

синтезе новых пептидных цепей и их транспорте через клеточные мембраны, что создает основу эффективной регуляции метаболизма через альтерацию редокс-буферных компонентов клетки [1].

Известно, что окислительное повреждение мембран клеток (плазматической, лизосомальной, митохондриальной, ядерной) возникает вследствие окисления полиненасыщенных жирных кислот фосфолипидов, активации и деградации липидных радикалов, реорганизации двойных связей и деструкции липидов. Вследствие появления гидрофильной гидроперекисной группировки в полиненасыщенной жирной кислоте нарушается гидрофобность бислоя, диальдегиды выступают в роли поперечносшивающих бифункциональных реагентов, снижается молекулярная подвижность фосфолипидов, нарушаются липид-белковые взаимодействия, устраняется трансбислойная асимметрия липидов [1, 4]. Сопутствующим процессом является деструктурирование мембранных белков – рецепторов, ферментов, ионных каналов, выступающих в роли окисляемых субстратов, особенно при наличии тиоловых групп. Последние, будучи окисленными, образуют высокомолекулярные белковые агрегаты и, таким образом, ответственны за пермеабиллизацию мембран внутриклеточных органелл, в том числе митохондрий. В митохондриях протекание такого рода процессов непосредственно сопряжено с формированием свободных радикалов в дыхательной цепи, а также со связыванием ионов кальция с белками, облегчающим их окислительное повреждение. Модуляция тиол-дисульфидного обмена в белках митохондриальных мембран лежит в основе повышения их ионной проницаемости [1, 3].

Выводы. Таким образом, мы можем предположить, что воздействие магнитного поля с используемыми параметрами индуцирует развитие окислительного стресса, что является результатом целого ряда взаимосвязанных процессов и реакций.

Литература

1. Егорова А.Б. Молекулярные механизмы окислительного стресса в клетках нервной системы // Экстремальные состояния клеточных систем. – М.: Медицина, 2000. – С.344–356.
2. Blair I.A. DNA Adducts with Lipid Peroxidation Products // J. Biol. Chem. – 2008. – P. 15545–15549.
3. Pratic D. Lipid Peroxidation and the Aging Process // Sci. Aging Knowl. Environ. – 2002. – 345 p.
4. McIntyre T.M. Lipid Oxidation and Cardiovascular Disease: Introduction to a Review // Series Circ. Res. – 2010. – P.1167–1169.



УДК 630*18:630*425:582.475.4

М.С. Титова

РЕАКЦИЯ ПИГМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Для оценки реакции хвойных растений на уровне пигментной системы на воздействие аэрогенного загрязнения изучена динамика фотосинтетических пигментов хвои у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в условиях г. Уссурийска.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, пигменты, хвоя, хлорофилл, каротиноиды, загрязнение.

М.С. Титова

PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) PIGMENTAL SYSTEM REACTION ON THE ENVIRONMENTAL POLLUTION

The needle photosynthetic pigments dynamics of the pine (*Pinus sylvestris* L.) growing in the Ussuriisk conditions is studied for the assessment of the coniferous plant reaction at pigment system level on the aerogenic pollution influence.

Key words: pine, pigments, needles, chlorophyll, carotenoids, pollution.

Введение. Загрязнение окружающей среды – одна из самых актуальных проблем современности. В связи с ростом городов, интенсивным развитием промышленности и автотранспорта в атмосферу поступает большое количество токсических компонентов, что приводит к снижению устойчивости и продуктивности природно-антропогенных экосистем.

В городах растительность испытывает наибольшую техногенную нагрузку, здесь наблюдается суммарное воздействие большого числа негативных факторов: выбросы промышленных предприятий и теплоэнергетики, все возрастающие поступления отработанных газов автотранспорта.

Уссурийск является вторым по величине городом Приморского края. Основными источниками загрязнения воздуха на территории г. Уссурийска являются предприятия пищевой индустрии (ОАО «Приморская соя», ОАО «Приморский сахар»), Уссурийский локомотиворемонтный завод, вагонно-рефрижераторное депо, авторемонтный, комбайноремонтный заводы и др.

