

УДК: 582.475.2+581.174.1/2
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.43

КОРРЕЛЯЦИЯ ПРИЗНАКОВ ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА ХВОИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ЛИСТВЕННИЦА (*Larix* Mill.) В ДЕНДРОПАРКЕ СЕРГАЧСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ*

А.О. Есичев, асп.

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; e-mail: andrey.esichev@mail.ru

Лиственница – порода лесообразователь – занимает обширные территории лесного фонда Российской Федерации, обеспечивая видовое разнообразие дендрофлоры. В границах ареала создает высокопродуктивные устойчивые чистые и смешанные насаждения. В Нижегородской области ее распространение достаточно ограничено. Однако здесь она представляет интерес для плантационного лесоводства, городского озеленения, защитного лесоразведения и др. Это и определяет внимание к многоплановой оценке перспектив дальнейшего использования видов рода лиственница. Эффективное привлечение этих видов в состав вновь создаваемых искусственных насаждений невозможно без исследования их адаптационной способности. Наличие зеленых пигментов и каротиноидов обуславливает нормальную работу фотосинтезирующего аппарата растений. Их содержание и соотношение в хвое коррелирует с резистентностью и может выступать индикатором устойчивости к неблагоприятным факторам среды. В связи с этим перед нами стояла задача установления тесноты связи и характера зависимости между показателями пигментного состава хвои различных видов лиственницы в условиях интродукции в Нижегородскую область. Объектом исследований выступали автохтонные и интродуцированные виды лиственницы, представители которых расположены в коллекционных посадках дендрологического комплекса «Явлейка» в Сергачском лесничестве Нижегородской области. Общее количество учетных деревьев – 30 (по 10 деревьев каждого вида). Видовой состав представлен лиственницами сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), даурской (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) и Сукачева (*Larix sukaczewii* Djl. Dyl). Для анализа было заготовлено 90 образцов. Для количественного определения пигментов листового аппарата использовали спектрофотометрический анализ как наиболее точный. Концентрацию пигментов вычисляли по уравнениям Ветштейна и Хольма. Результатом анализа стали корреляционные матрицы и уравнения взаимозависимости значений основных характеристик пигментного состава хвои лиственницы. Обнаружены тесные связи между изучаемыми признаками в обобщенном массиве по всем исследуемым видам лиственницы. Опытные значения критериев Стьюдента оказались выше табличных, показатель точности опыта не превысил допустимого для биологических исследований 5-процентного уровня.

* Статья подготовлена по материалам международного симпозиума «Лесное хозяйство: интеграция и вклад в развитие сельских территорий» (15–16 мая 2018 г., г. Нижний Новгород).

Выражаю благодарность научному руководителю, д-ру с.-х. наук Н.Н. Бессчетновой за ценные советы при планировании исследования и рекомендации по оформлению рукописи.

Для цитирования: Есичев А.О. Корреляция признаков пигментного состава хвои представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в дендропарке Сергачского лесничества Нижегородской области // Лесн. журн. 2018. № 3. С. 43–53. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.43

Численные значения содержания всех основных пигментов свидетельствуют о наличии корреляции.

Ключевые слова: лиственница, хвоя, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды, интродукция, межвидовая изменчивость, корреляция, регрессия.

Введение

Использование различных видов хвойных, в том числе интродуцентов, при создании промышленных плантаций изучаемых как одно из стратегических направлений развития лесного хозяйства во всем мире. Весьма перспективной в контексте рассматриваемых вопросов древесной породой является лиственница, с успехом используемая для этих целей [7]. Важность такой формы лесопользования отмечена в государственной программе [6]. Создание плантационных лесных культур и коротко-ротационных промышленных плантаций интенсивного типа успешно проводилось на территории Российской Федерации [17]. Заметные результаты достигнуты в Нижегородской области [1, 3–5].

Залогом успешного создания и результативного использования промышленных плантаций выступает эффективное формирование их наиболее продуктивного ассортимента [9], сочетающего в себе высокие темпы роста, адаптированность к экологическим условиям и резистентность растений к лимитирующим факторам среды, технические и технологические характеристики древесины. Решение этих непростых задач предполагает многоплановое и детальное изучение биологии вовлекаемых в хозяйственный оборот растений. В числе их важнейших характеристик повсеместно выделяются признаки листового аппарата, в том числе состав и соотношение пластидных пигментов, участвующих в фотосинтезе [10, 15, 16].

