

Научная статья

УДК 635.92:632.937.31:582.477.2

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-3-63-77

Пигментный состав хвои биоты восточной (*Platycladus orientalis* (L.) Franco) при интродукции в условиях России и Казахстана

Н.Н. Бессчетнова¹, д-р с.-х. наук; ResearcherID: [H-1343-2019](https://orcid.org/0000-0002-7140-8797),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7140-8797>

В.П. Бессчетнов^{1✉}, д-р биол. наук; ResearcherID: [S-5889-2016](https://orcid.org/0000-0001-5024-7464),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5024-7464>

Б.А. Кентбаева², д-р биол. наук; ResearcherID: [G-8228-2019](https://orcid.org/0000-0003-0969-9754),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0969-9754>

Е.Ж. Кентбаев², д-р с.-х. наук; ResearcherID: [G-7677-2019](https://orcid.org/0000-0002-3308-1287),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3308-1287>

Н.А. Бабич³, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [G-7384-2019](https://orcid.org/0000-0001-7463-2519),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7463-2519>

¹Нижегородский государственный агротехнологический университет, д. 97, просп. Гагарина, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; besschetnova1966@mail.ru, lesfak@bk.ru✉

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, просп. Абая, д. 8, г. Алматы, Республика Казахстан, 050050; kentbayeva@mail.ru, kentbayev@mail.ru

³Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; forest@narfu.ru

Поступила в редакцию 10.11.23 / Одобрена после рецензирования 03.02.24 / Принята к печати 06.02.24

Аннотация. Изучен пигментный состав листового аппарата биоты восточной (*Platycladus orientalis* (L.) Franco) при интродукции на территорию Российской Федерации (Нижегородская область) и Республики Казахстан (Алматинская область). Актуальность работы обусловлена потребностью в совершенствовании ассортимента городских зеленых насаждений. Биота восточная весьма востребована в данном контексте. Объектом исследования служили ее одновозрастные особи семенного происхождения, высаженные на участках с координатами 56°14'30" с. ш. 43°57'16" в. д. (Россия) и 43°14'31" с. ш. 76°57'7" в. д. (Казахстан), таким образом разница по географической широте составила 12°59'59", по долготе – 33°0'51". Предметом исследования выступала территориальная изменчивость содержания и соотношения пластидных пигментов 1-летней хвои, одновременно отобранной в указанных локациях. В работе использован спектрофотометрический метод. Установили реакцию пигментного состава хвои на изменения условий произрастания интродуцентов на территориально разобщенных участках. Содержание хлорофиллов неодинаково и в казахстанской локации выше, чем в российской. Концентрация каротиноидов различалась в меньшей степени и в казахстанской локации (0,30±0,016 мг/г) оказалась ниже, чем в российской (0,34±0,006 мг/г). Однофакторный дисперсионный анализ выявил существенную разницу в пигментном составе хвои особей биоты. Коэффициент наследуемости на казахстанском участке составил от 32,50±13,50 % по содержанию каротиноидов до 69,30±6,14 % по доле хлорофилла-*b* в общем пигментном составе; на российском – от 40,64±11,87 % по содержанию каротиноидов до 79,59±4,08 % по отношению содержания каротиноидов к суммарному содержанию хлорофиллов. Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил стати-

© Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кентбаева Б.А., Кентбаев Е.Ж., Бабич Н.А., 2025

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

стическую значимость дифференцирующего влияния различий в лесорастительных условиях мест расселения интродуцентов на формирование общего фона фенотипической дисперсии показателей пигментного состава их хвои. Наибольшие оценки указанного эффекта ($85,25 \pm 0,37$ %) достигнуты по доле хлорофилла-*b* в пигментном составе, наименьшие ($9,19 \pm 2,27$ %) – по содержанию каротиноидов. Влияние индивидуальной изменчивости особей на каждом из участков меньше, а ее оценки чаще не получали статистического подтверждения: от $4,61 \pm 9,54$ % (доля хлорофилла-*a* в общем пигментном составе) до $27,83 \pm 7,22$ % (содержание хлорофилла-*a*). Изменения условий местопроизрастания особей биоты, связанные с размещением на разных участках, вызвали снижение концентрации хлорофиллов и повышение содержания каротиноидов в их хвое на российской локации.

Ключевые слова: биота восточная, интродукция, хвоя, пигментный состав, хлорофилл-*a*, хлорофилл-*b*, каротиноиды, дисперсионный анализ

Для цитирования: Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кентбаева Б.А., Кентбаев Е.Ж., Бабич Н.А. Пигментный состав хвои биоты восточной (*Platycladus orientalis* (L.) Franco) при интродукции в условиях России и Казахстана // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 3. С. 63–77. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-3-63-77>

Original article

The Pigment Composition of the Needles of *Platycladus orientalis* (L.) Franco during its Introduction in the Conditions of Russia and Kazakhstan

Natalia N. Besschetnova¹, Doctor of Agriculture; ResearcherID: [H-1343-2019](https://orcid.org/0000-0002-7140-8797),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7140-8797>

Vladimir P. Besschetnov², Doctor of Biology; ResearcherID: [S-5889-2016](https://orcid.org/0000-0001-5024-7464),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5024-7464>

Botagoz A. Kentbaeva², Doctor of Biology; ResearcherID: [G-8228-2019](https://orcid.org/0000-0003-0969-9754),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0969-9754>

Erzhan J. Kentbaev², Doctor of Agriculture; ResearcherID: [G-7677-2019](https://orcid.org/0000-0002-3308-1287),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3308-1287>

Nikolay A. Babich³, Doctor of Agriculture; ResearcherID: [G-7384-2019](https://orcid.org/0000-0001-7463-2519),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7463-2519>

¹Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, prosp. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; besschetnova1966@mail.ru, lesfak@bk.ru

²Kazakh National Agrarian Research University, prosp. Abaya, 8, Almaty, 050050, Republic of Kazakhstan; kentbayeva@mail.ru, kentbayev@mail.ru

³Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; forest@narfu.ru

Received on November 10, 2023 / Approved after reviewing on February 3, 2024 / Accepted on February 6, 2024

Abstract. The pigment composition of the leaf apparatus of the *Platycladus orientalis* (L.) Franco has been studied during its introduction to the territory of the Russian Federation (the Nizhny Novgorod Region) and the Republic of Kazakhstan (the Almaty Region). The relevance of the work is determined by the need to improve the range of urban green spaces. *Platycladus orientalis* (L.) Franco is in high demand in this context. The object of the study has