Высокий уровень загрязнения воздушного бассейна города отмечается в зимний период. Это связано с работой 44 котельных, использованием 30 % населения частного сектора твердого топлива, что существенно снижает экологическую устойчивость зелёной зоны. Согласно данным станции мониторинга г. Уссурийска (16.10.2009):

- концентрация бензапирена в 5,1 раза выше нормы;
- в 2007 г. среднегодовые концентрации диоксида азота превысили допустимую норму в 2,3 раза, а в 2008 – уже в 3,7;
- среднегодовая концентрация пыли в 2005–2006 гг. была на предельном уровне санитарной нормы;
- по статистическим данным (форма 2ТП воздух), средняя концентрация примеси свинца в воздухе составляет 0,0028 мг/м³, максимальная – 0,0045 мг/м³;
- концентрация SO₂ составляет 0,05 мг/м³ (допустимая норма 0,01–0,03 мг/м³) [1].

В настоящее время назрела проблема оценки состояния окружающей среды города Уссурийска с целью разработки действенных мер по ее улучшению. Одним из наиболее информативных методов оценки является биоиндикация.

Наиболее удобными биоиндикаторами атмосферного загрязнения среды являются хвойные деревья, так как они отличаются высокой чувствительностью к повышенным концентрациям токсических веществ в окружающей среде, а также возможностью проведения исследований в течение года.

Как известно, ассимиляционный аппарат растений наиболее чувствителен к влиянию различных неблагоприятных изменений окружающей среды, включая антропогенное воздействие [2]. Содержание хлорофиллов *a* и *b* является критерием оценки взаимосвязи растения со средой и фотосинтетической продуктивностью [3].

С целью выяснения влияния аэротехногенных выбросов на фотосинтетический аппарат хвойных нами было изучено содержание пластидных пигментов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в условиях г. Уссурийска с различной степенью загрязнения.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования была выбрана сосна обыкновенная – *Pinus sylvestris* L., довольно широко применяемая в ландшафтных насаждениях г. Уссурийска.

Исследования проводились в центре города (зона сильного загрязнения), в местах активного транспортного движения, в непосредственной близости от основной транспортной магистрали города – ул. Некрасова. В зону среднего загрязнения входили насаждения вблизи завода ОАО «Приморский сахар». Зона слабого загрязнения включала пригород г. Уссурийска (с. Дубовый ключ). Контролем служила зона, расположенная в экологически чистом районе, в 30 км от города (дендрарий Горнотаёжной станции ДВО РАН).

Содержание пигментов в хвое второго года определяли спектрофотометрически (СФ-56, «ЛОМО», Россия) согласно методике [4]. Сбор материала (хвоя) проводился в течение всего года. Основой расчета концентрации пигментов хлоропластов служили формулы Веттштейна для 100%-го ацетона:

$$\begin{aligned} C_a &= 9,78 \times D_{662} - 0,99 \times D_{644}; \\ C_b &= 21,42 \times D_{644} - 4,65 \times D_{662}; \\ C_{a+b} &= 5,13 \times D_{662} + 20,43 \times D_{644}; \\ C_{кар} &= 4,69 \times D_{440,5} - 0,268 (C_{a+b}), \end{aligned}$$

где *C* – концентрация хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов, мг/л; *D* – оптическая плотность в центрах поглощения пигментов – 440,5; 644 и 662 нм.

Содержание пигментов в хвое вычислялось по формуле

$$A = (C \times V) / (P \times 1000),$$

где *A* – содержание пигмента, мг на 1 г сырой навески; *C* – концентрация пигмента (после расчета по формулам), мг/л; *V* – объем вытяжки пигмента, мл; *P* – навеска хвои, г.

