

Научная статья

УДК 635.92: 632.937.31: 634.74

СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ В ХВОЕ СОСНЫ ГОРНОЙ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В НИЖЕГОРОДСКУЮ ОБЛАСТЬ

**Ярослав Владимирович Прохоров¹, Наталья Николаевна Бессчетнова²,
Владимир Петрович Бессчетнов³**

^{1, 2, 3} Нижегородский государственный агротехнологический университет
имени Л. Я. Флорентьева, Нижний Новгород, Россия

¹ yar.proh.52@mail.ru

² besschetnova1966@mail.ru

³ lesfak@bk.ru

Аннотация. Представлена сравнительная оценка особей сосны горной по содержанию каротиноидов в однолетней хвое в лесорастительных условиях Нижегородской области. Определена индивидуальная фенотипическая изменчивость содержания каротиноидов в фотосинтезирующем аппарате однолетних побегов растений семенного происхождения.

Ключевые слова: сосна горная, интродукция, фотосинтезирующий аппарат, хвоя, каротиноиды, фенотипическая изменчивость

Для цитирования: Прохоров Я. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Содержание каротиноидов в хвое сосны горной при интродукции в Нижегородскую область // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 367–371.

Original article

THE CONTENT OF CAROTENOIDS IN MOUNTAIN PINE NEEDLES DURING INTRODUCTION TO THE NIZHNY NOVGOROD REGION

Yaroslav V. Prokhorov¹, Natalia N. Besschetnova², Vladimir P. Besschetnov³

^{1, 2, 3} Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after

L. Ya. Florentyev, Nizhny Novgorod, Russia

¹ yar.proh.52@mail.ru

² besschetnova1966@mail.ru

³ lesfak@bk.ru

Abstract. A comparative assessment of mountain pine individuals by the content of carotenoids in annual conifers in the forest conditions of the Nizhny Novgorod region is presented. The individual phenotypic variability of the carotenoid content in the photosynthetic apparatus of annual shoots of plants of seed origin has been determined.

Keywords: mountain pine, introduction, photosynthetic apparatus, needles, carotenoids, phenotypic variability

For citation: Prokhorov Ya. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. (2025) Soderzhanie karotinoidov v hvoe sosny gornoj pri introdukcii v Nizhegorodskuju oblast' [The content of carotenoids in mountain pine needles during introduction to the Nizhny Novgorod region]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : proceedings of the XXI All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2025. Pp. 367–371. (In Russ).

Сосна (*Pinus* L.) как ботанический род известна своими многочисленными видами, подвидами и другими таксонами ранга менее видового. В настоящее время в России идентифицировано 16 аборигенных и 73 инорайонных вида сосен, разноплановые исследования биологии которых позволяют более надежно установить принадлежность их представителей к той или иной классификационной единице. В их числе сосна горная (*Pinus mugo* Turra.) уверенно пополняет ассортимент защитных или плантационных насаждений, перспективна в объектах озеленения, где реализует санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции [1]. Таким образом, целью исследования заявлено определение содержания недифференцированных каротиноидов в тканях годичных побегов сосны горной при ее интродукции в Нижегородскую область.

Объектом исследований выступали одновозрастные (биологический возраст 7 лет) особи сосны горной, имеющие семенное происхождение и размещенные в интродукционной коллекции дендрологического парка Нижегородского ГАТУ. Для их выращивания использованы семена местной репродукции (ГАУ НО «Семеновский спецсемлесхоз»), одного года заготовки. Растения, служившие источником семян, располагались в маточном блоке указанного спецсемлесхоза, куда были завезены из ГУП МО «Ивантеевский лесной селекционный опытно-показательный питомник» (Московская область). Опытный участок с координатами 56°17'57.984"N, 43°58'59.988"E отнесен к хвойно-широколиственному лесному району Европейской части Российской Федерации, который входит в зону хвойно-широколиственных лесов. Характерной древесной породой его природной дендрофлоры выступает сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) [2–4], образующая обширные естественные древостои и полновесно представленная в составе лесных культур [5] и селекционно-семеноводческих объектов

[6–8]. Это обстоятельство, а также близость указанных видов в систематическом отношении позволяет признать сложившиеся в регионе экологические условия соответствующими особенностям биологии сосны горной.

Предметом исследований служили их внутривидовая фенотипическая изменчивость в накоплении в тканях побегов каротиноидов. В работе использовали спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4, который позволял графически визуализировать в реальном времени спектры поглощения тестируемых пластидных пигментов. Их максимумы при длинах волн 665 нм (хлорофилл-а), 649 нм (хлорофилл-б), 452,5 нм (каротиноиды) выводились на монитор компьютера и переносились в базу данных электронных таблиц *Excel*. Концентрацию пластидных пигментов в сырой массе навески вычисляли по уравнениям Ветштейна – Хольма для 96-процентного этанола. Перевод таких оценок в удельные показатели (мг/г) предусматривал параллельное определение наличия в хвое абсолютно сухого вещества. До указанного состояния навеска доводилась в лабораторных термо-шкафах HS-61A, после чего ее масса устанавливалась на трехразрядных аналитических весах Acculab VIC-300d3 с точностью до 0,001 г. Для компенсации возможного смещения спектральных максимумов под влиянием оптических свойств экстрагирующего растворителя сканировали и его оптически чистый эталон, помещаемый в контрольную кювету прибора [1, 9, 10].

Зафиксированы различия в пигментных характеристиках однолетней хвои нормально развитых растений, введенных в схему опыта (табл. 1).

