

ПОТЕНЦИАЛ ОКСИДОРЕДУКТАЗ КАК МАРКЕРОВ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ю. Г. Кропова

*Московский городской педагогический университет,
2-й Сельскохозяйственный проезд, 4, 129226, г. Москва, Россия kropova.j@mgpu.ru*

Актуальность изучения потенциала ферментов класса Оксидоредуктазы в качестве маркеров состояния окружающей среды обусловлена необходимостью проведения комплексной оценки качества водной, почвенной и воздушной сред в условиях антропогенной трансформации среды. Удельная активность оксидоредуктаз и их полиморфизм могут меняться в зависимости от действия различных факторов (физических – интенсивность освещения, температура, химических – ксенобиотики разной природы) на биологические объекты. Результаты исследования представляют собой сравнительный анализ данных об особенностях функционирования выбранных ферментов.

Ключевые слова: ферменты; оксидоредуктазы; биоиндикация; относительная активность; состояние окружающей среды.

POTENTIAL OF OXIDOREDUCTASES AS ENVIRONMENTAL MARKERS

Yu. G. Kropova

*Moscow City Pedagogical University, 2nd Agricultural Passage, 4,
129226, Moscow, Russia kropova.j@mgpu.ru*

The relevance of studying the potential of oxidoreductase class enzymes as environmental markers is due to the need for a comprehensive assessment of the quality of aquatic, soil and air environments under conditions of anthropogenic environmental transformation. The specific activity of oxidoreductases and their polymorphism can vary depending on the effect of various factors (physical - light intensity, temperature, chemical - xenobiotics of different nature) on biological objects. The results of the study are a comparative analysis of data on the features of the functioning of the selected enzymes.

Keywords: enzymes; oxidoreductase; bioindication; relative activity; the state of the environment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-1-347-350>

Проблемы оценки качества окружающей среды являются первоочередными, особенно в условиях мегаполисов, где степень антропогенной нагрузки очень высокий. Широко развитая транспортная сеть городов, развитие промышленных комплексов, строительство – эти и другие факторы оказывают негативное воздействие на состояние биоценозов, на биоразнообразие и, безусловно, сказываются на здоровье человека.

Для оценки качества водной, воздушной и почвенной сред используются различные методы. Так, системы мониторинга позволяют отслеживать интенсивность поступления ксенобиотиков в окружающую среду. Детальное изучение различных сред жизни позволяет не только фиксировать количество поллютантов, но и определять пути распространения загрязнителей по пищевым цепям, а также направления биотрансформации загрязняющих веществ и изменения степени их токсичности.

Безусловно, методы физико-химического анализа дают точную характеристику состава воды, почвы или воздуха. Наряду с лабораторными, используют и методы биоиндикации, оценивая видовое разнообразие, обилие организмов, а также особенности морфологии и физиологии видов-биоиндикаторов [3]. Конечно, для получения максимально полной картины о каче-

стве среды целесообразно использовать совокупность методов, что позволит получить полную картину.

В качестве биоиндикаторов качества среды могут быть использованы отдельные виды организмов, реагирующих на изменение среды в целом, так и демонстрирующими яркую реакцию на конкретный ксенобиотик. При этом биоиндикаторами могут выступать и отдельные биоорганические молекулы, которые позволяют определить изменения в окружающей среде на начальном уровне трансформации.

Наиболее широкое применение в качестве молекул-биоиндикаторов получили ферменты.

Как известно, любое воздействие на организмы первоначально отражается на молекулярном уровне организации, то есть на скорости протекания отдельных внутриклеточных процессов. Изучение активности ферментов, а также их полиморфизма дает возможность оценить реакцию организма на изменение параметров окружающей среды.

Каталитически активные белки или ферменты представляют собой белки четвертичной структуры, имеющие свою уникальную пространственную конфигурацию, позволяющую каждому ферменту взаимодействовать с субстратом в определенных условиях (рН, температура и др.) [2].

Ферменты каждого из шести классов реагируют на изменение внешних параметров, однако наиболее чувствительными и, соответственно, наиболее перспективными с точки зрения использования их в качестве биомаркеров, являются ферменты первого класса – Оксидоредуктазы. Ферменты этого класса обеспечивают протекание окислительно-восстановительных реакций в клетках. Класс делится на 22 подкласса в зависимости от того, какая группа является донором или акцептором электронов.

Изучение активности и полиморфизма оксидоредуктаз различных организмов используется в том числе и для оценки качества окружающей среды. Наиболее перспективными в качестве биомаркеров являются пероксидазы, каталазы, оксидазы.

Лакказа (КФ 1.10.3.2) и **полифенолоксидаза** (КФ 1.10.3.1) относятся к подклассу оксидоредуктаз, которые используют в качестве доноров дифенольные соединения.

Лакказа встречается в организмах разных систематических групп, однако для оценки качества среды наиболее перспективно изучение лакказы бактерий, в клетках которых фермент выполняет протекторную функцию, защищая от действия УФ.

Полифенолоксидаза растений могут быть использованы как индикаторы биологического загрязнения среды, проявляющие разный уровень активности в ответ на инфицирование различными агентами. При этом полифенолоксидаза встречается в почве как в свободной форме, так и в виде органо-минерально-ферментных комплексов. Полифенолоксидаза принимает участие в синтезе гумусовых веществ, поэтому ее также используют как маркер уровня плодородия почв.

Каталаза (КФ 1.11.1.6) и **пероксидазы** (КФ 1.11.1.X) относятся к подклассу оксидоредуктаз, которые используют перекисные соединения в качестве акцептора электронов.

