект зафиксирован при действии дыма с высокой температурой. А подавление как ферментов, так и живых организмов зависело от времени обработки дымом [7, 12]. В литературных источниках недостаточно информации о подобных эффектах. Последствия фумигации (задымления, окуливания чего-либо с целью дезинсекции, дезинфекции) на почву, в отличие от горения, менее изучены. В основном, большинство работ связано с воздействием данного процесса на микробные сообщества или борьбой с бактериальными или грибковыми сообществами, но очень мало информации о влиянии фумигации на почвенные ферменты, поэтому этот аспект требует более тщательной проработки.

При изучении природных или антропогенно нарушенных экосистем (в том числе затронутых пирогенным фактором) особое значение придается оценке параметров биологической активности почв [13]. Наиболее широко используются биохимические показатели, в первую очередь, показатели ферментативной активности, поскольку почвы являются «каталитической матрицей биосферы» [14]. Почвенные ферменты являются информативными показателями и хорошо реагируют на раздражители, затрагивают наиболее важные повторяющиеся превращения в биохимических циклах углерода, азота, фосфора, серы и других соединений [15, 16]. Они катализируют многочисленные реакции превращения органического вещества почвы (гидролиз, расщепление, окисление и другие реакции), в результате которых почвы обогащаются доступными для растений и микроорганизмов питательными веществами.

Целью работы являлась оценка влияния фумигации различными видами

растительного материала (солома, хвоя, щепа и листва деревьев) на ферментативную активность чернозема обыкновенного в зависимости от времени воздействия. В задачи работы входило определение ферментативной активности (оксидоредуктазы – каталаза, полифенолоксидаза, пероксидаза; гидролазы – инвертаза, фосфатаза, уреазы) чернозема и выявление наиболее информативных показателей, реагирующих на данный вид воздействия.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – чернозем обыкновенный южно-европейской фации карбонатный тяжелосуглинистый (*Haplic Chernozem*). Эти почвы имеют широкое распространение на юге европейской части России, являются одними из наиболее продуктивных почв мира и поэтому активно используются в сельском хозяйстве [17-20]. Все образцы для эксперимента с последующим анализом были отобраны с глубины 0–20 см пахотного участка ботанического сада Южного федерального университета (Ростов-на-Дону).

Схема проведения экспериментов

Высушенную до воздушно-сухого состояния почву помещали в полипропиленовые контейнеры объемом 200 мл, масса каждого образца почвы составляла 40 г (рис. 1). Повторность опыта (количество контейнеров каждого варианта) была трехкратной.

Рис. 1. Схема модельных экспериментов

Примечания: 1 – большой полипропиленовый контейнер; 2 – дымоход; 3 – продукты горения; 4 – воздухоносная трубка; 5 – шланг от компрессора; 6 – компрессор; 7 – поддувало; 8, 9 – контейнеры с почвой

Большой полипропиленовый контейнер, емкостью 43 литра выполнял роль «газовой камеры», в него помещали контейнеры с образцами почвы. Все модельные эксперименты выполнили при помощи дымогенератора «Merkel Standart», к которому присоединялся воздушный компрессор «BARBUS AIR 007» производительностью 4,5 л/мин для подачи воздуха в дымоход через воздухоносную трубку. Продуктом горения были солома озимой пшеницы, хвоя сосны, щепа липы и листва кленов и других широколиственных пород деревьев. Время фумигации составило 15, 30, 60, 120 минут. Температура почв в процессе опыта практически не изменялась, что было обеспечено конструкцией газогенератора и использованием длинной (около 100 см) трубки от него до газовой камеры.

Индикаторами воздействия дыма была активность каталазы, полифенолоксидазы, пероксидазы, инвертазы, фосфатазы, уреазы, которые были определены классическими методами исследований ферментативной активности почв в 3-кратной повторности [15].

