

СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ХВОЕ *PICEA ABIES* И *PICEA KORAIENSIS*

Представлены результаты исследований содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) в двухлетней хвое интродуцированной ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst.) и дальневосточного вида – ели корейской (*Picea koraiensis* Nakai), произрастающих в дендрарии Горнотаежной станции ДВО РАН.

Ключевые слова: хвоя, пигменты, интродуцент, хлорофилл, каротиноиды.

В современном мире выращивание растений вне их природных ареалов (интродукция) становится одним из путей их охраны, что перспективно в условиях интенсивной антропогенной нагрузки на естественные экосистемы с участием данных видов [1].

Выживание интродуцентов в новых местобитаниях возможно при их успешной адаптации к комплексу природно-климатических условий района интродукции [2]. Природные условия юга Приморского края определяются муссонным климатом. В таких условиях затяжная весна, пасмурное, с большим количеством туманов и осадков начало лета, суровая (сравнительно с европейской частью страны) с холодными северными ветрами зима оказывают лимитирующее действие на нормальное развитие растений-интродуцентов.

В связи с этим большое значение при исследовании состояния растений имеет изучение пластичности фотосинтетического аппарата, его способности приспосабливаться к изменяющимся внешним условиям. Известно, что одним из показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к новым экологическим условиям является содержание хлорофиллов и каротиноидов – главных фоторецепторов фотосинтезирующей клетки [3].

Целью настоящего исследования явилась сезонная количественная оценка параметров накопления фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* и выявление на биохимическом уровне адаптивных механизмов интродуцента в условиях дендрария Горнотаежной станции.

Объектом исследования явились хвойные породы в возрасте 45–50 лет дендрария Горнотаежной станции ДВО РАН (Уссурийский район, Приморский край). Сезонную динамику со-

держания фотосинтетических пигментов в хвое изучали в паре «дальневосточный вид – интродуцент», соответственно ель корейская (*Picea koraiensis* Nakai) – ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) Karst.).

Picea koraiensis распространена по всему Приморскому краю и в южных районах Хабаровского края, южнее 49° с. ш. Ареал *Picea abies* на территории России простирается от западных границ до Урала.

Количество хлорофиллов *a*, *b* и сумму каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом с использованием методических разработок [4]. Образцы хвои второго года вегетации с постоянной навеской 0,2 г отбирали в трехкратной повторности в период с мая по март. Далее в лабораторных условиях получали вытяжку пигментов в ацетоне. Экстракты пигментов фильтровались вакуумным способом. Оптические плотности пигментных вытяжек определяли с помощью однолучевого автоматизированного спектрофотометра СФ-56 (ЛОМО) по центрам поглощения: для хлорофиллов *a* и *b* – 644 и 662 нм, для каротиноидов – 440,5 нм.

Основой расчета концентрации пигментов хлоропластов служили формулы Веттштейна для 100% -ного ацетона:

$$C_a = 9,78 \times D_{662} - 0,99 \times D_{664},$$

$$C_b = 21,42 \times D_{664} - 4,65 \times D_{662},$$

$$C_{a+b} = 5,13 \times D_{662} + 20,43 \times D_{664},$$

$$C_{кар} = 4,69 \times D_{440,5} - 0,268 (C_{a+b}),$$

где *C* – концентрация хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в 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 в мг на 1 г сырой навески, *C* – концентрация пигмента в мг/л

(после расчета по формулам 1, 2, 3, 4), V – объем вытяжки пигмента (мл), P – навеска хвои (г).

Пигментный состав считается одним из наиболее информативных показателей, харак-

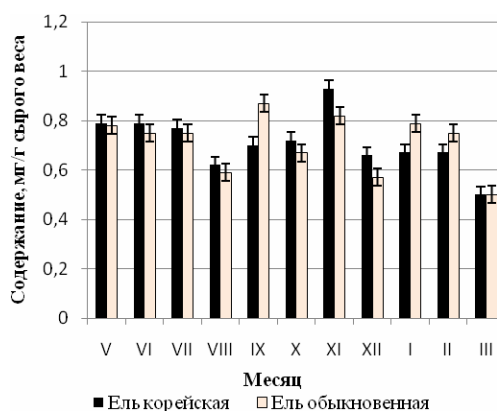


Рисунок 1. Сезонная динамика содержания хлорофилла *a* в двухлетней хвое ели корейской и ели обыкновенной

