

УДК 581.1: 581.5  
DOI: 10.26456/vtbio223

## **ВЛИЯНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АКТИВНОСТЬ ПЕРОКСИДАЗЫ И КАТАЛАЗЫ В ПРОРОСТКАХ ГАЗОННЫХ РАСТЕНИЙ**

**М.Г. Половникова<sup>1</sup>, О.Л. Воскресенская<sup>2</sup>, Е.А. Алябышева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Краснодар

<sup>2</sup>Марийский государственный университет, Йошкар-Ола

В ходе лабораторного эксперимента определяли влияние нефтепродуктов (бензина, дизельного топлива, мазута) на активность антиоксидантных ферментов (пероксидазы и каталазы) в проростках газонных растений (*Poa pratensis*, *Festuca pratensis*, *Phleum pratense*, *Trifolium repens*, *Trifolium hybridum*). Общую активность пероксидазы определяли по методу Бояркина, активность каталазы – газометрическим методом. В ходе работы установлено, что активность пероксидазы увеличивалась в ряду нефтепродуктов: мазут → дизельное топливо → бензин. Наибольшая активность данного фермента наблюдалась в проростках *Poa pratensis* и *Festuca pratensis*, более низкая активность была характерна для *Trifolium repens* и *Trifolium hybridum*. Каталазная активность находилась в обратной зависимости от активности пероксидазы. Под действием загрязняющих веществ наибольшее снижение активности каталазы наблюдалось у бобовых растений, а наименьшее – у злаковых. Изменение активности ферментов во многом связано с биологической особенностью вида и играет важную роль в быстрой приспособляемости растений к изменяющимся условиям среды.

**Ключевые слова:** газонные растения, антиоксидантные ферменты, пероксидаза, каталаза, загрязнение нефтепродуктами.

**Введение.** На современном этапе развития промышленности в связи с возрастающими энергетическими потребностями человечества ежегодно растет нефтедобыча во всем мире, результатом чего является загрязнение окружающей среды нефтепродуктами. Загрязнение нефтью и нефтепродуктами – совершенно особый вид загрязнения, который приводит к глубокому изменению практически всех основных характеристик почв, а нередко и к формированию новых свойств, совершенно не характерных для исходной незагрязненной почвы. Этот феномен обусловлен особенностью химического состава нефти, содержанием в ней тяжелых металлов, ртути, радиоактивных элементов и т.д. (Драчук и др., 2002). Поэтому становятся актуальными вопросы

техногенного воздействия на окружающую среду процессов нефтепользования. Разработка методов обнаружения и ликвидации нефтяных загрязнений представляет собой важную проблему современной экологии.

Наиболее экологически чистым и экономически целесообразным решением данной проблемы является применение биологических технологий. Растения способны поглощать из почвы загрязнители (поллютанты), концентрировать и разрушать их. Основные достоинства фито- и биоремедиации состоят в возможности рекультивации больших территорий, относительно низкой стоимости по сравнению с другими технологиями, высокой эффективности и отсутствии негативного воздействия на окружающую среду.

На сегодняшний день существуют многочисленные экспериментальные данные (Рачковская, Ким, 1980; Половникова, Воскресенская, 2008, 2020), наглядно демонстрирующие, что растения обладают целым рядом защитных механизмов, с помощью которых они противостоят токсичному действию чужеродных веществ.

Под влиянием экологического стресса происходит интенсификация образования свободных радикалов в тканях растений, в частности, увеличение уровня активных форм кислорода (АФК), органических радикалов и перекисей, которые активизируют перекисное окисление липидов (ПОЛ). Усиление процессов ПОЛ сопровождается нарушениями в свойствах биомембран и функционирования клеток. Процесс активации образования АФК и индуцированное им ПОЛ рассматривают в качестве медиаторов стресса.

Поддержание стационарного физиологически нормального уровня свободнорадикальных процессов в клетке обеспечивается за счёт функционирования сложной? тканеспецифичной системы, включающей ферментативные и неферментативные компоненты антиоксидантной системы (АОС) (Минибаева, Гордон, 2003; Meloni et al., 2003; Gill, Tuteja, 2010; Кроупаев, 2016; Половникова, Воскресенская, 2018, 2019).