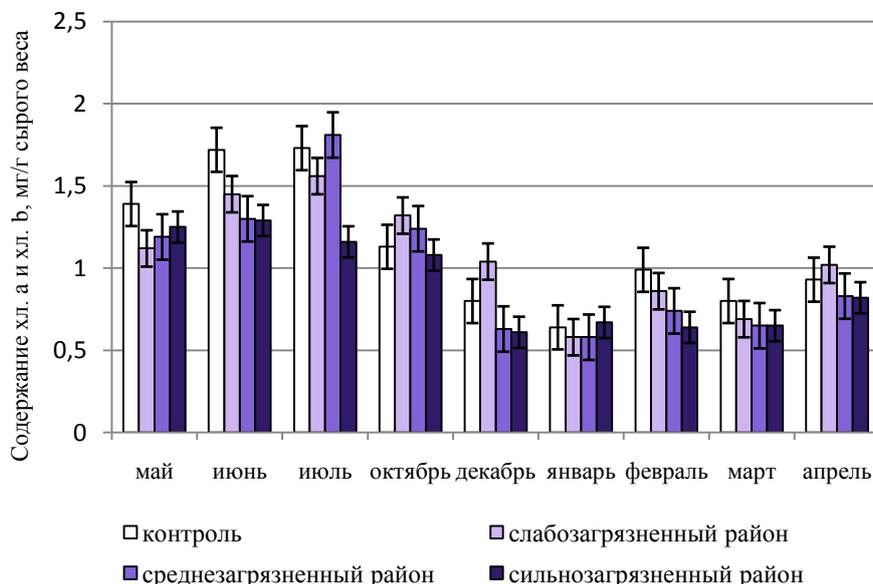
Результаты исследования и их обсуждение. Результаты наших исследований свидетельствуют о наличии ответной реакции пигментной системы ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной на загрязнение поллютантами различного генезиса. С увеличением атмосферного загрязнения на пробных участках у сосны обыкновенной наблюдалось уменьшение содержания общего фонда хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с контролем (табл.).

Содержание фотосинтетических пигментов в хвое сосны обыкновенной с различным уровнем атмосферного загрязнения

Уровень загрязнения	Содержание, мг/г сырого веса				Отношение	
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	Сумма пигментов	хл.а+хл.б/кар.	хл.а/хл.б
Сильный	0,66±0,04	0,24±0,02	0,23±0,01	1,13±0,08	3,91	2,75
Средний	0,71±0,06	0,28±0,07	0,26±0,02	1,25±0,15	3,81	2,54
Слабый	0,76±0,04	0,31±0,05	0,27±0,04	1,34±0,014	3,96	2,45
Контроль	0,92±0,03	0,44±0,02	0,28±0,01	1,64±0,09	4,86	2,09

Согласно полученным данным, в районе сильного и среднего атмосферного загрязнения у исследуемого вида в 1,3–1,5 раза снижалось общее содержание хлорофиллов и каротиноидов за счет светособирающего комплекса, в который входят хлорофилл *a* и хлорофилл *b*. Аналогичная ситуация прослеживается с содержанием каротиноидов, оно в 1–1,2 раза ниже в сравнении с контролем. Поллютанты способствуют ослаблению процессов накопления хл. *b* в большей степени, чем хлорофилла *a*, увеличивают соотношение *a/b*, что подтверждается в ряде других работ [5, 6]. Так, соотношение хл.а/хл.б, по мере усиления антропогенной нагрузки, возрастает с 2,09 до 2,75 при норме 2,0–2,3, а соотношение хл.а+хл.б/каротиноиды убывает с 4,86 до 3,81. Падение величины отношения суммы зеленых пигментов к сумме желтых является симптомом неудовлетворительного состояния растения.

О закономерностях сезонных изменений суммарного количества хлорофиллов *a* и *b* можно судить по данным, представленным на рисунке 1.



*Рис. 1. Сезонная динамика суммарного содержания хлорофиллов *a* и *b* в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в различных по загрязненности районах*

В течение вегетационного периода максимальное содержание зеленых пигментов, как в контроле, так и у деревьев, произрастающих в условиях загрязнения, приходится на июнь-июль. При этом содержание хлорофиллов по мере ухудшения состояния среды претерпевает изменения. Так, серьезное усиление ан-

тропогенной нагрузки, как это происходит в зоне сильного загрязнения (центр города), приводит к снижению содержания фотосинтетических пигментов в 1,3–1,5 раза летом и в 1,0–1,4 раза в зимние месяцы в сравнении с контролем. Это можно объяснить частичным разрушением пигментной системы хвойных.