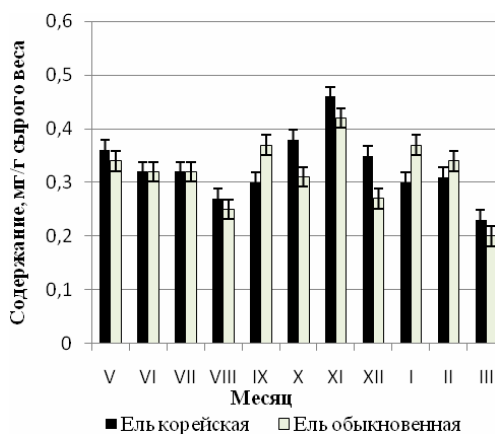


Рисунок 2. Сезонная динамика содержания хлорофилла *b* в двухлетней хвое ели корейской и ели обыкновенной

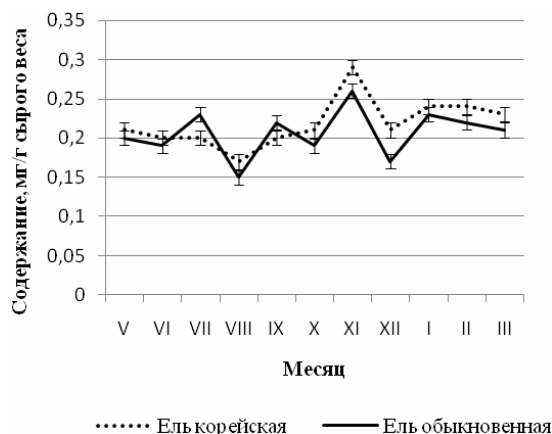


Рисунок 3. Сезонная динамика содержания каротиноидов в двухлетней хвое ели корейской и ели обыкновенной

теризующих состояние фотосинтетического аппарата хвойных растений [5].

В то же время содержание пигментов в течение периода вегетации является довольно динамичным показателем, что отмечалось многими авторами [6].

В качестве одного из показателей работы фотосинтетического аппарата исследовали сезонную динамику содержания различных форм хлорофилла и каротиноидов в двухлетней хвое интродукта и местного вида.

Согласно полученным данным, максимум накопления хлорофилла *a* у ели корейской был отмечен в ноябре (0,93 мг/г сырого веса), у ели обыкновенной зафиксированы два скачка нарастания «главного» хлорофилла – в сентябре (0,87 мг/г) и ноябре (0,82 мг/г). Как видно из рис. 1, для двух видов наблюдалась общая тенденция накопления данного пигмента в весенне-летние месяцы и его снижение в зимне-ранневесенний период года.

Содержание хлорофилла *b* в хвое исследованных пород также подвержено сезонным изменениям (рис. 2).

Как следует из представленных материалов, динамика накопления хлорофилла *b* мало отличается от накопления хлорофилла *a*. Процесс накопления хлорофилла *b* у двух изучаемых видов начинается в мае (0,36 мг/г у ели корейской и 0,34 мг/г у ели обыкновенной), в летние месяцы мы наблюдали сравнительно низкую их концентрацию в хвое, а максимальные значения зафиксированы в ноябре (0,46 мг/г и 0,42 мг/г соответственно).

Снижение содержания зеленых пигментов в конце весны – начале лета связано с началом роста хвои. К осени, когда ростовые процессы у ели замедляются, концентрация пигментов в хвое увеличивается. Именно этим фактом можно объяснить максимальные значения в ноябре. С началом зимы, когда устанавливается отрицательный температурный режим, в хвое голосеменных хлоропласты группируются у клеточных стенок и около ядра, синтез пигментов в это время сводится к минимуму.

Обязательным компонентом пигментной системы растений являются каротиноиды. Исследование количественного содержания каротиноидов в хвое интродукта и местного вида показало, что это довольно динамичный показатель (рис. 3).

