

Литература

1. Laisk A., Walker D.A. Control of phosphate turnover as a rate limiting factor and possible causes of oscillations in photosynthesis. A mathematical model // Proc. R. Soc. Lond. B. – 1986. – Vol. 227. – P. – 281-302.

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС И УРОВЕНЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ В ОРГАНАХ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО ПРИ ДЕЙСТВИИ КАДМИЯ

Гончарова Н.В.

*Учреждение образования «Международный государственный
экологический университет им. А. Д Сахарова»,
Минск, Беларусь, goncharova@iseu.by*

Цель работы - изучение временной динамики Cd-индуцированного развития окислительного стресса и сопутствующего функционирования ферментативной составляющей ликвидации пероксида водорода (аскорбатпероксидазы (АПО) и гваяколпероксидазы) у клевера лугового.

Объектами исследования являлись побеги и корни клевера лугового. Семена предварительно стерилизовали в 2,5 %-м растворе KMnO_4 , после чего проращивали на фильтровальной бумаге в присутствии 1/10 среды Кнопа с микроэлементами по Хогланду. Двухнедельные проростки пересаживали на питательный раствор, содержащий $0,04 \text{ мМ Cd(NO}_3)_2$. Побеги и корни после 12, 24, 48, 72 и 96 часов экспозиции на Cd-содержащем растворе исследовали сразу же после извлечения из раствора.

В побегах количество H_2O_2 достигало максимального значения ($39 \text{ мкмоль/г сырой массы}$) уже к концу 1-х суток экспозиции на Cd-содержащей среде, после чего оно несколько снижалось к 48 часам (до $32 \text{ мкмоль/г сырой массы}$) и оставалось примерно на одном уровне до конца эксперимента. В то же время количество H_2O_2 в корнях после повышения его уровня к 12 часам оставалось почти неизменным до 24 часов, после чего вновь повышалось к 48 часам. Далее количество H_2O_2 в корнях снижалось, достигая минимального значения к 96 часам ($15 \text{ мкмоль/г сырой массы}$). Показано, что в побегах количество малонового диальдегида (МДА), являющегося основным продуктом перекисного окисления фосфолипидов мембран, за первые сутки экспозиции на среде, содержавшей Cd^{2+} , возрастало в 1,5 раза, после чего оставалось неизменным на уровне $0,24 \text{ мкмоль/г сырой массы}$ до конца эксперимента. В

корнях содержание МДА варьировалось, вначале снижаясь и достигая минимального значения к 24 часам (0,17 мкмоль/г сырой массы). К 48 часам оно увеличивалось и оставалось на уровне 0,21 мкмоль/г сырой массы до 72 часов, после чего вновь снижалось к 96 часам эксперимента. Возрастание интенсивности ПОЛ в начальный период экспозиции на Cd-содержащей среде могло быть связано с избыточной генерацией H_2O_2 в органах клевера лугового. Очевидное соответствие наблюдавшихся изменений подтверждается высокими коэффициентами корреляции (r), рассчитанными для пары: количество пероксида и МДА. Они оказались равными 0,93 и 0,84 соответственно для побегов и корней. Наблюдавшийся в начальный период стрессового воздействия кадмия «окислительный взрыв» мог инициировать включение адаптационных механизмов. Одним из них является увеличение активности ферментов, разлагающих пероксид [1].

Установлено, что активность пероксидазы (ПО) в побегах в течение первых 3-х суток оставалась примерно на одном уровне, после чего к 96 часам эксперимента увеличивалась, достигая 3,2 мкмоль/мин·г. Резкий рост содержания пероксида водорода и незначительное возрастание активности ПО в побегах в первые 48 часов эксперимента свидетельствуют о том, что данный фермент не играет существенной роли в разложении пероксида в побегах. Это может быть связано с наличием небольшого конститутивного пула фермента, *de novo* синтезом которого можно объяснить повышение его активности к 96 часам эксперимента. В то же время в корнях наблюдали 13-кратное увеличение активности фермента в течение первых 12 часов экспозиции на Cd-содержащей среде. Далее происходило постепенное снижение активности ПО, достигавшей к 96 часам величины 1,6 мкмоль/мин·г. Значительное увеличение активности ПО в корнях в первые 12 часов экспозиции, по-видимому, являлось ответной реакцией, связанной с необходимостью ликвидации избыточного образования H_2O_2 . Активность АПО в побегах клевера лугового в течение первых 12 часов экспозиции на Cd-содержащей среде снижалась в 2,3 раза, после чего повышалась до уровня в 0,27 мкмоль/мин·г (что было всё же на 30 % ниже первоначального значения), и далее она стабилизировалась до конца эксперимента. Такое падение активности фермента можно объяснить быстрой инактивацией его пула в ходе катализируемой реакции. Ресинтез новых порций фермента (или изозимов), по-видимому, обеспечил возрастание активности после 12 часов эксперимента. Синтез новых молекул фермента, отчасти, возможно инициирован самим образующимся пероксидом в силу известной сигнальной роли этого вещества [2]. Выход активности на стационарную величину до конца эксперимента

