

3. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М., 1991.
4. Методы стационарного изучения почв / Под ред. А.А. Роде, Н.А. Ногина, И.Н. Скрынниковой. М., 1977.
5. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. Л., 1972.
6. Фёдоров А.И. Методы математической статистики в биологии и опытно-деловом деле. Алма-Ата, 1967.
7. Леуто И.Э., Бойко А.Т. Многолетние травы на выработанных торфяниках. Минск, 1979.
8. Федоров А.С. Влияние удобрений и растений на содержание минеральных форм азота в почвах выработанных торфяников // Проблемы использования и реутилизации биофильных элементов. Л., 1980.
9. Дырин В.А. Культивирование трав на выработанном торфянике и его биологическая активность. Деп. во ВНИИТЭИСХ под № 79 ВС-86. Деп., 1986.
10. Дырин В.А., Суворина Е.А. Биологическая активность остаточного торфа под травами // Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды. Томск, 1995.
11. Жданникова Е.Н. Микробиологическая характеристика торфяно-болотных почв Томской области // Заболоченные леса и болота Сибири. Томск, 1963.
12. Наплекова Н.Н. Аэробное разложение целлюлозы микроорганизмами в почвах Западной Сибири. Новосибирск, 1974.
13. Загуральская Л.М. Определение биологической активности торфяно-болотных почв Томской области // Микроорганизмы в борьбе с вредителями лесного хозяйства. М., 1966.
14. Дырин В.А., Блинков Г.Н. О биологической активности низинных торфов // Вопр. биологии и агрономии. Томск, 1976.
15. Вавуло Ф.П. Микрофлора основных типов почв БССР и их плодородие. Минск, 1972.
16. Инишева Л.И., Славина Т.П. Биологическая активность почв Томской области. Томск, 1987.
17. Санникова Ю.В. Динамика аммонификаторов в олиготрофных торфяных почвах // VIII Всерос. конф. студ., аспирантов и молодых ученых (с междунар. участием). Томск, 2004.
18. Виноградский С.Н. Микробиология почвы. М., 1952.

УДК 581.132: 581.12: 581.1.03

*С.А. Войцековская*

## АКТИВНОСТЬ ГЛЮКОЗО-6-ФОСФАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ В ПРОРОСТКАХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГИПОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ

Томский государственный педагогический университет

Познание путей адаптации организмов к воздействию факторов внешней среды – одна из центральных проблем экологической физиологии растений. В природе растения часто оказываются в условиях кислородной недостаточности (гипоксии). Это наблюдается при затоплении, заболачивании почвы, при вымокании растений, образовании ледяной корки на посевах озимых культур, орошаемом землепользовании, в результате создания асфальтовых покрытий в городах. Наиболее часто испытывают недостаток кислорода озимые хлеба (пшеница, рожь, ячмень), рис, соя, хлопчатник, некоторые древесные растения – ель, береза, сосна, ива, ольха. Поскольку кислород необходим для дыхания растений, изменение его парциального давления отражается на уровне и структуре процесса дыхания [1]. Изучение особенностей дыхательного метаболизма при недостатке кислорода у растений, различающихся по устойчивости к данному фактору, является целью проведенного исследования. Экспериментально условия кислородной недостаточности создаются путем затопления, замещения воздуха газообразным азотом, аргоном и т.д. В данном исследовании использован нетрадиционный для физиологии растений методический подход получения разреженной атмосферы, который характеризуется одновременным снижением парциального давления газов, среди которых наибольшее значение для растений имеют  $O_2$  и  $CO_2$  (гипоба-

рическая гипоксия). В природе подобные условия наблюдаются в высокогорных районах, интерес к ним возрастает в связи с развитием космических исследований, созданием искусственных систем жизнеобеспечения, а также решением экологических задач, связанных с формированием климата [2]. Гипобарическая гипоксия позволяет изучать адаптацию целого растения, взаимодействие авто- и гетеротрофных его органов, в то время как при затоплении, например, в условиях кислородной недостаточности оказывается только корневая система. Биохимические приспособления дыхания к условиям кислородной недостаточности в фотосинтезирующих органах растения остаются малоизученными. Поэтому в задачи работы входило исследование влияния гипобарической гипоксии на активность ключевого фермента пентозофосфатного пути дыхания глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (КФ 1.1.1.49) в корнях и листьях растений, различающихся по устойчивости к изучаемому фактору, на свету и в темноте.