This is an open access article distributed under the CC BY 4.0 license

been its same-aged individuals of seed origin, planted in areas with coordinates 56°14'30" N 43°57'16" E (Russia) and 43°14'31" N, 76°57'7" E (Kazakhstan), thus the difference in geographical latitude has been 12°59'59" N, and in longitude – 33°0'51" E. The subject of the study has been the territorial variability of the content and ratio of plastid pigments of 1-year-old needles simultaneously sampled in the specified locations. The spectrophotometric method has been used in the work. The reaction of the pigment composition of the needles to changes in the growth conditions of introduced species in geographically separated areas has been established. The chlorophyll content varies and is higher in the Kazakh location than in the Russian one. The concentration of carotenoids has varied to a lesser extent, and in the Kazakh location (0.30 ± 0.016 mg/g) it has been lower than in the Russian one (0.34 ± 0.006 mg/g). One-way ANOVA has revealed a significant difference in the pigment composition of the needles of biota individuals. The coefficient of heritability in the Kazakh site has ranged from 32.50 ± 13.50 % for the carotenoid content to 69.30 ± 6.14 % for the proportion of chlorophyll-*b* in the total pigment composition; in the Russian site – from 40.64 ± 11.87 % for the carotenoid content to 79.59 ± 4.08 % for the ratio of the carotenoid content to the total chlorophyll content. Two-way ANOVA has confirmed the statistical significance of the differentiating effect of differences in forest growth conditions of the sites of settlement of introduced species on the formation of the general background of phenotypic dispersion of the pigment composition of their needles. The highest estimates of the indicated effect (85.25 ± 0.37 %) have been achieved for the proportion of chlorophyll-*b* in the pigment composition, the lowest (9.19 ± 2.27 %) – for the content of carotenoids. The influence of individual variability of individuals in each of the sites is less, and its estimates have more often not been statistically confirmed: from 4.61 ± 9.54 % (the proportion of chlorophyll-*a* in the total pigment composition) to 27.83 ± 7.22 % (the content of chlorophyll-*a*). Changes in the growth conditions of biota individuals associated with their placement in different areas have caused a decrease in the concentration of chlorophylls and an increase in the content of carotenoids in their needles in the Russian location.

Keywords: *Platycladus orientalis* (L.) Franco, introduction, needles, pigment composition, chlorophyll-*a*, chlorophyll-*b*, carotenoids, analysis of variance

For citation: Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbaeva B.A., Kentbaev E.J., Babich N.A. The Pigment Composition of the Needles of *Platycladus orientalis* (L.) Franco during its Introduction in the Conditions of Russia and Kazakhstan. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 3, pp. 63–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-3-63-77>

Введение

Потребность в оптимизации напряженной экологической обстановки в границах урбанизированных территорий, параметры которой часто заметно отклоняются от норм комфортности, не ослабевает. В настоящее время проблема приобрела глобальный характер, затронула многие государства на постсоветском пространстве, включая Российскую Федерацию и Республику Казахстан. В арсенале средств борьбы с негативными последствиями проявления данной проблемы неизменно присутствует постепенная интеграция объектов и систем озеленения в элементы городских ландшафтов. Расширение и совершенствование ассортимента создаваемых при этом искусственных насаждений во многом предопределяет повышение их продуктивности, устойчивости и долговечности, а также обуславливает возможность наиболее полного достижения целей использования таких насаждений. Нередко для этого требуется активное привлечение видов инорайонной дендрофлоры, способных эффективно выполнять свои санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции в лесорастительных условиях но-

вых мест расселения [4, 5, 8]. В данный список с полным основанием можно включить биоту восточную (*Platyclusus orientalis* (L.) Franco), природный ареал которой охватывает территорию Китая и Южной Кореи [18, 30, 36, 37]. Здесь она приурочена к горным местностям и предгорьям [24, 30, 32, 33], используется в плантационном [19, 24, 35, 37] и лесном [20, 26] хозяйстве, паркостроении и озеленении населенных мест [12, 13, 15]. Заметное утилитарное значение обуславливает ее многоплановое изучение [15, 17], включая географическую изменчивость и селекцию [15, 17, 25]. В систематическом плане это растение относится к монотипному роду семейства Кипарисовые (Cupressaceae Gray) и габитуально представляет собой дерево или крупный кустарник [12, 18, 36]. В странах СНГ и Евразийского экономического союза является интродуцентом [7]. Обширный перечень вопросов, связанных с практическим применением вида в указанном регионе, пока еще освещен в научной литературе недостаточно. Одной из причин, сдерживающих широкое распространение здесь данного экзота, является отсутствие достаточного объема сведений об особенностях его физиологии и других биологических аспектах, определяющих резистентность, адаптированность, репродуктивный потенциал и прочие характеристики растений.

Цель исследования – установить пигментный состав хвои биоты восточной при ее интродукции в Нижегородскую (Россия) и Алматинскую (Казахстан) области.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования служили одновозрастные (биологический возраст – 7 лет) особи биоты восточной семенного происхождения. Они были одновременно высажены в интродукционно-коллекционные участки Нижегородского государственного агротехнологического университета (Россия) и Казахского национального аграрного исследовательского университета (Казахстан). Их координаты 56°14'30" с. ш. 43°57'16" в. д. и 43°14'31" с. ш. 76°57'7" в. д., а абсолютная высота – 141 и 872 м над ур. м. соответственно. Такое географическое позиционирование сформировало вектор территориального перемещения в 12°59'59" с. ш. 33°0'51" в. д. и интервал высот в 731 м. Предметом исследования выступала географическая изменчивость содержания и соотношения пластидных пигментов в 1-летней хвое, одновременно отобранной в каждой из указанных локаций.