Ферментативные системы катализируют преимущественно детоксикацию супероксидного радикала и пероксидов. У высших растений эти АФК удаляются индивидуально или кооперативно такими ферментами, как супероксиддисмутаза, аскорбатпероксидаза, глутатионпероксидаза, неспецифические пероксидазы (пероксидазы класса III), каталаза (Meloni et al., 2003; Половникова, Воскресенская, 2008, 2018). Наличие нескольких ферментов, выполняющих одну и ту же каталитическую функцию, – весьма ценное свойство, расширяющее адаптационные возможности организма, что особенно важно для жизнедеятельности растений – организмов, не имеющих стабильной

внутренней среды (Рачковская, Ким, 1980; Половникова, Воскресенская, 2008, 2020). Следовательно, активация антиокислительных систем является одним из факторов формирования первичной ответной реакции клетки на стрессовые воздействия различной природы. Подобная временная структура адаптационного процесса позволяет растению выжить в первый момент действия повреждающего фактора, формировать специализированные механизмы устойчивости и завершать программу онтогенеза в изменившихся условиях.

Сложным в популяционно-онтогенетическом аспекте является изучение физиолого-биохимических процессов на начальных этапах онтогенеза растений в неблагоприятных условиях среды. Для многих травянистых растений данный вопрос малоизучен и требует более детального исследования. Поэтому целью данной работы являлось изучение влияния некоторых видов нефтепродуктов на активность антиоксидантных ферментов (пероксидазы и каталазы) газонных растений на начальных этапах их онтогенеза.

**Методика.** Объектами исследования служили проростки газонных растений: мятлика лугового (*Poa pratensis* L.), овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.), тимофеевки луговой (*Phleum pratensis* L.), клевера ползучего (*Trifolium repens* L.), клевера гибридного (*Trifolium hybridum* L.).

В ходе нашего эксперимента семена исследуемых растений помещались в чашки Петри, предварительно обработанные в термостате, раскладывали на поверхности фильтровальной бумаги по 30 штук. Семена поливали 5%-ыми растворами бензина, дизельного топлива, мазута. В контроле семена поливали дистиллированной водой. Каждая проба семян снабжалась этикеткой с указанием варианта опыта и даты посева. Семена проращивали при комнатной температуре (около 20 °С), при дневном освещении. Первичный подсчет проросших семян производили на 4 сутки, а окончательный – на 14 сутки (Семена..., 1977). Проростки газонных растений использовали для определения активности антиоксидантных ферментов – пероксидазы и каталазы.

Для получения ферментативного гомогената навеску растительного материала (0,5 г) растирали в ступке с песком в 10-25 мл 60 мМ К-Na-фосфатного буфера (рН 7,4). Гомогенат фильтровали и в нем определяли активность ферментов. Для выделения внутриклеточных пероксидаз гомогенат центрифугировали 10 мин при 3000 g и супернатант использовали для определения активности фермента.

Общую активность пероксидазы (КФ 1.11.1.7) измеряли по увеличению оптической плотности при 670 нм в реакционной смеси (3 мл), состоящей из К-Na-фосфатного буфера (60 мМ, рН 7,0), бензидина (0,2 мМ), 0,3%-ой H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, и 1 мл гомогената. Активность

фермента определяли при 25°C сразу после выделения и рассчитывали по методу Бояркина (Большой..., 2006). Активность пероксидазы выражали в мкмольх окисленного бензидина на грамм сырой массы в минуту ( $\text{мкмоль} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$ ).

Активность каталазы (КФ 1.11.1.6) определяли газометрическим методом с использованием каталазника (Большой..., 2006). Реакционная среда содержала 5 мл 3%-ной  $\text{H}_2\text{O}_2$  и 10 мл гомогената. После добавления перекиси водорода активность каталазы определяли по скорости выделения кислорода в течение 5 мин и выражали в мкмольх выделенного  $\text{O}_2$  на грамм сырой массы в минуту ( $\text{мкмольO}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$ ).