Таблица 1. Сезонная динамика содержания пигментов (мг/г сырого веса) и их соотношение в хвое ели корейской (над чертой) и ели обыкновенной (под чертой)

Время сбора образцов	Содержание				Отношение	
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	Сумма пигментов	<i>a+b</i> /каротиноиды	<i>a/b</i>
Весна	0,65±0,20	0,29±0,07	0,22±0,01	1,16±0,23	4,27	2,24
	0,64±0,20	0,27±0,09	0,20±0,01	1,11±0,28	4,55	2,37
Лето	0,73±0,09	0,30±0,03	0,19±0,02	1,22±0,29	5,42	2,43
	0,70±0,09	0,30±0,04	0,19±0,04	1,19±0,17	5,26	2,33
Осень	0,78±0,13	0,38±0,08	0,23±0,05	1,39±0,28	5,04	2,05
	0,79±0,10	0,37±0,06	0,22±0,04	1,38±0,18	5,27	2,14
Зима	0,67±0,01	0,32±0,03	0,23±0,02	1,22±0,23	4,30	2,09
	0,70±0,12	0,33±0,05	0,21±0,03	1,24±0,20	4,90	2,12

Как видно на графике, с мая по октябрь у местного вида ели происходит постепенное нарастание количества каротиноидов с максимумом накопления в ноябре (0,29 мг/г). В зимний период пигментный аппарат ели корейской характеризуется более высокими показателями содержания желтых пигментов, чем в весенне-летний период (табл. 1). В отличие от ели корейской график содержания каротиноидов у интродуцента имеет вид многовершинной кривой.

Для данного вида также наблюдается основной максимум в ноябре (0,26 мг/г) и аналогичное повышение величин в холодное время года.

Это обусловлено тем, что в зимнее время каротиноиды выполняют защитную функцию – сохраняют хлорофиллы от избытка солнечной радиации.

Исследования показали, что содержание каротиноидов у местного вида – ели корейской составляет 0,22 мг/г сырого веса, у интродуцента он равен 0,21 мг/г. Близость количественного соотношения каротиноидов и хлорофиллов у двух видов ели свидетельствует в пользу мнения об адаптационной сбалансированности фотосинтетического аппарата к определенному режиму световой энергии разной длины волн [7]. Согласно полученным данным, наиболее высоким содержанием хлорофиллов и каротиноидов в течение года характеризовалась хвоя дальневосточного вида (1,25 мг/г), в то время как у интродуцента этот показатель был равен 1,23 мг/г.

Близость количественных характеристик и сезонные закономерности накопления пигментов для двух хвойных хорошо прослеживаются на рис. 4. Так наиболее стабильно фонд пигментов пополнялся с мая по июль и с сентября по ноябрь, как у местного, так и у интродуцированного вида. Снижение количества пигментов в зимний пери-

од связано со структурно-функциональной перестройкой, наблюдаемой в клетках мезофилла хвойных при их подготовке к периоду покоя. С наступлением осени в клетках хлоренхимы происходит исчезновение крахмальных зерен, изменение формы, размеров и месторасположения зеленых пластид, которые перемещаются к центральной части клетки и группируются вокруг ядра, что снижает поглощение световой энергии [8].

О степени сформированности фотосинтетического аппарата судят по отношению хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (*a/b*). Это отношение связано с активностью «главного» хлорофилла *a*, чем оно больше, тем интенсивнее фотосинтез. В норме этот показатель должен соответствовать 2,2–3,0. В двухлетней хвое местного вида это отношение варьировало от 1,89 (декабрь) до 2,47 (июнь). У интродуцента оно изменялось в пределах от 1,95 (ноябрь) до 2,50 (март). Среднее отношение хлорофиллов (*a/b*) у ели обыкновенной больше, чем у ели корейской. Можно предполагать, что интродуцированный вид прошел успешную адаптацию к природным условиям дендрария Горнотаежной станции.