Методологический подход, принятый в работе, обеспечил соблюдение принципа единственного логического различия, согласно которому для каждого из опытных участков определены единые схемы рендомизированного расположения растений, одинаковая агротехника их выращивания, однотипный исходный материал (2-летние сеянцы). Для устранения возможного влияния разных экологических факторов сравнение расположенных на отдельном опытном участке объектов осуществлялось только в пределах его границ при выровненном микрорельефе и гомогенизированных почвенных характеристиках. В целях элиминации воздействия фактора времени, вызывающего возникновение хронографической изменчивости, все побеги для последующих лабораторных исследований отбирали одновременно (25 ноября 2023 г.) с участков на территории Республики Казахстан и Российской Федерации. Таким методиче-

ским приемом обеспечивалось одинаковое физиологическое состояние побегов, которое на момент учета фиксировалось в фазе перехода к зимнему покою. Отбор биологических образцов осуществляли из периферии среднего яруса хорошо освещенной части кроны. При этом в формируемую выборку не включали приросты, поврежденные вследствие воздействия биотических или абиотических факторов, или с отклонениями от нормального развития. На опытных участках (варианты опыта) обследовано по 5 типичных растений (повторности). С каждого из них отобрано по 5 побегов, послуживших источниками хвои для лабораторного анализа. Полученный биоматериал изучали по широкому спектру характеристик пигментного состава листового аппарата растений (табл. 1).

Таблица 1

Показатели пигментного состава хвои саженцев биоты восточной
The indicators of the pigment composition of the needles
of *Platycladus orientalis* (L.) Franco seedlings

Категория показателей	Признак	Условное обозначение
Оценки раздельного содержания пластидных пигментов	Содержание хлорофилла- <i>a</i>	Признак 1
	Содержание хлорофилла- <i>b</i>	Признак 2
	Содержание недифференцированных каротиноидов	Признак 3
Оценки суммарного содержания пигментов	Сумма содержания хлорофилла- <i>a</i> и хлорофилла- <i>b</i>	Признак 4
	Суммарное содержание пластидных пигментов	Признак 5
Показатели соотношения в содержании пластидных пигментов	Отношение содержания хлорофилла- <i>a</i> к содержанию хлорофилла- <i>b</i>	Признак 6
	Отношение содержания хлорофилла- <i>a</i> к содержанию недифференцированных каротиноидов	Признак 7
	Отношение содержания хлорофилла- <i>b</i> к содержанию недифференцированных каротиноидов	Признак 8
	Отношение содержания каротиноидов к суммарному содержанию хлорофилла- <i>a</i> и хлорофилла- <i>b</i>	Признак 9
Доля пластидных пигментов в их общем составе	Доля хлорофилла- <i>a</i> в общем пигментном составе	Признак 10
	Доля хлорофилла- <i>b</i> в общем пигментном составе	Признак 11
	Доля каротиноидов в общем пигментном составе	Признак 12

Теоретическая платформа анализа пигментного комплекса хвои была представлена классическими работами [21–23, 27–29, 31, 34]. Инструментом исследования служил спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4. С его помощью фиксировали максимумы поглощения хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b* и каротиноидов, для чего выбирали длины волн 665, 649 и 452,5 нм соответственно. Учитывая возможность смещения указанных максимумов под влиянием оптических свойств используемого экстрагента [10, 11, 22, 27], параллельно сканировали его тест-контроль-

ный образец. Концентрацию указанных веществ сырой массы хвои вычисляли по уравнениям Ветштейна и Хольма для 96%-го этанола [21, 22, 27, 34]. Массу рабочей навески устанавливали на аналитических весах Acculab Vison VIC-300d3 с точностью до 0,001 г. Такая же навеска готовилась по каждому образцу для определения в ней доли абсолютно сухого вещества после высушивания в шкафах HS 61 А. Первичная единица выборки представлена разовым учетом каждого из анализируемых показателей по вариантам и повторностям опыта. Их число по отдельному признаку составило 50 ед.; всего в базе данных – 600 ед. Наряду с информацией о непосредственном содержании пластидных пигментов использовали расчетные значения, что широко принято в лесоводственных [2, 9, 16, 32] и биологических [6, 14] исследованиях, в т. ч. при изучении пигментного состава фотосинтезирующего аппарата [1, 3, 21, 28]. Статистический и дисперсионный анализ выполнены по общепринятым методическим схемам.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследованные особи биоты восточной с разных опытных участков проявили заметную фенотипическую неоднородность в содержании и соотношении фотосинтетических пигментов. Такая ситуация зафиксирована по всем анализируемым признакам как в географическом масштабе между сравниваемыми локациями (Казахстан и Россия), так и на уровне индивидуальной изменчивости в пределах каждой из них. Как можно видеть на рис. 1, содержание хлорофилла-а в хвое биоты восточной на разных участках неодинаково, и на момент учета обобщенные оценки казахстанской локации ($Total_1 = 0,88 \pm 0,012$ мг/г) были несколько выше, чем в российской ($Total_2 = 0,81 \pm 0,019$ мг/г). Такое соотношение создало превышение первой над второй в 1,08 раза, или на 0,063 мг/г. При том, что по величине диапазоны лимитов рассматриваемого показателя ($\Delta_{lim} = \max - \min$) различались незначительно – 0,32 мг/г (казахстанская локация) и 0,38 мг/г (российская), – по границам они заметно не совпадали: 0,79...1,12 мг/г в первом случае и 0,64...1,02 мг/г – во втором. Обобщенное по 2 участкам значение ($Total_0$) составило $0,85 \pm 0,012$ мг/г.

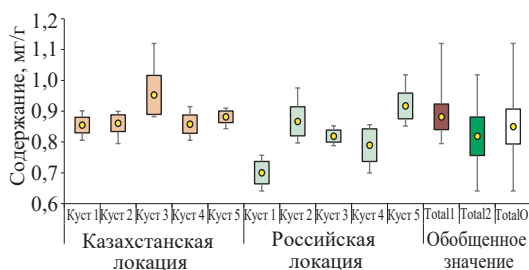
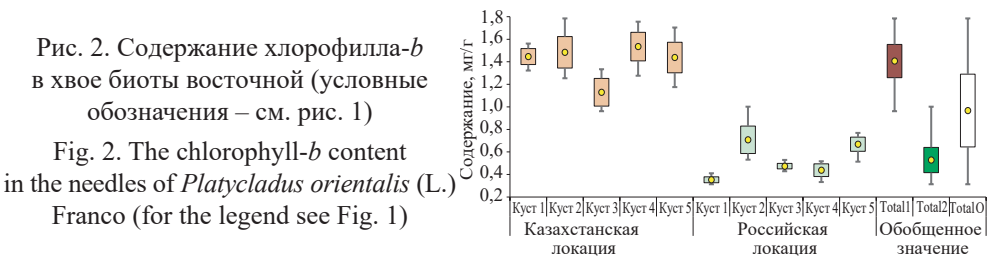