Измерения оптической плотности проводили на спектрофотометре СФ-103 (Россия).

На рисунках представлены средние арифметические из 3 независимых экспериментов, каждый из которых проведен в 3-кратной биологической повторности, и их стандартные отклонения. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы «Statistica 10.0». Достоверность различий обсуждалась при 5% уровне значимости.

**Результаты и обсуждение.** В реализации адаптационного потенциала растений особая роль отводится пероксидазе – полифункциональной ферментной системе, которая способна реагировать на широкий спектр факторов, приводящих к нарушению гомеостаза в обмене веществ у растений. Под влиянием неблагоприятных воздействий среды этот фермент меняет свою активность, причем характер изменения активности фермента изменяется параллельно с увеличением степени техногенной нагрузки на растения, что позволяет предполагать их взаимную обусловленность (Минибаева, Гордон, 2003; Рачковская, Ким, 1980; Половникова, Воскресенская, 2008; Загоскина, Назаренко, 2016).

С повышением активности пероксидазы усиливаются ее оксидазные свойства, следовательно, при действии кислотогенных загрязнителей может преобладать функционирование пероксидазы как терминальной оксидазы. Вероятно, что в этих условиях вследствие ингибирования других оксидаз происходит адаптивная перестройка окислительного аппарата, препятствующая нарушению дыхательного процесса (Андреева, 1988; Meloni et al., 2003; Половникова, Воскресенская, 2008).

Как показали результаты работы, действие загрязняющих веществ привело к увеличению активности пероксидазы в проростках всех исследуемых видов (рис. 1). В контрольном опыте активность фермента находилась в пределах от 0,27 до 0,45  $\text{мкмоль} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$ , при этом более высокий показатель активности пероксидазы был у *T. repens* и *T. hybridum*, наиболее низкий – у *P. pratensis* (рис. 1).

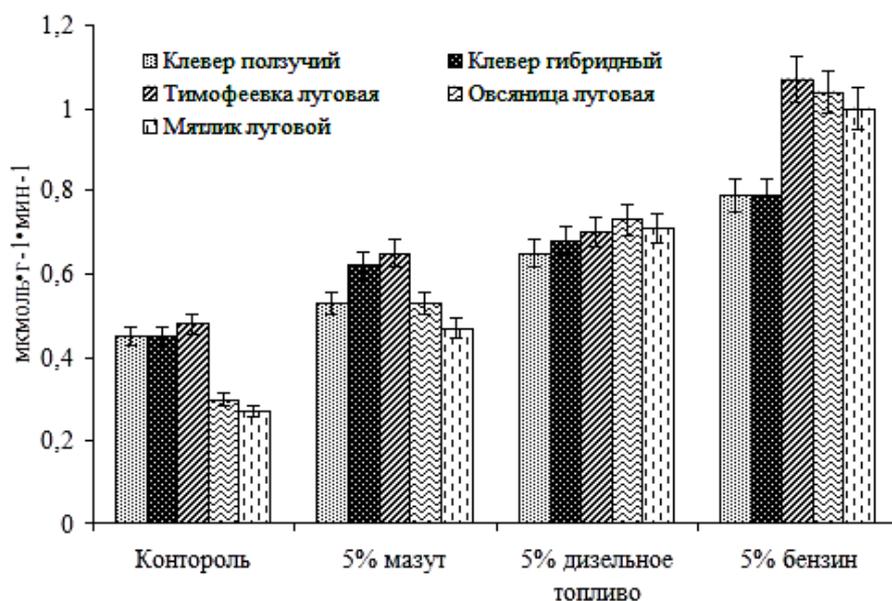


Рис. 1. Изменение активности пероксидазы в проростках газонных растений в условиях загрязнения нефтепродуктами

При внесении 5%-го раствора мазута активность пероксидазы несколько увеличивалась по сравнению с контролем. Для мятлика лугового увеличение произошло в 1,7 раза, для овсяницы луговой – в 1,8, для тимopheевки луговой – в 1,4, для клевера ползучего и клевера гибридного – в 1,2 и 1,4 раза соответственно (рис. 1). Это может свидетельствовать о том, что при действии 5%-го раствора мазута адаптивные механизмы клетки еще могут контролировать ситуацию. Резервного количества антиоксидантов достаточно для поддержания уровня свободнорадикальных процессов в клетке.