Активность каталазы определили волуметрическим методом А.Ш. Галстяна по скорости разложения перекиси водорода. Многие исследователи активно прибегают к использованию данного фермента [16, 21-23], так как он хорошо реагирует на происходящие в почве изменения под действием различных факторов. А простота и воспроизводимость методов ее определения обусловили широкое применение показателя в фундаментальных и прикладных исследованиях [14, 24]. Уровень активности пероксидазы и полифенолоксидазы определены колориметрическим методом Л.А. Карягиной, Н.А. Михайловой. Они, наряду с каталазой, также хорошо реагируют на изменения. Их активность служит биохимическим показателем интенсивности процессов гумификации – одной из важнейших экологических функций почвы, имеющей значение для поддержания ее плодородия [25-30]. Для определения инвертазы применили модифицированный метод, основанный на колориметрическом определении оптической плотности реактива Феллинга после восстановления меди глюкозой, образующейся из инвертированной сахарозы [15]. Инвертаза катализирует гидролиз дисахаридов до моносахаридов и играет важную роль в освобождении сахаров с низкой молекулярной массой – важнейшего источника энергии для микроорганизмов. Определение активности уреазы основано на методе А.Ш. Галстяна, но модифицировано с использованием содержания аммонийного азота в почве с помощью реактива Несслера. Этот фермент широко используется для оценки изменений качества почвы при различных методах управления, он рекомендован к использованию при оценке

состояния засоленных почв [31]. Но также уреазы может быть потенциальным индикатором качества почв при воздействии огня и процесса фумигации. Фосфатазная активность была выполнена с помощью метода М. Табатабая и Дж. Бремнера. Она участвует в разложении фосфорной кислоты и мобилизации доступного растениям фосфора [32].

Таким образом, из множества показателей биологической активности почвенные ферменты играют важную роль в мониторинге подверженных природным и антропогенным нагрузкам почв.

Результаты и обсуждение

Оксидоредуктазы

Как уже ранее было отмечено, ферменты класса оксидоредуктаз крайне чувствительны к различным стрессорам. Не стала исключением и фумигация продуктами горения. Анализ показал, что активность каталазы, полифенолоксидазы и пероксидазы прямо зависит от времени воздействия дыма на почву (рис. 2, 3).

Как видно из рисунков, активность каталазы снизилась на 25% после 60 минут обработки дымом относительно варианта без воздействия стрессора, в то время как после 15 минут снижение составляло 8-10 % (в зависимости от продукта горения). Наибольший эффект зафиксирован при фумигации продуктами горения соломы (в варианте 15 минут обработки дымом). Стоит отметить, что до сих пор многие хозяйства сжигают солому со стерней прямо на полях. Происходит непосредственное влияние на почву как огня, так и дыма. Установлено, что это приводит к улучшению фитосанитарного состояния почв, так как численность патогенных грибов после сжигания уменьшается, и создаются условия для размножения бактерий, повышающих биологическую активность почвы [33].

Однако фумигация (дым) изменяет микробиологические (микробная биомасса, азотфиксирующие бактерии) и биохимические свойства в сторону снижения биологической активности [7]. В настоящем исследовании произошло аналогичное подавление активности ферментов. Все полученные в этом исследовании результаты схожи с результатами других авторов и согласуются с выводами об ингибировании активности каталазы в результате воздействия различных источников воздействия. Активность этого фермента зарекомендовала себя как достоверный и информативный показатель [7, 8, 34].

Рис. 2. Кратковременное воздействие фумигации на активность каталазы в течение 15 минут относительно контроля (0%)

Примечания: 1 – солома; 2 – листья; 3 – хвоя

Рис. 3. Влияние фумигации на почвенные ферменты в течение 60 минут

Примечания: 1 – каталаза; 2 – полифенолоксидаза; 3 – пероксидаза

Именно поэтому российские и зарубежные исследователи часто используют его для диагностики поврежденных почв [22, 35, 36].

Значения активности полифенолоксидазы и пероксидазы, как и каталазы, также снизилась на 33% и 15%, соответственно, после 60 минут фумигации дымом от щепы липы. Согласно [37, 38], пероксидаза, наряду с инвертазой и уреазой, является одним из основных ферментов, участвующих в круговороте углерода и азота, и чувствительным показателем изменений окружающей среды.

Проведенное исследование подтвердило, что дым неблагоприятно сказывается на биологической активности почв.

Гидролазы

В опытах по выявлению изменений ферментативной активности среди гидролаз были выбраны инвертаза, фосфатаза и уреазы. Значения активности инвертазы и уреазы снизились на 20-23 % после 60 минут задымления, что говорит о высокой степени влияния фумигации на эти ферменты (рис. 4). Однако изменений активности фосфатазы не удалось установить из-за высокого варьирования значений показателя.