Каталаза – это фермент, встречающийся практически у всех видов организмов. Этот фермент расщепляет перекись водорода, защищая клетки от окислительного стресса.

Пероксидазы (КФ 1.11.1.X) катализируют реакции окисления, осуществляя детоксикацию клеток и организмов от и защищая их от свободных радикалов. Как правило, повышение активности пероксидазы наблюдается при формировании ответной реакции организма в ответ на стрессовые воздействия. Причем в качестве стрессоров могут быть как различные ксенобиотики (ароматические углеводороды и амины), так и изменения физических параметров (радиоактивные загрязнения).

Супероксиддисмутаза (КФ 1.15.1.1) относится к подклассу оксидоредуктаз, которые используют супероксид-радикалы в качестве акцепторов. Фермент нейтрализует супероксидные радикалы в клетках животных и растений, защищая их от окислительного стресса.

Указанные ферменты формируют антиоксидантную систему организма. Следует отметить, что на первом этапе формирования ферментативного ответа клеток на окислительный стресс повышается активность супероксиддисмутазы. Этот фермент обеспечивает протекание реакции дисмутирования супероксидрадикалов в перекись водорода. На следующем этапе фиксируется повышение активности фермента каталаза, которая способствует превращению перекиси водорода в воду и молекулярный кислород. Важно понимать, что каталаза обладает как пероксидазной, так и каталазной активностью, что означает различное поведение фермента в зависимости от наличия разных субстратов [2, 4].

Для использования ферментов как маркеров качества среды традиционно изучают их активность, определяя оптическую плотность раствора с помощью спектрофотометра. Для определения удельной активности фермента определяют количество экстрагированного белка в пробе (метод Лоури, метод Бредфорд). Также важным критерием оценки качества окружающей среды является анализ полиморфизма ферментов, который проводят путем электрофоретического разделения изоформ с последующим окрашиванием.

Ферменты–биоиндикаторы качества окружающей среды

Название фермента	Методы определения активности	Применение в биоиндикации
<i>Класс I. Оксидоредуктазы</i>		
Лакказа	Спектрофотометрия и электрофорез с использованием пирокатехина, анилина в качестве субстрата	Оценка качества почвенной среды (фенолы), определение уровня окислительного стресса
Полифенолоксидаза	Спектрофотометрия и электрофорез с использованием гидрохинона и пирокатехина в качестве субстрата	Оценка качества воздушной и почвенной сред (нефтепродукты, продукты природных пожаров)
Пероксидаза	Спектрофотометрия и электрофорез с использованием бензидина, пирокатехина в качестве субстрата	Оценка качества почвенной среды, определение уровня окислительного стресса
Каталаза	Спектрофотометрия и электрофорез с использованием перекиси водорода в качестве субстрата	Оценка качества воздушной и почвенной сред
Супероксиддисмутаза	Спектрофотометрия и электрофорез с использованием тетраэтилового нитросинего в качестве субстрата	Оценка качества воздушной и почвенной сред (серосодержащие соединения), определение уровня окислительного стресса

Молекулы ферментов нашли широкое применение в оценке качества окружающей среды. Каталитически активные белки выполняют роль молекулярных биомаркеров, которые позволяют диагностировать различные поллютанты в водной, почвенной или воздушной среде. Ферменты – индикаторы могут обладать как специфичным, так и неспецифичным действием. Это означает, что в случае специфичной биоиндикации изменение активности фермента (повышение или понижение) свидетельствует о наличии в среде конкретного вида поллютанта. Но неспецифические индикаторы показывают отклонение от нормы в функционировании биологической системы, но для определения типа ксенобиотика необходимы дополнительные исследования.

Изучение активности и полиморфизма ферментов микроорганизмов может указывать на наличие в среде пестицидов, нефтепродуктов, тяжелых металлов.

Также для оценки качества среды целесообразно изучать особенности ферментативных систем растительных и животных организмов. Помимо изменения активности ферментов, ответной реакцией на окислительный стресс, на появление экотоксикантов и ксенобиотиков мо-

жет быть появление изоферментов, что выявляется путем проведения электрофоретического изучения конкретного фермента.

Таким образом, изучение активности ферментов в организмах может быть полезным инструментом для мониторинга и предотвращения негативных воздействий на окружающую среду и биоразнообразие.

Библиографические ссылки

1. Методы биохимических исследований, основанные на применении специализированного оборудования / Е. О. Данченко [и др]. Витебск: Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, 2018. 51 с. – EDN SIANUL.

2. Поляк Ю. М., Сухаревич В. И. Почвенные ферменты и загрязнение почв: биodeградация, биоремедиация, биоиндикация. Агрохимия. 2020. № 3. С. 83–93. – DOI 10.31857/S0002188120010123. – EDN TLPGPR.

3. Введение в биохимическую экологию: учебное пособие / В. П. Саловарова [и др]. Российский гос. пед. ун-т им. А. И. Герцена, ГОУ ВПО «Иркутский гос. ун-т», [Науч.-образовательный центр Байкал]. – Иркутск: Иркутский гос. ун-т, 2007. 159 с. ISBN 978-5-9624-0224-6. – EDN QKQRJL.

4. Сравнительный анализ методов определения концентрации белка - спектрофотометрии в диапазоне 200–220 нм и по Бредфорд / И. В. Суховская [и др]. Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2010. № 2. С. 68–71. – EDN NBJDXP.