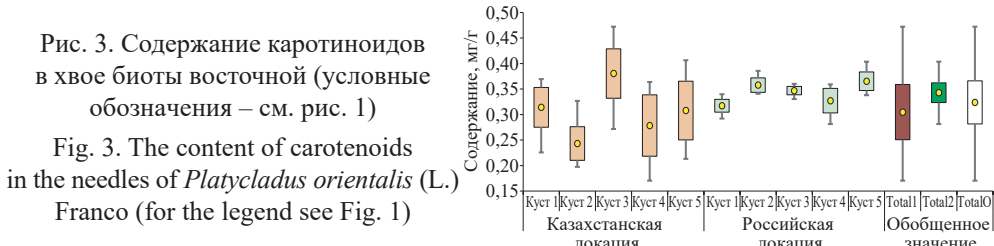
Рис. 1. Содержание хлорофилла-а в хвое биоты восточной (точками обозначены средние значения, «коробками» – границы нормы, «усами» – лимиты)

Fig. 1. The chlorophyll-a content in the needles of *Platycladus orientalis* (L.) Franco (the dots indicate the average values, the “boxes” – the limits of the norm, the “whiskers” – the limits)

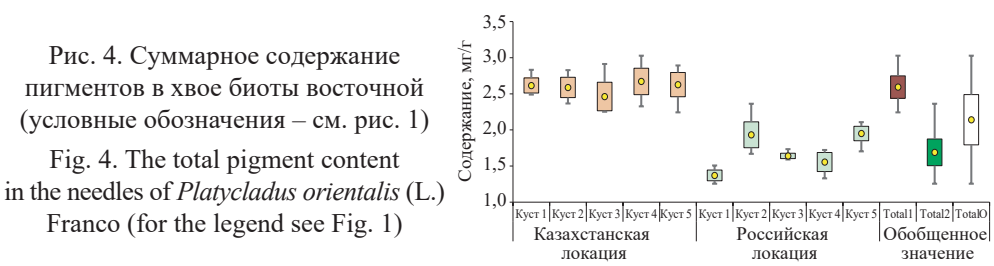
Не менее значимая характеристика пигментного состава – содержание хлорофилла-*b* – также подвержена изменчивости (рис. 2). Ее обобщенные значения на казахстанском и российском опытных участках соответственно составили: $1,410 \pm 0,044$ и $0,528 \pm 0,034$ мг/г. Можно отметить различия между ними в 2,66 раза, или на 0,878 мг/г, что больше по сравнению с различиями в содержании хлорофилла-а. Соотношения лимитов изменились столь же значительно. Диапазоны достигли уровня 0,82 и 0,69 мг/г, заметно различаясь по величине и в еще большей мере – по границам: 0,96...1,78 и 0,31...1,00 соответственно.



Концентрация каротиноидов в хвое биоты восточной (рис. 3) различалась в меньшей степени, чем показатели хлорофилла. Кроме того, обобщенные средние значения для казахстанской локации ($0,30\pm0,016$ мг/г) в данном случае были несколько ниже по сравнению с российской ($0,34\pm0,006$ мг/г). Их сопоставление обнаружило разницу в 1,12 раза, или на 0,019 мг/г. Иначе вели себя и показатели изменчивости: характеристики российской опытной группы в оценках по среднеквадратическому отклонению и лимитам выглядели более стабильно. Так, абсолютный диапазон казахстанской группы учетных растений ($\Delta_{lim1} = 0,302$ мг/г) в 2,47 раза, или на 0,180 мг/г, превосходил аналогичный показатель российской группы ($\Delta_{lim2} = 0,122$ мг/г).



Наиболее информативным параметром в силу своего интегрального характера выступало суммарное содержание пластидных пигментов в тканях 1-летней хвои исследуемых растений (рис. 4). Различия в средних значениях данного параметра оказались наиболее контрастными, и в казахстанской локации ($2,59\pm0,047$ мг/г) они были в 1,53 раза, или на 0,903 мг/г выше, чем в российской ($1,69\pm0,055$ мг/г). При этом указанные статистики в первом случае более стабильны по сравнению со вторым. Разброс их лимитов ($\Delta_{lim1} = 0,785$ мг/г и $\Delta_{lim2} = 1,107$ мг/г) в полной мере отражал указанную тенденцию: в казахстанской части опыта зафиксирована величина меньше в 1,41 раза, или на 0,322 мг/г.



По остальным характеристикам пигментного состава, таким как отношение или доля содержания, сформировались свойственные им картины распределения и соотношения основных описательных статистик. Поскольку все отмеченные различия между особями возникли на фоне выровненных на каждом опытном участке условий местопроизрастания, то можно признать, что они в

той или иной мере обусловлены наследственными причинами, связанными с особенностями генотипов исследуемых растений. Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил это предположение (табл. 2).

Таблица 2

Существенность различий между особями биоты восточной по содержанию и балансу пластидных пигментов в казахстанской и российской локациях опыта
The significance of differences between the individuals of *Platycladus orientalis* (L.) Franco in terms of the content and balance of plastid pigments in the Kazakh and Russian experimental locations