Объектами исследования служили 8-суточные зеленые проростки озимого ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Скороход, 7-суточные проростки пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Тулунская и 10-суточные проростки риса (*Oryza sativa* L.) сорта ВНИИР-17, различающиеся по устойчивости к недостатку кислорода. Гипоксические условия достигались помещением

растений в барокамеры с пониженным парциальным давлением кислорода (2кПа) на 16, 24 и 72 ч в условиях освещения (интенсивность 40 Вт/м<sup>2</sup>) или темноты. Контрольные группы растений выдерживали такое же количество времени при нормальной аэрации и атмосферном давлении на свету или в темноте. Количественное определение белка осуществляли по методу Бредфорда. Изучение ферментативной активности проводили спектрофотометрически по изменению оптической плотности при 340 нм в ходе окислительно-восстановительных превращений НАДФ<sup>+</sup> [3]. Результаты обрабатывали статистически, рассчитывали среднее арифметическое и среднее квадратичное отклонение. Достоверность различий между контролем и опытом оценивали, используя критерий Стьюдента, при 5%-м уровне значимости [4].

Известно, что перестройки дыхательного метаболизма при недостатке кислорода связаны с усилением гликолиза и пентозофосфатного пути окисления глюкозы, поставляющих АТФ, достаточное количество промежуточных веществ для биосинтезов и биологических восстановителей [5]. Полагают, что в условиях кислородной недостаточности процессы гликолиза и апотомического распада осуществляются параллельно в силу тесной взаимосвязи [1]. Об особенностях функционирования окислительного пентозофосфатного пути в условиях гипобарической гипоксии свидетельствует изменение активности его стартового фермента – глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы, ускоряющего окисление глюкозо-6-фосфата в 6-фосфоглюконолактон. В листьях неприспособленного к недостатку кислорода растения – пшеницы после 24-часовой гипоксии активность этого фермента уменьшалась и составила 73 % аэрируемого контроля (табл. 1). При нарастании силы анаэробного воздействия (72 ч) работа пентозофосфатного пути необратимо подавлялась, о чем свидетельствует снижение ферментативной активности глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы до 23 % по сравнению с контролем при аэрации. В корнях проростков пшеницы не отмечалось достоверных изменений в активности фермента, что объясняется их большей приспособленностью к условиям кислородной недостаточности, поскольку именно корневая система чаще всего оказывается в условиях дефицита кислорода в природе. У приспособленного растения – риса активность исследуемого фермента постепенно возрастала по мере увеличения срока пребывания в бескислородной среде, и даже после 72-часового периода гипоксии отмечалось ускорение работы пентозофосфатного цикла как в корнях, так и в листьях проростков. Возрастание доли пентозофосфатного пути является неспецифической реакцией на различные неблагоприятные воздействия. Роль апотомического пути окисления глюкозы при дефиците кислорода состоит в образовании восстановителей (НАДФН) и интермедиатов, необходимых для биосинтезов [5]. В ходе пентозофосфатного пути

Таблица 1

Активность глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы в проростках пшеницы и риса в условиях аэрации (Р Н'' 101 кПа, Р<sub>о</sub> 2 Н'' 21 кПа) и анаэробноза (Р Н'' 8 кПа, Р<sub>о</sub> 2 Н'' 2 кПа)

Растительный материал	Условия опыта, количество часов	мЕ/мг белка	% к контролю	
Пшеница	Корни	Аэрация, 24	69.2±5.8	100
		Анаэробноз, 24	76.3±4.3	110
		Аэрация, 72	52.2±2.1	100
		Анаэробноз, 72	66.7±5.1	127
	Листья	Аэрация, 24	59.2±2.04	100
		Анаэробноз, 24	43.5±3.21*	73
		Аэрация, 72	46.9±1.83	100
		Анаэробноз, 72	10.9±0.70*	23
Рис	Корни	Аэрация, 24	51.1±2.3	100
		Анаэробноз, 24	47.8±1.9	93
		Аэрация, 72	57.7±3.0	100
		Анаэробноз, 72	233.4±5.1*	404
	Листья	Аэрация, 24	35.7±2.3	100
		Анаэробноз, 24	44.2±3.8	124
		Аэрация, 72	32.5±1.5	100
		Анаэробноз, 72	83.1±5.4*	255

Примечание: \* – различия между контролем и опытом достоверны при p<0.05.