В отличие от зеленых пигментов, количество каротиноидов в осенне-зимний период имеет тенденцию к росту. Как следует из представленных материалов, количество желтых пигментов с октября по февраль возрастает с 0,27 до 0,32 мг/г сырого веса (контроль), в зоне среднего загрязнения содержание каротиноидов падает до уровня 0,24–0,27 мг/г, а в городской черте этот показатель соответствует 0,26–0,30 мг/г (рис. 2). Это обусловлено тем, что в зимнее время каротиноиды выполняют защитную функцию – сохраняют хлорофиллы от избытка солнечной радиации.

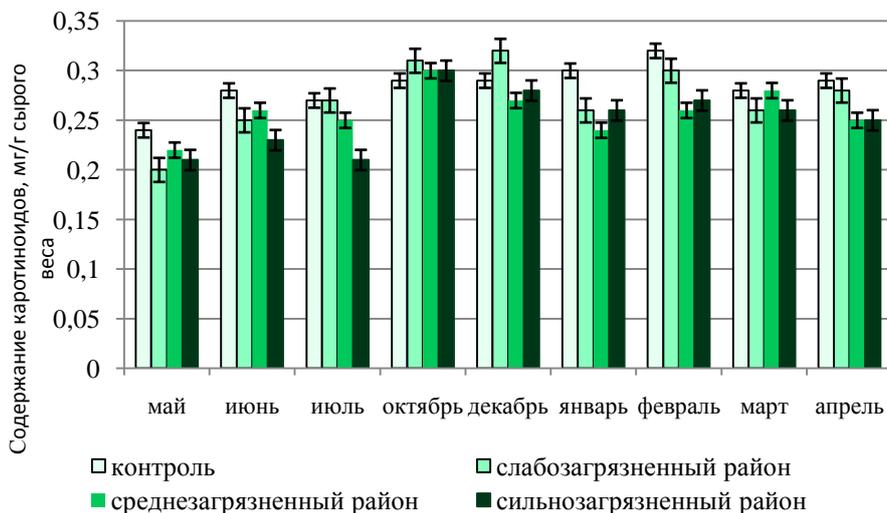


Рис. 2. Сезонная динамика содержания каротиноидов в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в различных по загрязненности районах

Проведенные нами исследования показывают, что в условиях городской среды в хвое сосны наблюдается низкий уровень содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) по сравнению с фоновыми условиями (рис.3). Так, сумма пигментов в контроле варьировала с 1,08 до 2,00 мг/г сырого веса, в городе с 0,89 до 1,52 мг/г. Необходимо отметить, что в зимнее время, когда усиливается антропогенная нагрузка от работы многочисленных котельных, содержание зеленых и желтых пигментов уменьшается в большей степени, чем в летний период (рис.3).

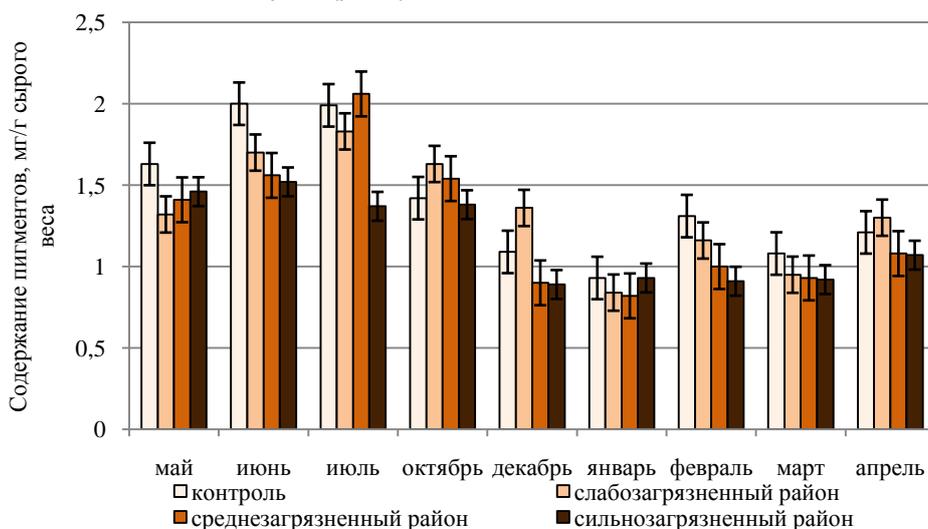


Рис. 3. Сезонная динамика суммарного содержания хлорофиллов и каротиноидов в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в различных по загрязненности районах

Таким образом, пигментный аппарат сосны обыкновенной проявляет повышенную чувствительность на поллютанты городской среды, что выражается в снижении общего количества пластидных пигментов.