Признак	Критерий Фишера F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ± s _h ²)						Критерии различий HCP ₀₅ D ₀₅	
		по Плохинскому			по Снедекору				
		h ²	± s _h ²	F _h ²	h ²	± s _h ²	F _h ²		
Казахстанская локация									
Признак 1	2,84	0,3620	0,1276	2,838	0,2687	0,1463	1,838	0,071	0,103
Признак 2	3,82	0,4331	0,1134	3,820	0,3606	0,1279	2,820	0,238	0,343
Признак 3	2,41	0,3250	0,1350	2,407	0,2196	0,1561	1,407	0,095	0,137
Признак 4	1,87	0,2724	0,1455	1,872	0,1484	0,1703	0,872	0,256	0,369
Признак 5	0,52	0,0950	0,1810	0,525	−0,1050	0,2210	−0,475	0,317	0,456
Признак 6	9,34	0,6513	0,0697	9,338	0,6251	0,0750	8,338	0,114	0,164
Признак 7	1,48	0,2286	0,1543	1,481	0,0878	0,1824	0,481	1,030	1,482
Признак 8	5,20	0,5098	0,0980	5,199	0,4565	0,1087	4,199	1,614	2,322
Признак 9	5,85	0,5392	0,0922	5,850	0,4924	0,1015	4,850	0,036	0,052
Признак 10	4,00	0,4443	0,1111	3,998	0,3748	0,1250	2,998	0,039	0,056
Признак 11	11,28	0,6930	0,0614	11,284	0,6729	0,0654	10,284	0,042	0,060
Признак 12	5,56	0,5266	0,0947	5,563	0,4771	0,1046	4,563	0,029	0,041
Российская локация									
Признак 1	8,77	0,6370	0,0726	8,772	0,6085	0,0783	7,772	0,081	0,116
Признак 2	11,29	0,6930	0,0614	11,286	0,6729	0,0654	10,286	0,133	0,191
Признак 3	3,42	0,4064	0,1187	3,423	0,3264	0,1347	2,423	0,032	0,046
Признак 4	11,37	0,6946	0,0611	11,372	0,6747	0,0651	10,372	0,199	0,287
Признак 5	10,50	0,6774	0,0645	10,500	0,6552	0,0690	9,500	0,225	0,324
Признак 6	15,71	0,7585	0,0483	15,705	0,7463	0,0507	14,705	0,224	0,322
Признак 7	10,35	0,6742	0,0652	10,347	0,6515	0,0697	9,347	0,102	0,147
Признак 8	12,17	0,7089	0,0582	12,174	0,6909	0,0618	11,174	0,303	0,436
Признак 9	19,50	0,7959	0,0408	19,501	0,7872	0,0426	18,501	0,020	0,029
Признак 10	10,39	0,6750	0,0650	10,386	0,6524	0,0695	9,386	0,024	0,034
Признак 11	14,09	0,7381	0,0524	14,088	0,7236	0,0553	13,088	0,034	0,049
Признак 12	18,39	0,7862	0,0428	18,389	0,7767	0,0447	17,389	0,013	0,019

Примечание: $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера; $h^2 \pm sh^2$ – доля влияния организованного фактора с ошибкой; F_h^2 – критерий Фишера в оценке достоверности доли влияния организованного фактора; HCP_{05} – наименьшая существенная разность на 5%-м уровне значимости; D_{05} – критерий Тьюки на 5%-м уровне значимости. Табличное значение критерия Фишера на 5%-м (F_{05}) и 1%-м (F_{01}) уровнях значимости – 1,88 и 2,41 соответственно.

Для подавляющего большинства признаков (9 из 12 в казахстанской локации и все – в российской) расчетом критерия Фишера установлены существенные различия между особями. Он превысил минимально допустимые для принятого в опыте числа степеней свободы как на 5%-м, так и на 1%-м уровнях значимости. При этом на участке казахстанской локации оценки составили от

2,41 (признак 3) до 11,28 (признак 11), а на российской – от 3,42 (признак 3) до 19,50 (признак 9). Такой итог 1-го этапа дисперсионного анализа позволил опровергнуть его нулевую гипотезу об отсутствии статистически значимых различий между особями биоты восточной, имеющими семенное происхождение, что стало основанием для оценок доли влияния организованного фактора на формирование фенотипической дисперсии. В частности, для казахстанской локации расчеты по алгоритму Плохинского показали, что в вариантах с подтвержденной значимостью различий эффект, вызванный эндогенной спецификой пигментного состава хвои особей семенного происхождения, заметен и достигал от $32,50 \pm 13,50\%$ ($F_h^2 = 2,407$) по содержанию каротиноидов до $69,30 \pm 6,14\%$ ($F_h^2 = 11,284$) по доле хлорофилла-*b* в общем пигментном составе.

В российской локации эксперимента сложилась несколько иная ситуация. Здесь влияние организованного фактора на формирование общего фона фиксируемой дисперсии сказывалось в большей мере: от $40,64 \pm 11,87\%$ ($F_h^2 = 3,423$) также по содержанию каротиноидов до $79,59 \pm 4,08\%$ ($F_h^2 = 19,501$) по отношению содержания каротиноидов к суммарному содержанию хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*. Получение аналогичных оценок на тех же участках методом Снедекора привело к сопоставимым (отчасти меньшим) результатам.

Оценить силу раздельного влияния на формирование наблюдавшейся в опыте дисперсии каждого из организованных факторов, в нашем случае ими выступали различия в территориальной локализации участков (фактор А) и индивидуальные различия между особями семенного происхождения на каждом из них (фактор В), а также вскрыть долю эффекта их взаимодействия (фактор АВ) смог двухфакторный дисперсионный анализ (табл. 3). Влияние различий в местоположении участков на возникновение существенных различий в пигментном составе хвои биоты восточной нашло подтверждение статистической надежности в оценках критериев Фишера. Они превысили соответствующие табличные пределы на принятых в лесоводственных исследованиях условиях точности оценок. При том, что практически по всем признакам наблюдалась именно такая ситуация, по содержанию каротиноидов существенность различий получила подтверждение на 5%-м уровне значимости, но не достигла его на 1%-м уровне.

Таблица 3

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа
пигментного состава хвои биоты восточной
The results of a two-way ANOVA of the pigment composition
of the needles of *Platycladus orientalis* (L.) Franco

Признак	Источник дисперсии, факторы влияния	Критерий Фишера F_{on}	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)			
			по Плохинскому		по Снедекору	
			h^2	$\pm s_h^2$	h^2	$\pm s_h^2$
Признак 1	A	14,61	0,1405	0,0215	0,1820	0,0204
	B	7,24	0,2783	0,0722	0,2086	0,0791
	AB	5,11	0,1966	0,0803	0,2750	0,0725
	Z*	—	0,3846	0,6154	0,3344	0,6656
Признак 2	A	441,40	0,8389	0,0040	0,8848	0,0029
	B	6,44	0,0490	0,0951	0,0273	0,0973
	AB	4,74	0,0361	0,0964	0,0376	0,0962
	Z	—	0,0760	0,9240	0,0502	0,9498