При загрязнении 5%-ми растворами дизельного топлива и бензина происходило быстрое повышение общей активности пероксидазы. Показатели пероксидазной активности при загрязнении 5%-ом раствором дизельного топлива были в пределах от 0,65 до 0,73 мкмоль·г<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>, при чем в данном варианте опыта максимальная активность фермента была отмечена у овсяницы луговой (в 2,4 раза больше по сравнению с контролем) и тимopheевки луговой (в 1,5 раза больше), минимальная – в проростках клевера ползучего (1,4 раза больше) (рис. 1).

Пик максимальной ферментативной активности в проростках наблюдался при обработке 5%-ым раствором бензина. Максимальный показатель имели проростки *Ph. pratense* – 1,1 мкмоль·г<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>, а более низкая активность пероксидазы отмечена у *T. repens* и

*T. hybridum* –  $0,8 \text{ мкмоль} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$ , что в 1,8 раза больше по сравнению с контролем (рис. 1). Показатели общей активности пероксидазы остальных видов имели промежуточное значение.

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ показал, что оказывается значимым эффект нефтезагрязнения – вид растения ( $p=0,0000$ ), эффект нефтезагрязнения – вид нефтепродуктов ( $p=0,0000$ ), а также значимо взаимодействие этих факторов.

Причины активации пероксидазы загрязняющими веществами, как и многими экстремальными воздействиями абиогенной и биогенной природы, еще не достаточно ясны. Полагают (Zhang, Kirkham, 1994; Минибаева, Гордон, 2003; Meloni et al., 2003), что увеличение активности данного фермента при действии стресс-факторов может быть связано с изменением компонентного состава. Поскольку данный фермент в растительной клетке находится как в свободном, так и связанном состоянии, то, под влиянием стресса происходит увеличение фонда свободных форм за счет освобождения из связанного состояния. Вместе с тем немаловажное значение имеет локализация, экстрагируемость, рН-оптимум пероксидазного комплекса, способность синтеза новых компонентов в экстремальных условиях произрастания. По мнению Н.В. Гетко (1991) участие пероксидазной системы в окислительной дегградации и детоксикации загрязнителей, в идеале, не должно сопровождаться сильной активизацией фермента, приводящей к старению тканей и органов, но вместе с тем, так оно и происходит. Адаптация многих растений к стрессовым условиям идет за счет сокращения продолжительности жизни. Очевидно, что процесс адаптации растений на уровне одного ферментного комплекса имеет очень тонкий механизм регуляции, который играет важную роль в быстрой приспособляемости растений в ходе онтогенеза к изменяющимся условиям среды.

Важная роль в обмене веществ отводится также каталазе, которая широко распространена в растениях. Каталаза является одним из самых активных энзимов в природе, она принадлежит к группе элитных ферментов, обладающих рекордными скоростями работы (Цегарем, Пруидзе, 1990; Zhang, Kirkham, 1994; Половникова, Воскресенская, 2008), играет определенную роль в процессах адаптации организма к стресс-факторам. Каталаза также проявляет умеренную пероксидазную активность, то есть катализирует реакции окисления перекисью водорода различных доноров электронов, среди которых этанол и др. (Navir, McHalla, 1989).

Как показали результаты исследований (рис. 2), наибольшая активность каталазы наблюдалась в контрольном варианте ( $3,8-4,9 \text{ мкмоль} \text{O}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$ ), а при действии загрязнителей происходило снижение ее активности.