Выводы. Установлено, что загрязнение газообразными поллютантами оказывает влияние на пигментную систему сосны обыкновенной. Снижение накопления хлорофиллов и каротиноидов и их деструкция приводят к изменению активности фотосинтетического аппарата, что в конечном итоге отражается на росте и продуктивности деревьев. Таким образом, результаты исследований подтверждают возможность оценки состояния городской среды по количественным показателям работы фотосинтетического аппарата. А пигментный комплекс сосны обыкновенной может служить своеобразным маркером уровня антропогенной загрязненности территории.

Литература

1. *Розломий Н.Г.* Зелёная зона г. Уссурийска Приморского края (состояние естественных и искусственных насаждений, оптимизация рекреационного лесопользования): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Владивосток, 2010. – 23 с.
2. *Сотникова О.В., Степень Р.А.* Эфирные масла сосны как индикатор загрязнения среды // *Химия растительного сырья*. – 2001. – № 3. – С. 74–81.
3. *Гетко Н.В.* Растения в техногенной среде. – Минск, 1989. – 208 с.
4. *Шлык А.А.* Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // *Биохимические методы в физиологии растений*. – М.: Наука, 1971. – С. 170–174.
5. Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта / *Г.Н. Чупахина, П.В. Масленников, Л.Н. Скрыпник* [и др.] // *Вестн. Том. гос. ун-та. Биология*. – 2012. – № 2(18). – С. 171–185.
6. *Тужилкина В.В.* Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение // *Экология*. – 2009. – № 4. – С. 243–248.



УДК 574.21

И.А. Шадрин, Н.С. Напесочный

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ СНЕГОВОГО ПОКРОВА ПРИУСАДЕБНЫХ УЧАСТКОВ г. КРАСНОЯРСКА ПО РЕАКЦИИ ВЫЖИВАЕМОСТИ ИНFUЗОРИЙ *PARAMECIUM CAUDATUM* (EHRENBERG, 1833) И ФИТОТОКСИЧНОСТИ СЕМЯН САЛАТА ПОСЕВНОГО *LACTUCA SATIVA*

*Проведена оценка токсичности снегового покрова приусадебных участков, расположенных в черте г. Красноярска, по выживаемости инфузорий *Paramecium caudatum* и фитотоксичности семян салата посевного *Lactuca sativa*.*

Ключевые слова: инфузории, *Paramecium caudatum*, салат посевной, *Lactuca sativa*, биотестирование, токсичность, фитотоксичность.

I.A. Shadrin, N.S. Napesochnyy

THE ASSESSMENT OF THE SNOW COVER TOXICITY IN THE KRASNOYARSK PERSONAL PLOTS ACCORDING TO THE SURVIVAL REACTION OF INFUSORIA *PARAMECIUM CAUDATUM* (EHRENBERG, 1833) AND LETTUCE *LACTUCA SATIVA* SEED PHYTOTOXICITY

*The assessment of the snow cover toxicity on the personal plots located within Krasnoyarsk, on the survival of infusoria *Paramecium caudatum* and lettuce *Lactuca Sativa* seed phytotoxicity is carried out.*

Key words: infusoria, *Paramecium caudatum*, lettuce, *Lactuca sativa*, biotesting, toxicity, phytotoxicity.

Введение. Рост крупных городских центров приводит к росту антропогенного воздействия на окружающую среду. В связи с этим большое значение имеет биологический мониторинг качества снегового покрова, так как снег аккумулирует пыль, тяжелые металлы и пр. В период снеготаяния вредные примеси попадают из снега в почву, что может привести к загрязнению почв и грунтовых вод.