Рис. 4. Снижение активности гидролаз после 60 минут фумигации

Полученные результаты можно сравнить с работой [39], где авторами было установлено влияние фумигации 1,3-дихлорпропеном на ферментативную активность почвы. В своем опыте они использовали активность уреазы и протеазы, значения которых после воздействия веществом снизилось по сравнению с необработанным контролем. Однако они также выяснили, что 1,3-дихлорпропен оказывает кратковременный негативный эффект, поскольку активность исследованных ими ферментов быстро восстановилась. Помимо этого, результаты соответствовали более ранним исследованиям, согласно которым фумигация почвы InLine (1,3-D плюс хлорпикрин) в целом не оказывала значительного влияния на активность дегидрогеназы, β -глюкозидазы, кислой фосфатазы и арилсульфатазы [40].

В отличие от других исследований, результаты, полученные в проведенных экспериментах, установили высокий уровень негативного воздействия дыма от продуктов горения растительного происхождения на биологическую активность чернозема обыкновенного. Данные этого исследования могут быть использованы для оценки экологического состояния почв с целью выявления наиболее пострадавших от пожаров

территорий.

Таким образом, фумигация значительно влияет на ферментативную активность исследованной почвы, а время воздействия дыма играет важную роль. В процессе горения и задымления в почву могут попадать опасные вещества, из-за них и происходит снижение активности почвенных процессов. Например, известно, что в результате сгорания продуктов горения древесного происхождения выделяются углекислый и угарный газы, фенольные, другие токсичные соединения [41, 42].

В связи с этим целесообразно проводить биодиагностику почв, в том числе по показателям ферментативной активности. Этому, помимо высокой чувствительности, способствует и высокая стабильность ферментативных параметров по сравнению с другими показателями биологической активности [15, 43, 44].

Выводы

1. Фумигация дымом от материалов растительного происхождения (щепа липы, солома, хвоя и листья) оказывает негативное воздействие на ферментативную активность чернозема обыкновенного.

2. В ходе исследований выяснено, что степень снижения активности почвенных ферментов зависит от времени обработки почвы дымом. Например, активность каталазы изменялась от 8% до 25% за время фумигации 15–60 минут.

3. Наиболее чувствительными к дыму оказались ферменты класса оксидоредуктаз (каталаза, полифенолоксидаза, пероксидаза), где самым информативным показателем была полифенолоксидаза (значение снизилось на 33% после 60 минут фумигации).

4. Активность гидролаз в целом более устойчива к фумигации. Значения активности инвертазы и уреазы уменьшились по сравнению с контролем на 20-23 % после 60 минут фумигации. Активность фосфатазы при обработке дымом почвы достоверно не изменяется.

Исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-2511.2020.11).

Список использованных источников

1. Щеглова Е.Г., Нестеренко Ю.М, Шабаев В.М, Шабаев Д.В. Влияние пожаров на

формирование и жизнедеятельность лесных биоценозов // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН (электронный журнал). – 2012. – №4. – С. 1-9.

2. Ильичев Ю.Н, Игнатьев Л.А, Артымук С.Ю. Влияние пожаров и рубок по гарям на почвенно-экологические факторы естественного лесовосстановления // Сибирский экологический журнал. – 2011. – № 6. – С. 861-869.

3. Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Комиссаров М.А., Сулейманов Р.Р., Суюндуков Я.Т., Хасанова Р.Ф., Сидорова Л.В., Комиссаров А.В., Сулейманов А.Р., Назырова Ф.И. Влияние пожаров на свойства степных почв Зауралья // Почвоведение. – 2019. – № 12. – С. 1513–1523.

4. Jimenez-Morillo N.T, Almendros G, De la Rosa J.M, Jordan A, Zavala L.M, Granged A.J.P, Gonzalez-Perez J.A. Effect of a wildfire and of post-fire restoration actions in the organic matter structure in soil fractions // Science of the Total Environment. – 2020. – №728. – P. 138-715.

5. Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Сулейманов Р.Р., Комиссаров М.А., Хабилов И.К., Сидорова Л.В., Назырова Ф.И., Простякова З.Г., Котлугалямова Э.Ю. Влияние низовых пожаров на свойства и эрозию лесных почв Южного Урала (Башкирский государственный природный заповедник) // Почвоведение. – 2019. – № 4. – С. 412–421.