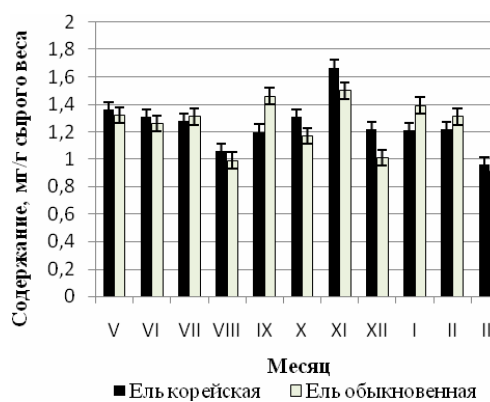


Рисунок 4. Суммарное содержание пигментов в двухлетней хвое ели корейской и ели обыкновенной

Отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам ($a+b$ /каротиноиды) играет не менее важную роль при характеристике работы фотосинтетического аппарата. Это соотношение в норме стабильно и очень чутко реагирует на изменения различных факторов среды. В целом приведенные данные (табл.) указывают, что с наступлением зимы (конец ноября - декабрь) у двух видов отмечали тенденцию к уменьшению соотношения ($a+b$ /каротиноиды), что свидетельствует о снижении светособирающей функции пигментного комплекса под воздействием неблагоприятных температурных условий зимы. Возрастание в холодный период года относительного содержания каротиноидов отражает устойчивость желтых пигментов к повреждающим условиям среды и их защитную функцию [9].

В целом общее количество пигментов в двухлетней хвое ели корейской, произрастающей в естественных для нее условиях, изменяется в течение вегетации в пределах 0,96–1,67 мг/г сырого веса и зависит от фазы годичного цикла, погодных условий сезона, влагообеспеченности и других факторов. Количество фотосинтетических пигментов в хвое ели обыкновенной в условиях дендрария колеблется от 0,91 до 1,50 мг/г сырого веса. В целом по общему количеству пигментов ель обыкновенная (1,23 мг/г) несколько уступает местной породе (1,25 мг/г).

Таким образом, с точки зрения пигментных показателей ель обыкновенная прошла успешную адаптацию (в течение 45 лет) в условиях дендрария Горнотаежной станции, а по уровню активности фотосинтетического аппарата приближается к ели корейской.

14.05.2010 г.

Список литературы:

1. Розно, С.А. Эколого-биологический анализ итогов интродукции древесных растений в лесостепи Среднего Поволжья: Автореферат дисс. ... кандидата биол. наук / С.А. Розно. – Самара, 2005. – 20 с.
2. Базилевская, Н.А. Теории и методы интродукции растений / Н.А. Базилевская – М.: Изд-во Московского ун-та, 1964. – 131 с.
3. Тужилкина, В.В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение / В.В. Тужилкина // Экология. – 2009. №4. – С. 243-248.
4. Шлык, А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А.А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука, 1971. – С. 154-170.
5. Степень, Р.А. Влияние аэрогенного загрязнения на пигментную систему ассимиляционного аппарата ели сибирской / Р.А. Степень, О.А. Есякова // Лесной журнал. – 2010. №1. – С. 43-47.
6. Николаевский, В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В.С. Николаевский. – М.: МГУЛ, 1998. – 130 с.
7. Чернышев, В.Д. Динамика показателей пигментов хлоропластов дальневосточных и интродуцируемых хвойных дендрария Горнотаежной станции / В.Д. Чернышев, Е.Г. Вернигора, М.С. Титова // Биологические исследования на Горнотаежной станции. Сб. науч. тр. Вып. 9. – Владивосток: Дальнаука, 2004. – С. 106-114.
8. Ладанова, Н.В. Структурная организация и фотосинтетическая активность хвои ели сибирской / Н.В. Ладанова, В.В. Тужилкина. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1992. – 97 с.
9. Яцко, Я.Н. Пигментный аппарат вечнозеленых растений на Севере: автореф. дисс. ... канд. биол. наук / Я.Н. Яцко. – Санкт-Петербург, 2010. – 23 с.

Сведения об авторе:

Титова М.С., старший научный сотрудник лаборатории физиологии и селекции лесных растений Горнотаежной станции им. В.Л. Комарова, кандидат биологических наук
692533, Приморский край, Уссурийский район, с. Горнотаежное, ул. Солнечная, 26
тел. (4234) 391119, e-mail: gtsuss@mail.ru

Titova M.S.

Content of photosynthetic pigments in needles of *Picea Abies* and *Picea Koraiensis*

The author presents the results of research of content of photosynthetic pigments (chlorophyll a, b and carotenoids) in two-year needles of introducent common spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Far-Eastern type – Korean spruce (*Picea koraiensis* Nakai), growing in arboretum of mountain- taiga station of DVO RAS.

Key words: needles, pigments, introducent, chlorophyll, carotenoids.