и постепенное снижение количества пероксида можно объяснить, с одной стороны, поддержанием необходимой скорости синтеза фермента, и повышенной скоростью образования аскорбата из продуктов фотосинтеза, с другой. В корнях активность фермента до 24 часов поддерживалась на примерно одном уровне, а затем к 48 часам снижалась вдвое. Этот факт можно объяснить инактивацией конститутивного пула фермента после 24 часов с последующей индукцией синтеза новых его порций (или изоферментов). Подобная динамика активности фермента в корнях на фоне данных по содержанию пероксида водорода может свидетельствовать о незначительной роли этой биохимической реакции в корнях, по-видимому, отчасти из-за невозможности (или низкой скорости) синтеза аскорбата в этой части растений. Повышение активности фермента к 96 часам эксперимента может быть обусловлено, как синтезом фермента *denovo*, так и поступлением синтезированного аскорбата из листьев растений клевера лугового. Известно, что на долю АПО выпадает основная работа по ликвидации H_2O_2 в клетках [3].

Установлено, что регуляция редокс-гомеостаза у клевера лугового, выращенного на среде, содержащей $0,04 \text{ mM Cd}^{2+}$, носила органоспецифичный характер, обусловленный, по-видимому, преимущественной аккумуляцией кадмия в корнях. При этом значительное накопление пероксида водорода в побегах может быть как опосредованным из-за возникновения осмотического стресса, так и, отчасти, за счёт работы внеклеточных форм ПО клеток корня, в результате чего образуется пероксид, который переносится в побег с током воды по ксилеме [4]. Обнаружена высокая активность ПОЛ в клетках побега. Установлена корреляция между накоплением H_2O_2 и величиной ПОЛ.

Литература

1. Казнина Н.М., Титов А.Ф., Лайдинен Г.Ф., Батова Ю.В. Влияние кадмия на некоторые физиологические показатели растений ячменя в зависимости от возраста // Труды Карельского научного центра РАН. - 2010. - № 2. - С. 27-31.
2. Гарифзянов А.Р., Жуков Н.Н., Иванищев В.В. Образование и физиологические реакции активных форм кислорода в клетках растений // Современные проблемы науки и образования. - 2011. - № 2; URL: www.science-education.ru/96-4600.
3. Полесская, О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода. - М.: Изд-во КДУ, 2007. - 140 с.

4. Mika A., Minibayeva F., Beckett R., Luthje S. Possible functions of extracellular peroxidases in stress-induced generation and detoxification of active oxygen species // *Phytochemistry Reviews*. - 2004. - Vol. 3. - P. 173-193.

СТАБИЛЬНОСТЬ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ИНДОТРИКАРБОЦИАНИНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ С ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ

Гуринович В.В.¹, Тарасов Д.С.², Самцов М.П.², Воропай Е.С.¹

¹*Белорусский государственный университет,
Минск, Беларусь gurinovich@bsu.by*

²*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко, Минск, Беларусь*

Многочисленными исследованиями показано, что основной мишенью фотосенсибилизируемых порфиринами повреждений клеток являются клеточные мембраны, в которых, как правило, локализуются сенсибилизаторы, и повреждение которых приводит к потере функциональной активности и гибели клеток [1]. Поэтому, для обеспечения высокой цитотоксичности действия, размещение указанного фотомолекулярного генератора целесообразно проводить в клеточных мембранах. В работах [2,3] исследована возможность создания в клеточных мембранах донорно-акцепторных систем на основе порфиринов и галогенметанов, реализующих фотоиндуцируемый перенос электронов с синглетно-возбужденных молекул сенсибилизатора на молекулы акцептора с образованием цитотоксичных радикалов галогенметанов.

Полученные данные свидетельствуют о возможности создания в клеточных мембранах донорно-акцепторных систем на основе порфиринов и галоидметанов, реализующих фотоиндуцируемый перенос электронов с синглетно-возбужденных молекул сенсибилизатора на молекулы акцептора. Образующиеся радикалы галоидметанов проявляют высокую эффективность в деструктивном действии на основные компоненты мембран – белки и липиды. По-видимому, обнаруженный эффект усиления галоидметанами фотосенсибилизируемых повреждений биологических мембран может быть использован при усовершенствовании методов фотохимической терапии [4,5].

В настоящей работе поведены исследования возможности использования радиационного метода стерилизации индотрикарбоцианинового