Окончание табл. 3

Признак	Источник дисперсии, факторы влияния	Критерий Фишера $F_{\text{оп}}$	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)			
			по Плохинскому		по Снедекору	
			h^2	$\pm s_h^2$	h^2	$\pm s_h^2$
Признак 3	A	6,08	0,0919	0,0227	0,1215	0,0220
	B	2,36	0,1424	0,0858	0,0811	0,0919
	AB	2,66	0,1611	0,0839	0,1992	0,0801
	Z	—	0,6046	0,3954	0,5983	0,4017
Признак 4	A	358,06	0,8107	0,0047	0,8626	0,0034
	B	6,07	0,0550	0,0945	0,0306	0,0969
	AB	4,84	0,0438	0,0956	0,0463	0,0954
	Z	—	0,0906	0,9094	0,0604	0,9396
Признак 5	A	229,7116	0,7641	0,0059	0,8304	0,0042
	B	3,7681	0,0501	0,0950	0,0251	0,0975
	AB	3,9578	0,0527	0,0947	0,0537	0,0946
	Z	—	0,1331	0,8669	0,0908	0,9092
Признак 6	A	670,23	0,8120	0,0047	0,8445	0,0039
	B	15,28	0,0741	0,0926	0,0451	0,0955
	AB	13,51	0,0655	0,0935	0,0789	0,0921
	Z	—	0,0485	0,9515	0,0315	0,9685
Признак 7	A	19,68	0,2725	0,0182	0,3969	0,0151
	B	1,92	0,1064	0,0894	0,0489	0,0951
	AB	1,22	0,0673	0,0933	0,0229	0,0977
	Z	—	0,5538	0,4462	0,5313	0,4687
Признак 8	A	188,59	0,6931	0,0077	0,7727	0,0057
	B	6,68	0,0982	0,0902	0,0585	0,0942
	AB	4,19	0,0617	0,0938	0,0658	0,0934
	Z	—	0,1470	0,8530	0,1030	0,8970
Признак 9	A	391,04	0,7775	0,0056	0,8355	0,0041
	B	12,24	0,0973	0,0903	0,0602	0,0940
	AB	5,74	0,0456	0,0954	0,0507	0,0949
	Z	—	0,0795	0,9205	0,0536	0,9464
Признак 10	A	441,38	0,8368	0,0041	0,8803	0,0030
	B	6,08	0,0461	0,0954	0,0254	0,0975
	AB	5,44	0,0412	0,0959	0,0443	0,0956
	Z	—	0,0758	0,9242	0,0500	0,9500
Признак 11	A	805,34	0,8525	0,0037	0,8857	0,0029
	B	15,17	0,0642	0,0936	0,0390	0,0961
	AB	9,67	0,0409	0,0959	0,0477	0,0952
	Z	—	0,0423	0,9577	0,0275	0,9725
Признак 12	A	340,11	0,7695	0,0058	0,8323	0,0042
	B	10,62	0,0961	0,0904	0,0590	0,0941
	AB	4,85	0,0439	0,0956	0,0473	0,0953
	Z	—	0,0905	0,9095	0,0614	0,9386

*Неорганизованный фактор, или остаточная дисперсия, соответствующая внутригрупповой (случайной) изменчивости, индуцируемой пестротой фона не учитываемых в опыте факторов среды.

Представленные оценки определили возможность нахождения доли влияния рассматриваемого организованного фактора – различия между опытными участками. В расчетах на платформе алгоритма Плохинского наибольшие оценки ($85,25 \pm 0,37$ %) достигнуты по доле хлорофилла-*b* в общем пигментном составе хвои биоты восточной, в то время как наименьшие ($9,19 \pm 2,27$ %) – по содержанию каротиноидов. Близкие к максимуму результаты зафиксированы для количества хлорофилла-*b* и доли хлорофилла-*a* в общем пигментном составе: $83,89 \pm 0,40$ и $83,68 \pm 0,41$ % соответственно. Содержание хлорофилла-*a* в хвое биоты восточной, хотя и было подвержено существенным расхождениям на разных участках, показало сдержанную реакцию растений на изменение их местоположения в географическом масштабе: $14,05 \pm 2,15$ %. По другим рассматриваемым признакам пигментного состава хвои такое территориальное перемещение вызвало возникновение более контрастных различий.

Материалы табл. 3 свидетельствуют об ощутимо меньшем, но преимущественно статистически значимом влиянии индивидуальной изменчивости особей семенного происхождения на формирование их фенотипической изменчивости на каждом из опытных участков. В подавляющем большинстве случаев (10 из 12) на существенность обнаруженных различий указывали опытные F-критерии ($F_{\text{оп}} = 3,77 \dots 15,28$), превысившие минимально допустимый уровень ($F_{B05/01} = 2,61/3,83$). Исключение составили содержание каротиноидов и отношение к нему содержания хлорофилла-*a*. В тех случаях, когда существенность различий, вызванных действием фактора В, была подтверждена, вычислялась доля его влияния. Она оказалась не столь заметной, как по фактору А, а ее оценки чаще не получали статистического подтверждения и располагались в диапазоне от $4,61 \pm 9,54$ % (признак 10) до $27,83 \pm 7,22$ % (признак 1).

Эффект взаимодействия факторов (фактор АВ) как правило (11 из 12 признаков) вызывал возникновение существенных различий, что фиксируется расчетными критериями Фишера ($F_{\text{оп}} = 2,66 \dots 13,51$), превысившими соответствующие табличные значения ($F_{AB05/01} = 2,61/3,83$). Этого не наблюдалось только для отношения содержания хлорофилла-*a* к содержанию каротиноидов. Однако действие фактора АВ, как и фактора В, оказалось ограниченным: от $3,61 \pm 9,64$ % (признак 2) до $19,66 \pm 8,03$ % (признак 1) при неподтвержденной в ряде случаев статистической значимости оценок доли его участия в формировании общей дисперсии.

Доля остаточной дисперсии, возникновение которой обусловлено неустраняемой пестротой фоновых условий среды каждого из опытных участков, а также неизбежным влиянием не учитываемых в опыте случайных факторов, варьировала от 4,85 % (признак 6) и 4,23 % (признак 10) до 60,46 % (признак 3). Географическая изменчивость, вызванная различиями в параметрах экологического фона территориально разобщенных участков (фактор А), в данном контексте не рассматривалась.

Построение расчетной части анализа на алгоритме Снедекора дало сопоставимый в основных чертах с приведенными выше данными результат.

В порядке обсуждения итогов работы можно отметить, что содержание и баланс пластидных пигментов в хвое биоты восточной в целом соответствуют сложившимся представлениям по этому вопросу, освещенным в публикациях о хвойных [6, 28, 29, 31] и лиственных [1] породах, включая представителей семейства кипарисовых [3].