синтезируются пентозы, входящие в состав нуклеиновых кислот и различных нуклеотидов (пиримидиновых, флавиновых, адениловых и др.), образуются углеродные соединения с разным числом атомов углерода (С<sub>3</sub>-С<sub>7</sub>-углеводы), которые активно участвуют в пластическом обмене растений. Эритрозо-4-фосфат, один из промежуточных продуктов этого метаболи-

Таблица 2

Активность глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы в зеленых листьях ячменя, выдержанного 16 ч в условиях аэрации или анаэробноза на свету (освещенность 40 Вт/м<sup>2</sup>) или в темноте

Условия опыта	мЕ/мг белка	% к контролю
Аэрация, свет	2.6 ± 0.16	100
Анаэробноз, свет	14.4 ± 0.62*	554
Аэрация, темнота	1.3 ± 0.15	100
Анаэробноз, темнота	6.6 ± 0.85*	508

Примечание: \* – различия между контролем и опытом достоверны при  $p < 0.05$ .

ческого пути, необходим для синтеза шикимовой кислоты – предшественника многих ароматических соединений, таких как ароматические аминокислоты, витамины, дубильные и ростовые вещества, лигнин клеточных стенок и др. Компоненты пентозофосфатного пути (рибулозо-1,5-дифосфат, НАДФН) при-

мают участие в темновой фиксации CO<sub>2</sub>. Поскольку окислительный пентозофосфатный цикл представляет собой обращенный восстановительный цикл Кальвина, его активация в условиях анаэробноза наряду с гликолизом, переходящим в брожение, по-видимому, компенсирует дефицит CO<sub>2</sub>, НАДФН, АТФ и продуктов обмена и обеспечивает возможность фотосинтетической активности в автотрофных тканях растений [1, 6]. Сравнительное изучение функционирования пентозофосфатного пути в зеленых листьях ячменя в гипоксических условиях на свету и в темноте показало, что на свету возрастание активности глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы было даже более значительным, чем в темноте (табл. 2). Усиление анаэробных путей дыхания как в гетеротрофных, так и в автотрофных тканях у приспособленных к недостатку кислорода растений позволяет поддерживать энергетический баланс клетки, ведет к образованию необходимого количества восстановителей и промежуточных соединений, необходимых для различных биосинтезов, что обеспечивает, наряду с другими защитными реакциями, устойчивость растений к гипоксии.

## Литература

1. Семихатова О.А., Чиркова Т.В. Физиология дыхания растений. СПб., 2001.
2. Астафурова Т.П., Верхотурова Г.С., Зайцева Т.А., Войцековская С.А. Особенности метаболизма в листьях растений на свету в условиях гипобарической гипоксии // Физиология организмов в нормальном и экстремальном состояниях. Томск, 2001.
3. Астафурова Т.П., Войцековская С.А., Верхотурова Г.С. и др. Специальный практикум по физиологии и биохимии растений. Вып. 4. Томск, 2001.
4. Кузнецов В.К. Методика ускоренного исчисления стандартного отклонения и ошибки средней // Социально-гигиенические исследования. М., 1970.
5. Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений. СПб., 2002.
6. Астафурова Т.П., Вайшла О.Б., Зайцева Т.А. и др. Особенности дыхательного метаболизма в листьях гороха при гипобарической гипоксии // Физиол. растений. 1993. Т. 40. Вып. 4.

УДК 547.211; 550.47

*Л.И. Инишева, М.А. Сергеева*

## УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ЭМИССИЯ МЕТАНА В ОЛИГОТРОФНЫХ ЛАНДШАФТАХ ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА

Томский государственный педагогический университет

За последние десять лет утверждение о том, что климат меняется, из разряда гипотез перешло в разряд несомненных истин. В 1990 г. правительства разных стран приступили к переговорам, результатом которых стал Киотский протокол, в котором промышленно развитые страны взяли на себя обязательства сократить эмиссию парниковых газов до определенного объема [1].

Первая Всемирная конференция по климату, состоявшаяся в 1979 г., учредила Всемирную программу исследования климата. В течение 1980-х гг. программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) и Все-

мирная метеорологическая организация (ВМО) разработали ряд международных научных семинаров, на которых ученые выработали предварительный консенсус относительно сути проблемы и создали межправительственную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК). В своем первом аналитическом докладе МГЭИК представила выводы о том, что средняя температура атмосферы Земли начнет возрастать на 0.3 °C (+0.15 °C) за десятилетие. Как считают авторы [2, 3], в течение последних десяти тысяч лет на планете ничего подобного не наблюдалось. Поэтому обязательства стран-участников рамочной конвенции