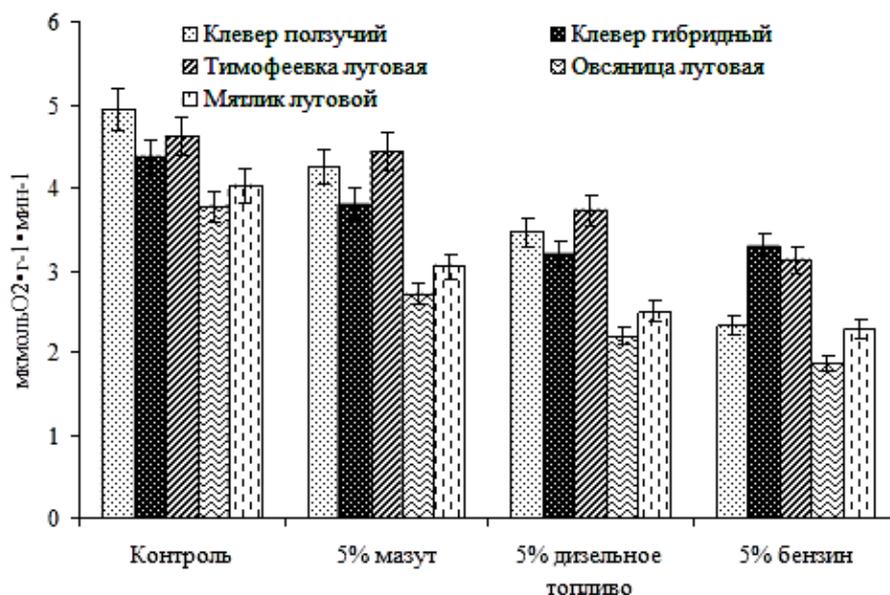


Рис. 2 Изменение активности каталазы в проростках газонных растений в условиях загрязнения нефтепродуктами

При внесении 5%-го раствора мазута каталазная активность составила от 4,4 до 3,7 мкмоль O<sub>2</sub> · г<sup>-1</sup> · мин<sup>-1</sup>. По сравнению с контролем снижение происходило у *P. pratensis* в 1,4 раза, *F. pratensis* – в 1,3, *T. repens* и *T. hybridum* – в 1,2, *Ph. pratensis* – в 1,1 раза.

При загрязнении 5%-ым раствором дизельного топлива активность каталазы находилась в пределах от 3,72 до 2,19 мкмоль O<sub>2</sub> · г<sup>-1</sup> · мин<sup>-1</sup> (рис. 2), где максимальный показатель активности был характерен для *Ph. pratensis*, минимальный – для *P. pratensis*. Однако, если сравнивать с контрольными показателями, то наибольшее снижение ферментативной активности отмечалось у овсяницы луговой и мятлика лугового. Их показатели снизились на 42 и 38% соответственно. У клевера гибридного и клевера ползучего каталазная активность понизилась на 27-30%, а тимофеевка луговая характеризовалась большей устойчивостью, ее активность по сравнению с контролем уменьшилась всего на 19%.

Наибольшее снижение ферментативной активности отмечалось при поливе 5%-ым раствором бензина. Показатели активности каталазы по сравнению с контрольными данными снизились для клевера ползучего и овсяницы луговой на 47-50,6%. Эти виды характеризовались максимальным ингибированием фермента под действием раствора бензина. Ферментативная активность мятлика лугового также была пониженной, но на 4-7% выше, чем у

вышеизложенных видов. Для клевера гибридного и тимopheевки луговой наблюдалась аналогичная ситуация – каталазная активность в сравнении с контролем уменьшалась, но в меньшей степени (на 25-32%) (рис. 2).

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ показал, что эффект нефтезагрязнения – вид нефтепродуктов ( $p=0,0000$ ) оказался значимым, а также значимо было и взаимодействие этих факторов.

Большинство растений обладают пониженной активностью каталазы на загрязненных участках произрастания, и чем выше устойчивость вида к загрязняющим веществам, тем более высокая стабильность действия этого фермента, и наоборот, большая степень ингибирования активности фермента может являться диагностическим признаком слабой устойчивости растений к антропогенным нагрузкам (Чиркова, 2002; Половникова, Воскресенская, 2008, 2018, 2019, 2020). Изменение в свойствах фермента могут быть понятны только в общей картине приспособлений всех метаболических реакций клетки к стрессу, т.е. имеют адаптационный характер и дают возможность противостоять неблагоприятным условиям (Креславский и др., 2012; Колупаев, Карпец, 2014; Казнина и др., 2016).