Таблица 1

Содержание каротиноидов в однолетней хвое сосны горной, мг/г¹

Деревья	<i>M</i>	СКО	max	min	Δlim	$\pm m$	<i>Cv</i> , %	<i>t</i>	<i>P</i> , %
Дерево 1	0,27	0,02	0,30	0,24	0,06	0,011	8,79	25,44	3,93
Дерево 2	0,27	0,05	0,35	0,22	0,13	0,024	20,58	10,87	9,20
Дерево 3	0,27	0,07	0,35	0,21	0,14	0,030	24,11	9,27	10,78
Дерево 4	0,31	0,08	0,40	0,21	0,19	0,035	25,50	8,77	11,40
Дерево 5	0,28	0,06	0,34	0,19	0,14	0,028	22,41	9,98	10,02
Дерево 6	0,23	0,04	0,28	0,17	0,11	0,019	18,98	11,78	8,49
Дерево 7	0,26	0,09	0,39	0,17	0,22	0,039	33,42	6,69	14,95
Дерево 8	0,24	0,03	0,27	0,19	0,08	0,014	13,30	16,81	5,95
Дерево 9	0,20	0,07	0,31	0,13	0,19	0,032	36,36	6,15	16,26
Дерево 10	0,23	0,02	0,27	0,21	0,07	0,011	10,53	21,25	4,71
Total	0,26	0,06	0,40	0,13	0,28	0,009	23,89	29,60	3,38
Примечание. <i>M</i> – среднее; СКО – среднеквадратическое отклонение; max – абсолютный максимум; min – абсолютный минимум; Δlim – диапазон значений, $\pm m$ – ошибка выборочного среднего; <i>Cv</i> – коэффициент вариации, %; <i>t</i> – критерий Стьюдента ($t_{05} = 2,01$; $t_{01} = 2,68$); <i>P</i> – точность опыта, %; число первичных единиц выборки – 50									

В пределах исследуемой группы растений (саженцы сосны горной семенного происхождения) содержание каротиноидов в 1-летней хвое особей изменчиво: от $0,20 \pm 0,038$ мг/г (дерево № 9) до $0,31 \pm 0,035$ мг/г (дерево № 4). Превышение большего из них над меньшим достигло 0,10 мг/г, или в 1,58 раза. Обобщенное среднее (вариант *Total*) в массиве полученных данных располагалось симметрично, достигнув значения $0,26 \pm 0,009$ мг/г (см. табл. 1). Наблюдаемая неоднородность характеристик пигментного состава учетных растений, имеющих семенное происхождение, проявилась на выровненном фоне условий их местообитания, что дает основания признать наличие наследственной обусловленности некоторой части общей фиксируемой в этом случае фенотипической дисперсии. Однако дисперсионный анализ не смог подтвердить выдвинутое предположение (табл. 2).

Таблица 2

Существенность индивидуальных различий между особями сосны горной по содержанию каротиноидов в однолетней хвое¹

Критерий Фишера (F)		Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору				
$F_{05/01}$	$F_{оп}$	h^2	$\pm s_h^2$	F_h^2	h^2	$\pm s_h^2$	F_h^2	НСР ₀₅	D_{05}
2,08/2,79	1,47	0,2483	0,1691	1,468	0,0856	0,2057	0,416	0,075	0,123

Примечание. $F_{05/01}$ – табличное значение критерия Фишера на 5%-ный и на 1%-ный уровне значимости; $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера; h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка доли влияния организованного фактора; F_h^2 – критерий достоверности доли влияния организованного фактора; НСР₀₅ – наименьшая существенная разность на 5%-ном уровне значимости; D_{05} – критерий Тьюки на 5%-ном уровне значимости; число первичных единиц выборки тестируемого признака – 50 п.е.в.

Можно сказать, что расхождения в индивидуальных оценках особей сосны горной, введенных в схему рассматриваемого опыта, не достигли уровня существенных различий. Это подтвердили величины критерия Фишера, не превысившие минимально допустимый порог как на 5%-ном, так и на 1%-ном уровнях значимости ($F_{оп} < F_{05/01}$), а также оценки наименьшей существенной разности и D-критерия в Тьюки тесте. Влияние индивидуальных внутривидовых различий особей семенного происхождения на формирование общего фона фенотипической дисперсии в содержании каротиноидов в расчетах по алгоритму Плохинского недостаточно высоко и недостаточно: $24,83 \pm 16,91$ %.

Список источников

1. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Пигментный состав хвои саженцев сосны горной и сосны обыкновенной в Нижегородской области // Лесной вестник. 2024. Т. 28, № 4. С. 5–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-5-18
2. Бессчетнова Н. Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев. Н. Новгород : Нижегородская ГСХА, 2015. 586 с.
3. Бессчетнова Н. Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев. Н. Новгород : Нижегородская ГСХА, 2016. 382 с.
4. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и физиология хвои плюсовых деревьев. Н. Новгород : Нижегородская ГСХА, 2014. 368 с.
5. Создание лесных культур сосны обыкновенной посевом семян в Нижегородской области / Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, А. Н. Орнатский, И. П. Коваленко // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. №. 239. С. 55–75. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.55-75
6. Сравнительная оценка таксационных показателей плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации / А. Н. Горелов, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XXXX, № 1. С. 27–37.
7. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по выходу семян из шишек // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2014. № 2 (32). С. 82–84.
8. Differentiation of the plus trees of Scots pine on the physiological status of xylem / N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, N. A. Babich, V. A. Bryntcev // Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal]. 2023. № 4. P. 9–25. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-9-25.
9. Бабаев Р. Н., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Пигментация листовых пластин представителей рода береза (*Betula* L.) // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 3. С. 29–38.
10. Есичев А. О., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Видоспецифичность пигментного состава хвои представителей рода лиственница // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. XXXIX, № 4. С. 313–321.