6. Kazeev K.Sh., Poltoratskaya T.A., Yakimova A.S., Odobashyan M.Yu., Shkhatpatsev A.K., Kolesnikov S.I. Post-fire changes in the biological properties Of the brown soils in the Utrish state nature reserve (Russia) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2019. – 4 (Supl.1). – P. 93-104.

7. Казеев К.Ш, Одабашян М.Ю, Трушков А.В, Колесников С.И. Оценка влияния разных факторов пирогенного воздействия на биологические свойства чернозема // Почвоведение. – 2020. – №11. – С. 1372-1382.

8. Вилкова В.В., Казеев К.Ш., Шабунина В.В., Колесников С.И. Ферментативная активность постпирогенных почв заповедника «Утриш» // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2021. – № 138. – С. 71-77.

9. Nichols L, Shinneman D.J, McIlroy S.K, Graaff M.A. Fire frequency impacts soil properties and processes in sagebrush steppe ecosystems of the Columbia Basin // Applied Soil Ecology. – 2021. – V. 165(1):103967.

10. Горбунова Ю.С, Девятова Т.А, Григорьевская А.Я. Влияние пожаров на почвенный и растительный покров лесов центра Русской равнины // Вестник ВГУ. Серия «Химия. Биология. Фармация». – 2014. – № 4. – С. 52-56.

11. Вальков В.Ф., Казадаев А.А., Креница А.М., Супрун В.А., Суханова В.М., Тациев С.С. Влияние сжигания стерни на биоту чернозема // Почвоведение. – 1996. – № 12. – С. 1517-1522.

12. Odobashyan M.Y., Trushkov A.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Impact of Wildfire on Biological Activity of Sandy Soil in The South of Russia // Indian Journal of Ecology. – 2019. – №46(3): – P. 648-653.

13. Перминова Е.М., Лаптева Е.М. Каталазная активность подзолистых почв коренного ельника черничного и разновозрастных лиственно-хвойных сообществ // Аграрный вестник Урала. – 2018. – №5 (172). – С. 44-53.
14. Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2015. – Т.20. – № 2. – С. 14-24.
15. Казеев К.Ш, Колесников С.И, Акименко Ю.В, Даденко Е.В. Методы диагностики наземных экосистем. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. – 356 с.
16. Даденко Е.В, Денисова Т.В, Казеев К.Ш, Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журнал. – 2013. – №4. – С. 385-393.
17. Вальков В.Ф, Казеев К.Ш, Колесников С.И. Почвы Ростовской области. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – 492 с.
18. Даденко Е.В, Мясникова М.А, Казеев К.Ш, Колесников С.И, Вальков В.Ф. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // Почвоведение. – 2014. – № 6. – С. 724-733.
19. Казеев К.Ш, Колесников С.И. Атлас почв Азово-Черноморского бассейна. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 80 с.
20. Азаренко (Мясникова) М.А, Казеев К.Ш, Ермолаева О.Ю, Колесников С.И. Изменение растительного покрова и биологических свойств черноземов в постагрогенный период // Почвоведение. – 2020. – № 11. – С. 1412-1422.
21. Савичева О.Г, Инишева Л.И. Биохимическая активность торфов разного ботанического состава // Химия растительного сырья. – 2003. – №3. – С. 41-50.
22. Stepniewska Z, Wolinska A, Ziomek J. Response of soil catalase activity to chromium contamination // Journal of Environmental Sciences. – 2009. – No. 21(8). – P. 1142-1147.
23. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние антибиотиков (бензилпенициллина, фармазина, нистатина) на биологические свойства чернозема обыкновенного // Почвоведение. – 2014. – № 9. – С. 1095–1101.
24. Антонов Г. И, Безкоровайная И. Н, Климченко А. В, Семенякин Д. А. Ферментативная активность почв после первого приема выборочной рубки в сосняках Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 7. – С. 61-66.
25. Карагіна Л.А., Міхайлоуская Н.А. Визначення актиунасці поліфенолаксідази і пераксідази у ґлебе // Весці АН БССР. Сер. с/г навук. – 1986. – №2. – С. 40-41.
26. Туев Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования. – М.: ВО Агропромиздат, 1989. – 237 с.
27. Bandick A.K. Field management effects on soil enzyme activities // Soil Biology and Biochemistry. – 1999. – №31 (11). – P. 1471–1479.
28. Caldwell B.A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity // Pedobiologia. – 2005. – №49. – P. 637-644.
29. Boyd S.A, Mortland M.M. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter

complexes // Soil Biochemistry. – 2017. – № 6. – P. 1-28.