**Заключение.** Таким образом, под воздействием нефтепродуктов происходило изменение активности антиоксидантных ферментов у проростков газонных растений. Пероксидаза увеличивала свою активность в ряду: мазут → дизельное топливо → бензин. Наибольшая активность данного фермента наблюдалась в проростках овсяницы луговой и мятлика лугового, более низкая активность была характерна для клевера ползучего и клевера гибридного. Каталазная активность находилась в обратной зависимости от активности пероксидазы. Под действием загрязняющих веществ наибольшее снижение активности каталазы наблюдалось у бобовых растений, а наименьшее – у злаковых. Изменение активности ферментов во многом связано с биологической особенностью вида и является показателем реакции растительного организма на комплекс негативных экологических воздействий.

#### **Список литературы**

- Андреева В.А.* 1988. Фермент пероксидаза: участие в защитном механизме растений. М.: Наука. С. 7-24.
- Большой практикум по биоэкологии: учебное пособие 2006 /* О.Л. Воскресенская, Е.А. Алябышева, М.Г. Половникова. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т. Ч. 1. 107 с.
- Гетко Н.В.* 1991. Структурные и функциональные особенности ассимиляционного аппарата растений в техногенной среде: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Свердловск. 39 с.

- Драчук С.В., Кокшарова Н.В., Фирсов Н.Н.* 2002. Микрофлора почв загрязненных нефтепродуктами // Экология. № 2. С. 148-150.
- Загоскина Н.В., Назаренко Л.В.* 2016. Активные формы кислорода и антиоксидантная система растений // Вестник московского городского педагогического университета. С. 9-24.
- Казнина Н.М., Батова Ю.В., Титов Ф.Ф., Лайдинен Г.Ф.* 2016. Роль отдельных компонентов антиоксидантной системы в адаптации растений *Elytrigia repens* (L.) Nevski к кадмию // Труды Карельского научного центра РАН. № 11. С. 17-26.
- Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В.* 2014. Активные формы кислорода и стрессовый сигналинг у растений // Укр. Biochem. J. Т. 86. № 4. С. 18-35.
- Колупаев Ю.Е.* 2016. Антиоксиданты растительной клетки, их роль в АФК-сигналинге и устойчивости растений // Успехи современной Биологии. Т. 136. № 2. С. 181-198.
- Креславский В.Д., Лось Д.А., Аллахвердиев С.И., Кузнецов В.В.* 2012. Сигнальная роль активных форм кислорода при стрессе у растений // Физиология растений. Т. 59. С. 163-178.
- Минибаева Ф.В., Гордон Л.Х.* 2003. Продукция супероксида и активность внеклеточной пероксидазы в растительных тканях при стрессе // Физиология растений. Т. 50. № 3. С. 459-464.
- Половникова М.Г., Воскресенская О.Л.* 2018. Содержание пероксидных группировок в вегетативных органах газонных растений в условиях урбанизированной среды // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. № 4. С. 242-249.
- Половникова М.Г., Воскресенская О.Л.* 2019. Потенциальная способность образования свободных радикалов газонными растениями в условиях городской среды // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Международной научной конференции, 15-19 апреля 2019 г. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т. Вып. 8. С. 304-305.
- Половникова М.Г., Воскресенская О.Л.* 2008. Изменение активности компонентов системы антиоксидантной защиты и полифенолоксидазы у газонных растений на разных этапах онтогенеза в условиях городской среды // Физиология растений. Т. 55. № 5. С. 777-785.
- Половникова М.Г., Воскресенская О.Л.* 2020. Содержание фенольных соединений в вегетативных органах газонных растений в условиях урбанизированной среды // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. Пенза: Изд-во ПГУ. № 4 (32). С. 76-85.
- Рачковская М.М., Ким Л.О.* 1980. Изменение активности некоторых оксидаз как показатель адаптации растений к условиям промышленного загрязнения // Газоустойчивость растений. С. 117-126.
- Семена и посадочный материал сельскохозяйственных культур.* 1977. М. 400 с.
- Цегарем М.П., Пруидзе Г.Н.* 1990. Субклеточная локализация каталазы в листьях чайного растения // Субтропические культуры. № 4. С. 47-51.
- Чиркова Т.В.* 2002. Физиологические основы устойчивости растений. СПб.:

Изд-во С.-Петербург. ун-та. 244 с.