Выводы

1. Пигментный состав хвои генетически неидентичных особей биоты восточной, дислоцированных на территориально разобщенных участках в предгорной зоне Заилийского Алатау (Республика Казахстан) и в зоне хвойно-широколиственных лесов Нижегородского Поволжья (Российская Федерация), неодинаков и характеризуется индивидуальной внутривидовой изменчивостью.

2. Фенотипические различия содержания и соотношения хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b* и каротиноидов в хвое биоты восточной во многом обусловлены спецификой генотипов особей, имеющих семенное происхождение, что проявилось в пределах каждого из опытных участков и получило подтверждение результатами однофакторного дисперсионного анализа.

3. Контрастные условия местопроизрастания семенных потомств биоты восточной, связанные с их размещением на разных участках при интродукции на территорию Республики Казахстан и Российской Федерации, вызвало ответную реакцию, выразившуюся в повышении концентрации хлорофиллов и незначительном снижении уровня каротиноидов в хвое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бабаев Р.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментация листовых пластин представителей рода береза (*Betula* L.) // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 3. С. 29–38.

Babaev R.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Genus Birch (*Betula* L.) Leaf Plates Pigmentation. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2022, vol. 26, no. 3, pp. 29–38. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-3-29-38>

2. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа // Изв. вузов. Лесн. журн. 2012. № 2. С. 58–64.

Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Scots Pine Elite Trees Selective Estimation by Means of Multivariate Analysis Method. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2012, no. 2, pp. 58–64. (In Russ.).

3. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Котынова М.Ю. Сезонный характер содержания пигментов в хвое туи западной в условиях Нижегородской области // Тр. СПбНИИЛХ. 2022. № 3. С. 38–58.

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kotynova M.Y. Seasonal Character of the Pigment Content in the Needles of Northern White-Cedar in the Conditions of the Nizhny Novgorod Region. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyajstva* = Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute, 2022, no. 3, pp. 38–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2022.3.38>

4. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Паникаров И.И. Пылезадерживающая способность хвои ели колючей в насаждениях г. Нижнего Новгорода // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2024. Вып. 247. С. 188–208.

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Panikarov I.I. The Dust-Retaining Ability of the Needles of the Prickly Spruce in the Plantings of Nizhny Novgorod. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, 2024, iss. 247, pp. 188–208. (In Russ.). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.247.188-208>

5. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов П.В. Дифференциация пылезадерживающей способности кроны тополей // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 5. С. 48–64.

Besschetnova N.N., Besschetnov P.V. Differentiation of the Dust Holding Capacity of Poplar Crowns. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2021, no. 5, pp. 48–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-5-48-64>

6. Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабич А.Н., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Содержание и баланс запасных веществ в побегах лиственницы сибирской в условиях реинтродукции в Нижегородскую область // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 1. С. 17–27.

Yesichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich A.N., Kentbayev E.Zh., Kentbayeva B.A. Content and Balance of Storage Compounds in Siberian Larch Shoots Under its Reproduction in Nizhny Novgorod Region. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 17–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-1-17-27>

7. Кентбаева Б.А., Кентбаев Е.Ж., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Мурадов К.П. Содержание и соотношение пластидных пигментов в хвое биоты восточной при интродукции // Хвойные бореал. зоны. 2024. Т. XLII, № 3. С. 13–22.

Kentbaeva B.A., Kentbaev E.Zh., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Muratov K.P. The Content and Ratio of Plastid Pigments in the Needles of the *Platycladus orientalis* during Introduction. *Khvoynye boreal'noi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2024, vol. XLII, no. 3, pp. 13–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-3-13-22>

8. Паникаров И.И., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Взаимозависимость параметров хвои ели колючей в определении ее пылезадерживающей способности // Хвойные бореал. зоны. 2023. Т. XLI, № 6. С. 495–503.

Panikarov I.I., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. The Interdependence of the Parameters of the Needles of the Prickly Spruce in Determining its Dust-Holding Ability. *Khvoynye boreal'noi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2023, vol. XLI, no. 6, pp. 495–503. (In Russ.). <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2023-6-495-503>

9. Усольцев В.А., Плюха Н.И., Цепордей И.С. Отношение диаметра кроны к диаметру ствола: всеобщие модели лесообразующих видов Евразии // Хвойные бореал. зоны. 2024. Т. XLII, № 1. С. 36–42.

Usoltsev V.A., Plyukha N.I., Tsepordey I.S. The Ratio of Crown Diameter to Stem Diameter: Generic Models of Forest-Forming Species of Eurasia. *Khvoynye boreal'noi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2024, vol. XLII, no. 1, pp. 36–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-1-36-42>

10. Шлык А.А. О спектрофотометрическом определении хлорофиллов *a* и *b* // Биохимия. 1968. Т. 33, вып. 2. С. 275–285.

Shlyk A.A. On the Spectrophotometric Determination of Chlorophylls *a* and *b*. *Biokhimiya* = Biochemistry, 1968, vol. 33, iss. 2, pp. 275–285. (In Russ.).

11. Шлык А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений / под ред. О.А. Павлиновой. М.: Наука, 1971. С. 154–170.

Shlyk A.A. Determination of Chlorophyll and Carotenoids in Green Leaf Extracts. *Biokhimicheskie metody v fiziologii rastenij*. Ed. by O.A. Pavlinova. Moscow, Nauka Publ., 1971, pp. 154–170. (In Russ.).

12. Altaf R., Altaf S., Hussain M., Shah R.U., Ullah R., Ullah M.I., Rauf A., Ansari M.J., Alharbi S.A., Alfarrarj S., Datta R. Heavy Metal Accumulation by Roadside Vegetation and Implications for Pollution Control. *PLOS ONE*, 2021, vol. 16, iss. 5, art. no. e0249147. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249147>

13. Belkayali N., Gur M. Heavy Metal Accumulation in Shrubs Used in Roadside Planting. *Global NEST Journal*, 2020, vol. 22, iss. 3, pp. 297–305. <https://doi.org/10.30955/gnj.003140>

14. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Bryntsev V.A. Differentiation of Plus Trees of Scots Pine by Xylem Conditions. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 4, pp. 9–25. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-9-25>