30. Лапа В.В. Ферментативная активность дерново-подзолистых почв при разных уровнях применения удобрений // Доклады национальной академии наук Беларуси. – 2015. – Т.59. – №5. – С. 122-128.

31. Zhang T, Wan S, Kang Y, Feng H. Urease activity and its relationships to soil physiochemical properties in a highly saline-sodic soil // Journal of soil science and plant nutrition. – 2014. – №14(2). – P. 304-315.

32. Даденко С.В., Казеев К.Ш. Изменение ферментативной активности образцов почв при их длительном хранении // Грунтознавство. – 2006. – Т. 7. – № 1-2. – 80 с.

33. Чиняева Ю.З, Щелканова А.В, Щелканов М.А. Влияние сжигания соломы на микробиологическую активность чернозема выщелоченного // Электронный научный журнал. – 2017. – № 1–1(16). – С. 27-30.

34. Шашурин М.М. Ферментативная активность почв и почвогрунтов при хроническом воздействии экотоксикантов различной природы в условиях Центральной и Южной Якутии // Наука и образование. – 2012. – № 1. – С. 76-81.

35. Белоусов А.А. Оценка активности каталазы чернозема выщелоченного при разных способах основной обработки // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 11 (110). – С. 10-16.

36. Елешев Р.Е, Малимбаева А.Д. Биологическая активность темно-каштановой почвы при длительном и систематическом применении минеральных удобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 4. – С. 34-37.

37. Feng, J. K. Wei, Z. Chen, L. Xiaotao, J. Tian, C. Wang, L. Chen. Coupling and decoupling of soil carbon and nutrient cycles across an aridity gradient in the drylands of northern China: evidence from ecoenzymatic stoichiometry // Global Biogeochemical Cycles. – 2019. – №33 (5). – P. 559-569.

38. Xu Z. feng, R. Hu, P. Xiong, C. Wan, G. Cao, Q. Liu. Initial soil responses to experimental warming in two contrasting forest ecosystems, Eastern Tibetan Plateau, China: Nutrient availabilities, microbial properties and enzyme activities // Applied Soil Ecology. – 2010. – №46 (2). – P. 291-299.

39. Zhang D., Ji X., Meng Z., Qi W., Qiao K. Effects of fumigation with 1,3-dichloropropene on soil enzyme activities and microbial communities in continuous-cropping soil // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2019. – №169. – P. 730-736.

40. Klose S, Ajwa H. A. Enzyme Activities in Agricultural Soils Fumigated with Methyl Bromide Alternatives // Soil Biology and Biochemistry. – 2004. – №36 (10). – P. 1625-1635.

41. Liu Y, Goodrick S, Heilman W. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Wildfire-climate interactions // Forest Ecology and Management. – 2014. – No. 317. – P. 80-96.

42. Бердникова Л.Н. Влияние опасных и вредных факторов лесных пожаров на окружающую среду // Безопасность и экология транспортно-технологических средств. – Красноярск, 2019. – С. 47-55.

43. Галстян А.Ш. Об устойчивости ферментов почв // Почвоведение. – 1982. – №4. –

Нижельский М.С., Казеев К.Ш., Шапацев А.К., Колесников С.И.

Использование активности ферментов для диагностики последствий фумигации дымом почв

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

С. 108-110.

44. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф.
Изменение ферментативной активности почвенных образцов при их хранении //
Почвоведение. – 2009. – № 12. – С. 1481-1486.
=====

Цитирование:

Нижельский М.С., Казеев К.Ш., Шапацев А.К., Колесников С.И.
Использование активности ферментов для диагностики последствий фумигации дымом
почв [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал.
– 2021. – №4. –Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_426.pdf.
DOI: <https://doi.org/10.51419/20214426>.