- Havir E., McHall N.* 1989. Enhanced-peroxidatic activity in specific catalase isozymes of tobacco, barley and maize // *Plant physiol.* V. 91. № 3. P. 812-815.
- Gill S.S., Tuteja N.* 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants // *Plant Physiology and Biochemistry.* V. 48. № 12. P. 909-930.
- Meloni D.A., Oliva M.A., Martinez C.A., Cambraia J.* 2003. Photosynthesis and Activity of Superoxide Dismutase, Peroxidase and Glutathione Reductase in Cotton under Salt Stress // *Environ. Exp. Bot.* V. 49. P. 69-76.
- Meloni D.A., Oliva M.A., Martinez C.A., Cambraia J.* 2003. Photosynthesis and Activity of Superoxide Dismutase, Peroxidase and Glutathione Reductase in Cotton under Salt Stress // *Environ. Exp. Bot.* V. 49. P. 69-76.
- Zhang J., Kirkham M.B.* 1994. Prought – Stress Induced Changes in Activities of Superoxide Dismutase, Catalase, and Peroxidase in Wheat Species // *Plant Cell Phjsiol.* V. 35. P. 785-791.

## **THE EFFECT OF PETROLEUM PRODUCTS ON THE ACTIVITY OF PEROXIDASE AND CATALASE IN SEEDLINGS OF LAWN PLANTS**

**M.G. Polovnikova<sup>1</sup>, O.L. Voskresenskaya<sup>2</sup>, E.A. Alyabysheva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kuban State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Krasnodar

<sup>2</sup>Mari State University, Yoshkar-Ola

During the laboratory experiment, the effect of petroleum products (gasoline, diesel fuel, fuel oil) on the activity of antioxidant enzymes (peroxidase and catalase) in seedlings of lawn plants (*Poa pratensis*, *Festuca pratensis*, *Phleum pratense*, *Trifolium repens*, *Trifolium hybridum*) was determined. The total peroxidase activity was determined by the Boyarkin method, the catalase activity was determined by the gasometric method. In the course of the work, it was found that the activity of peroxidase increased in a number of petroleum products: fuel oil → diesel fuel → petrol. The highest activity of this enzyme was observed in seedlings of *Poa pratensis* and *Festuca pratensis*, lower activity was characteristic of *Trifolium repens* and *Trifolium hybridum*. The catalase activity was inversely dependent on the peroxidase activity. Under the influence of pollutants, the greatest decrease in catalase activity was observed in legumes, and the smallest – in cereals. The change in the activity of enzymes is largely related to the biological feature of the species and plays an important role in the rapid adaptation of plants to changing environmental conditions.

**Keywords:** lawn plants, antioxidant enzymes, peroxidase, catalase, oil pollution.

*Об авторах:*

ПОЛОВНИКОВА Марина Григорьевна – кандидат

биологических наук, доцент ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», 350015, Краснодарский край, Краснодар, ул. им. Буденного, 161, e-mail: [marinarpmg19@mail.ru](mailto:marinarpmg19@mail.ru).

ВОСКРЕСЕНСКАЯ Ольга Леонидовна – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой экологии, директор института естественных наук и фармации, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», 424000, Республика Марий Эл, Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1; e-mail: [voskres2006@rambler.ru](mailto:voskres2006@rambler.ru).

АЛЯБЫШЕВА Елена Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии института естественных наук и фармации ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», 424000, Республика Марий Эл, Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1; e-mail: [e\\_alab@mail.ru](mailto:e_alab@mail.ru).

Половникова М.Г. Влияние нефтепродуктов на активность пероксидазы и каталазы в проростках газонных растений / М.Г. Половникова, О.Л. Воскресенская, Е.А. Алябышева // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2021. № 4(64). С. 51-61.