15. Chang E., Guo W., Dong Y., Jia Z., Zhao X., Jiang Z., Zhang L., Zhang J., Liu J. Metabolic Profiling Reveals Key Metabolites Regulating Adventitious Root Formation in Ancient *Platycladus orientalis* Cuttings. *Frontiers in Plant Science*, 2023, vol. 14, art. no. 1192371. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1192371>
16. Dawkins H.C. Crown Diameters: Their Relation to Bole Diameter in Tropical Forest Trees. *The Commonwealth Forestry Review*, 1963, vol. 42, no. 4(114), pp. 318–333. <https://www.jstor.org/stable/42603453>
17. Fan Z.-j., Dong D.-y., Zheng R., Wang M.-z., Wang Q.-f., Guan W.-b. Avian Community Diversity in *Platycladus orientalis* Ancient Trees at the Jingfu Temple in Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 2013, vol. 35(5), pp. 46–55. [https://doi.org/10.13332/j.1000-1522\(2013\)05-0046-10](https://doi.org/10.13332/j.1000-1522(2013)05-0046-10)
18. Hong D.-Y., Blackmore S. Plants of China. A Companion to the *Flora of China*. Beijing, Cambridge, Science Press, Cambridge University Press, 2015. 475 p.
19. Li C.-y., Ma L.-y., Wang X.-q., Xu X. Short-Term Effects of Tending on the Undergrowth Diversity of *Platycladus orientalis* Plantations in Beijing Mountainous Areas. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, vol. 29(3), pp. 60–66. <https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.2007.03.010>
20. Li X.-w., Jia L.-m., Li G.-d., Wang P., Hao X.-f. Influence of Tending on Biodiversity of Shrub and Herbage in *Platycladus orientalis* Recreational Forest in Beijing Lower Mountainous Area. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, vol. 31(6), pp. 193–197. <https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.2009.06.036>
21. Lichtentaller H.K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology*, 1987, vol. 148, pp. 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
22. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of Total Carotenoids and Chlorophylls *a* and *b* of Leaf Extracts in Different Solvents. *Biochemical Society Transactions*, 1983, vol. 11, iss. 5, pp. 591–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
23. Lidholm J., Gustafsson P. A Functional Promoter Shift of a Chloroplast Gene: A Transcriptional Fusion Between a Novel *psbA* Gene Copy and the *trnK*(UUU) Gene in *Pinus contorta*. *The Plant Journal*, 1992, vol. 2, iss. 6, pp. 875–886. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3113x.1992.t01-4-00999.x>
24. Ma F.-f., Jia L.-m., Duan J., Zhou X. Compilation of Site Index Table for Plantations of *Platycladus orientalis* in Beijing Mountainous Area. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, vol. 30(6), pp. 78–82. <https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.2008.06.006>
25. Mao A.-h., Li J.-x., Zhang C.-y., Li Q.-j., Wang S., Chen X.-y., Li Y. Geographic Variation and Provenance Selection of *Platycladus orientalis* in a 19-Year-Old Testing Plantation. *Journal of Beijing Forestry University*, 2010, vol. 32(1), pp. 63–68. <https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.2010.01.020>
26. Min G., Yunmao R., Xiaodong Z., Sifan C., Yu G., Huijuan W., Ze G., Xiaodong L. Effects of Thinning on Canopy Characteristics and Potential Crown Fire Behavior of *Platycladus orientalis* in Xishan Forest Farm of Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 2022, vol. 44(8), pp. 56–65. <https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20210455>
27. Porra R.J., Thompson W.A., Kriedemann P.E. Determination of Accurate Extinction Coefficients and Simultaneous Equations for Assaying Chlorophylls *a* and *b* Extracted with Four Different Solvents: Verification of the Concentration of Chlorophyll Standards by Atomic Absorption Spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*, 1989, vol. 975, iss. 3, pp. 384–394. [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(89\)80347-0](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(89)80347-0)
28. Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic Decline and Pigment Loss during Autumn Foliar Senescence in Western Larch (*Larix occidentalis*). *Tree Physiology*, 1997, vol. 17, iss. 12, pp. 767–775. <https://doi.org/10.1093/treephys/17.12.767>
29. Schoefs B., Franck F. Chlorophyll Synthesis in Dark-Grown Pine Primary Needles. *Plant Physiology*, 1998, vol. 118, iss. 4, pp. 1159–1168. <https://doi.org/10.1104/pp.118.4.1159>

30. Shi Y., Yu X.-x., Yue Y.-j., Wang X.-p., Qin Y.-s., Chen J.-q. Intraspecific Competitions in *Platycladus orientalis* Natural Forests in Beijing Mountainous Area. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, vol. 30(supp. 2), pp. 36–40.

<https://doi.org/13332/j.1000-1522.2008.s2.014>

31. Skuodienė L. Quantitative Changes in Aminoacid Proline and Chlorophyll in the Needles of *Picea abies* Karst. (L.) during Stress and Adaptation. *Biologija*, 2001, vol. 47, no. 2, pp. 54–56.

32. Wang J., Xia Y., Zhao D., Chu X., Hu M., Hu J., Liu H. Crown Scale and Growth Space Demands of Main Tree Species in Urban Forest. *Journal of Beijing Forestry University*, 2018, vol. 40(3), pp. 42–54 <https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.20170331>

33. Wang Y., Chen L.-h., Yu X.-x., Yang Q.-H., Yang X.-b., Xiao Y., Wang X.-p. Comparison of Transpiration Characteristics of Two Typical Coniferous Species in Beijing Mountainous Area. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, vol. 30(supp. 2), pp. 193–196.

<https://doi.org/13332/j.1000-1522.2008.s2.034>

34. Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls *a* and *b*, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of Plant Physiology*, 1994, vol. 144, iss. 3, pp. 307–313.

[https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)

35. Zhao K., Li J., Xu C. Coupling Relationship between Stand Structure and Color Patch of *Platycladus orientalis* Plantations. *Journal of Beijing Forestry University*, 2019, vol. 41(1), pp. 82–91. <https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.20180316>

36. Zhou J.-c., Ma L.-y. Effects of Fertilization on the Growth of Trees in Forestland Converted from Farmland in Pingshan County, Hebei Province of Northern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, vol. 30(6), pp. 64–70.

<https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.2008.06.025>

37. Zhou R.-w., An Y.-t., Wang H., Ren Y.-m., Wang Q.-f., He B.-h., Chen P.-f., Lin D.-y. Quantitative Relationships of Intra- and Interspecific Competition of *Platycladus orientalis* Plantation in Beijing Xishan National Forest Park. *Journal of Beijing Forestry University*, 2010, vol. 32(6), pp. 27–32. <https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.2010.06.020>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest