

Заключение

В норме при образовании СПС МПВ расширяется в своём терминальном отделе в среднем на 0,5 мм ($p=0,00006$), при отсутствии СПС такого расширения не происходит. Наличие КрП на диаметр МПВ в отсутствие патологии влияния не оказывает. Влияния анатомических особенностей терминального отдела МПВ на её размеры в средней и нижней трети голени не обнаружено.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов, В. П. Основы ультразвукового исследования сосудов / В. П. Куликов, Н. Л. Доронина, Л. Э. Шульгина. – М., 2015. – 392 с.
2. Мазайшвили, К. В. Вариантная анатомия и подходы к устранению рефлюкса в бассейне малой подкожной вены / К. В. Мазайшвили, Е. В. Дрожжин, А. А. Зорькин // Вестник СурГУ. – 2016. – № 3. – С. 15–20.
3. Семеняго, С. А. Варианты топографии малой подкожной вены в области подколенной ямки / С. А. Семеняго, В. Н. Жданович // Проблемы здоровья и экологии. – 2020. – № 1. – С. 39–45.
4. Семеняго, С. А. Гендерно-соматотипические особенности размеров малой подкожной вены / С. А. Семеняго, В. Н. Жданович // Проблемы здоровья и экологии. – 2019. – № 3. – С. 56–61.
5. Kroger, K. Peripheral veins: influence of gender, body mass index, age and varicose veins on cross-sectional area / K. Kroger, C. Ose, G. Rudofsky // Vascular Medicine. – 2003. – № 8. – P. 249–255.

УДК 574.24

Е. Г. Тюлькова¹, Г. Е. Савченко²

¹Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»,

г. Гомель, Республика Беларусь,

²Институт биофизики и клеточной инженерии

Национальной академии наук Беларуси,

г. Минск, Республика Беларусь

**МЕХАНИЗМЫ ДЕГРАДАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА ПРИ ДЕЙСТВИИ
УГЛЕВОДОРОДОВ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА
ЛИСТЬЯ РАЗНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ
ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЙ**

Введение

Интерес к исследованию деградации хлорофилловых пигментов в условиях техногенных загрязнений прежде всего как маркера токсического действия последних [1], в последние годы получил новый импульс. Во-первых, благодаря прогрессу в молекулярно-генетических исследованиях, подвергаются пересмотру механизмы деградации хлорофилла (Хл) в разных условиях [2], что вызывает необходимость сравнивать катаболизм пигмента при естественном старении растений, стрессах и репарационных процессах разной природы. Кроме этого, более внимательное отношение к естественному продукту деградации Хл хлорофиллиду (Хд), образуемому при отщеплении от молекулы порфирина жирного спирта фитола, связывающего пигмент с фотосинтетической мембраной, привело к неожиданным результатам в несколько другой области. Недавно было показано токсичное действие Хд на ряд травоядных насекомых, которое не связано с хорошо известным фотодинамическим эффектом этого порфирина [3]. Эти новые данные в области казалось бы хорошо изученной проблемы делают актуальным

изучение механизмов разрушения Хл под влиянием техногенных химических соединений в разных видах растений.

Цель

Исследовать вклад двух различных механизмов в деградацию мембраносвязанных молекул основного пигмента хлоропластов Хл а, вызванную действием на листья разных видов растений токсичных углеводов, присутствующих в техногенных выбросах г. Гомеля, – о-ксилола, бутилацетата и бенз(а)пирена (БАП): дефитолизацию (отщепление фитола с образованием Хд) и феофитинизацию (потерю центрального атома магния с образованием феофитина (Фео)).

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили выросшие в незагрязненной зоне саженцы березы повислой *Betula pendula* Roth., клена остролистного *Acer latanoides* L., липы мелколистной *Tilia cordata* Mill., тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. и многолетнего злака овсяницы тростниковой *Festuca arundinacea* Schreb. Перед проведением эксперимента растения помещали в сосуды с землей.

Для токсикации использовали распыляемые воздушно-капельным путем водные растворы о-ксилола, бутилацетата и БАП, содержание углеводов в которых было эквивалентно установленным предельно допустимым концентрациям (1, 100 и 300 ПДК) для каждого из них в атмосферном воздухе [1]. Листовой материал анализировали через одни сутки после обработки соответствующими растворами углеводов, в течение которых растения выдерживали при температуре 22°C и интенсивности освещения 120 мкмоль квантов м-2с-1 с фотопериодом 14 ч. Контролем служили растения, обработанные дистиллированной водой. В анализах использовали идентичные участки листа. Измерения проводили в 3-кратной биологической повторности. Разделение фитольных (хлорофиллы, Хл) и бесфитольных (хлорофиллиды, Хд) форм хлорофиллов, основанное на их разной растворимости в гексане при соответствующих значениях рН, осуществляли по методике, описанной в работе [4]. Содержание феофитина определяли по [4]. Спектральные измерения проводили на спектрофотометре Shimadzu UV-2401 РС. Математическую обработку результатов проводили с помощью Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

На рисунке 1 показано влияние максимальных концентраций (300 ПДК) разных углеводов на содержание Хл а в тканях листа разных видов растений через сутки после обработки.

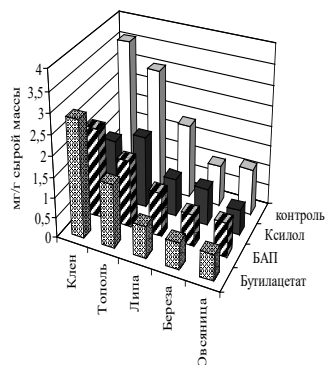


Рисунок 1 – Содержание хлорофилла а в листьях разных растений через 1 сутки после обработки углеводами

СЕКЦИЯ Медико-биологические науки

Видна разница в содержании пигмента в листьях контрольных вариантов, снижающаяся в ряду клен, тополь, липа, береза, овсяница. Совершенно очевидно и деградирующее влияние всех углеводов на связанный с мембранами Хл а, максимальная убыль которого составила в случае клена, тополя, липы, березы и овсяницы, соответственно, 40, 46, 43, 67 и 53 % от контролей (при $p \leq 0,05$).

Об основных путях деградации Хл а в результате токсикации углеводородами можно судить по количеству образующихся при этом Хд а (рисунок 2) и феофитина (рисунок 3). В общих чертах можно говорить об увеличении содержания обоих продуктов деградации Хл а через сутки после обработки всеми токсикантами на фоне видовой специфики этих процессов.

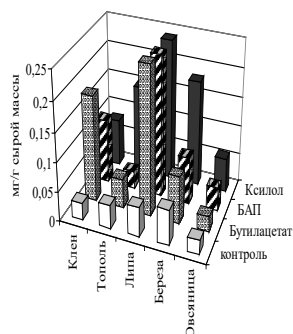


Рисунок 2 – Содержание хлорофиллида а в листьях разных растений через 1 сутки после обработки углеводородами

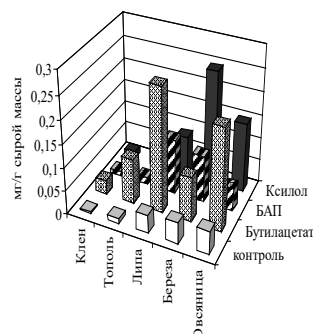


Рисунок 3 – Содержание феофитина а в листьях разных растений через 1 сутки после обработки углеводородами

В таблице 1 показано изменение величины относительного содержания феофитина и Хд а в тканях разных растений, свидетельствующее о направленности процесса разрушения мембраносвязанного Хл а в сторону дефитотализации либо удаления центрального атома магния. У березы разрушение Хл происходило примерно одинаково через дефитотализацию и феофитинизацию. У клена оба процесса протекали менее интенсивно по сравнению с другими растениями, но разрушение Хл с отщеплением фитила и образованием Хд а преобладало над феофитинизацией. Если считать, что дефитотализация молекул Хл связана с действием хлорофиллазы, то очевидно, что доступность этого гидролитического фермента к субстрату была неодинаковой у разных растений. Некоторые различия в действии разных углеводов в данной публикации не обсуждаются.

Таблица 1 – Влияние максимальных доз углеводов (300 ПДК) на степень феофитинизации (Фео) и дефитотализации (Хд а) хлорофилла а в листьях разных видов растений через сутки после токсикации. Представлены данные в % к содержанию Хл а в соответствующем материале

Вариант	Береза		Клен		Липа		Тополь		Овсяница	
	Фео/ Хл а	Хд/ Хл а	Фео/ Хл а	Хд/ Хл а	Фео/ Хл а	Хд/ Хл а	Фео/ Хл а	Хд/ Хл а	Фео/ Хл а	Хд/ Хл а
Контроль	3,6	5,7	0,2	0,7	2,1	2,8	1,0	1,3	3,1	2,2
Ксилол (1)	21,6	19,0	0,8	5,1	4,9	26,0	3,7	9,0	19,9	9,4
Бутил-ацетат (2)	10,8	10,0	1,8	4,8	15,1	22,0	6,5	2,0	22,9	4,8
БАП (3)	9,2	13,0	0,5	6,1	9,2	31,0	0,9	3,0	5,0	4,1
Среднее для 1–3	13,9± 0,7	14,0± 0,7	1,0± 0,2	5,3± 0,3	9,7± 0,5	26,3± 1,3	3,7± 0,2	4,7± 0,2	15,9± 0,8	6,1± 0,3

СЕКЦИЯ Медико-биологические науки

Из таблицы 1 видно, что после обработки углеводородами токсичность, связанная с образованием Хл а [3], существенно выше в листьях липы и березы. Менее токсичными с этих позиций были обработанные углеводородами листья клена, тополя и овсяницы. Полученные данные указывают и на неодинаковую степень участия в процессе разрушения Хл а фермента, осуществляющего феофитинизацию, у разных видов растений. Наиболее активным этот процесс был у березы и овсяницы.

Таблица 2 – Значения коэффициентов корреляции (r) между показателями деградации фотосинтетического аппарата при действии разных углеводородов на листья саженцев листопадных растений и многолетнего злака овсяницы тростниковой

Пары сравнения	Береза	Клен	Липа	Тополь	Овсяница
Хл а – Феофитин	-0,17	0,07	-0,64	-0,33	-0,68
Хд а – Феофитин	0,94	0,77	-0,03	0,13	-0,67

Из таблицы 2 видно, что изменение содержания бесфитольных пигментов положительно коррелировало с изменением содержания феофитина а в листьях березы и клена, сильно различающихся активностью обоих процессов деградации. Отсутствие корреляции между активностью этих двух процессов (в случае липы и тополя) указывает на высокую вероятность их независимой реализации у этих двух видов растений.

Заключение

Исследование механизмов разрушения мембраносвязанных молекул Хл а при действии летучих органических соединений и бенз(а)пирена на листья разных видов листопадных растений и многолетнего злака овсяницы тростниковой обнаружило видоспецифичность токсического эффекта (разная реакция растений) при отсутствии существенных различий в химической специфике использованных углеводородов. Установлено, что деградация пигмента может осуществляться как в результате корреляционно не связанных процессов удаления фитола и атома магния (липа, тополь), что отличает наблюдаемую нами картину от механизмов разрушения хлорофиллов при старении, так и при наличии положительной (береза, клен) и отрицательной (овсяница) корреляционной связи между этими двумя механизмами разрушения хлорофилла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюлькова, Е. Г. Сопряженность фотосинтеза и дыхания с содержанием хлорофилловых пигментов в растениях овсяницы тростниковой *Festuca arundinacea* Schreb. в условиях воздействия предельных и ароматических углеводородов / Е. Г. Тюлькова, Г. Е. Савченко, Л. Ф. Кабашникова // Известия РАН. Серия биологическая. – 2023. – № 4. – С. 626–639.
2. Chlorophyllase, a Common Plant Hydrolase Enzyme with a Long History, Is Still a Puzzle / X. Hu [et al.] // *Genes* (Basel). – 2021. – Vol. 12, № 12. – P. 1871. – doi: 10.3390/genes12121871.
3. Bombyx mori Midgut Membrane Protein P252, Which Binds to *Bacillus thuringiensis* Cry1A, is a Chlorophyllide-Binding Protein, and the Resulting Complex Has Antimicrobial Activity / G. N. Pandian [et al.] // *Appl. Environ Microbiol.* – 2008. – Vol. 74. – P. 1324–1331.
4. Chlorophyllase is a rate-limiting enzyme in chlorophyll catabolism and is post-translationally regulated / S. Harpaz-Saad [et al.] // *Plant Cell.* – 2007. – Vol. 19. – P. 1007–1022.