Содержание в листовом аппарате пигментов коррелирует с устойчивостью растений к лимитирующим экологическим факторам [16, 22]. Адаптивные реакции хвойных на условия освещенности выражаются в изменении пигментного состава их фотосинтезирующего аппарата [21–23]. Отмечена связь содержания пигментов в хвое с репродуктивной деятельностью растений. Содержание хлорофилла и других пигментов листового аппарата рассматривается в качестве информативных признаков сравнительной оценки и ранней диагностики селекционного материала древесных видов [19]. На территории Российской Федерации, в частности в Нижегородской области, лиственница представлена как аборигенными видами (лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* Djil. Dyl)), так и интродуцентами (лиственницы сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) и даурская (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.)) [2].

Цель наших исследований – определение тесноты связи и корреляционной зависимости между характеристиками пигментного состава хвои различных видов лиственницы в условиях интродукции в Нижегородскую область.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовались деревья лиственницы сибирской, даурской и Сукачева в возрасте 32 лет, представленные в дендрологической коллекции Сергачского лесничества Нижегородской области. Общее

количество учетных деревьев составляло 30 шт., по 10 деревьев каждого вида. Согласно действующему лесорастительному [13] и лесосеменному [14] районированию, опытный участок лежит в границах хвойно-широколиственного (смешанного) лесного района европейской части Российской Федерации (второй лесосеменной район) зоны хвойно-широколиственных лесов (третья лесорастительная зона). Климат – переходный от морского типа к континентальному – охарактеризован расположением участка в границах Скандинавско-Русской провинции, в которой находится Нижегородская область. Обширность территории области обуславливает формирование различий в норме реакции, что предопределяет разную адаптированность интродуцентов к конкретным условиям места произрастания. В связи с этим необходим дифференцированный подход к их оценке при введении в ассортимент вновь создаваемых плантационных и ландшафтных культур, защитных и озеленительных посадок.

Предмет исследований – корреляция и регрессия характеристик пигментного состава хвои различных видов рода лиственница. В качестве методологической основы был принят принцип единственного логического различия, целесообразности и пригодности опыта [8, 11]. В соответствии с этим в схему анализа были вовлечены одновозрастные деревья, размещенные на участке по одинаковым схемам, имеющие равную площадь питания и находящиеся на выровненном экофоне. Для целей исследования в мае 2015 г. одновременно было заготовлено 90 образцов.

Использовали общепринятые методики выявления фотосинтетических пластидных пигментов [17–19, 20] и спектрофотометрический метод анализа как наиболее точный для количественного определения пигментов листового аппарата [17, 24]. Для получения вытяжек пигментов применяли 96 %-й этанол. Оптическую плотность устанавливали спектрофотометром Grating 722. Концентрацию пигментов вычисляли по уравнениям Ветштейна и Хольма [24]. Статистическую обработку первичной лесоводственной информации осуществляли по общепринятым алгоритмам корреляционного и регрессионного анализа [2, 8, 12].

Результаты исследования и их обсуждение

Сравниваемые виды рода лиственница различались средними значениями количественных показателей содержания пигментов в хвое. Статистическая достоверность подавляющего большинства полученных оценок, прежде всего, определена достаточным числом наблюдений: для Дендрологического комплекса «Явлейка» оно составило 90 первичных единиц выборки по каждому признаку. Опытные значения критериев Стьюдента оказались выше табличных, показатель точности опыта не превысил допустимый для биологических исследований 5 %-й уровень. Статистическая достоверность и надежность сведений о количественных характеристиках пигментного состава хвои дали основание для проведения по ним корреляционного и регрессионного анализа.

Во всех случаях значения корреляционных матриц по одноименным парам сравнения оказались относительно близкими, что позволило признать устойчивым характер взаимозависимости между анализируемыми показателями. Полученные матрицы коэффициентов корреляции представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Коэффициенты корреляции показателей пигментного состава
хвои лиственницы (обобщенный массив данных по всем видам)**

| Показатель | Признак | | | | | | | | | |
|--|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| <i>Признак 1 – содержание хлорофилла а</i> | | | | | | | | | | |
| r | 1,00 | 0,87 | 0,48 | 0,06 | 0,74 | 0,79 | 0,07 | -0,07 | -0,77 | 0,98 |
| ±m _r | 0,00 | 0,05 | 0,09 | 0,11 | 0,07 | 0,07 | 0,11 | 0,11 | 0,07 | 0,02 |
| t _r | – | 16,74 | 5,09 | 0,52 | 10,13 | 11,63 | 0,62 | 0,61 | 10,85 | 41,46 |
| <i>Признак 2 – содержание хлорофилла b</i> | | | | | | | | | | |
| r | 0,87 | 1,00 | 0,68 | -0,43 | 0,45 | 0,78 | -0,42 | 0,42 | -0,55 | 0,95 |
| ±m _r | 0,05 | 0,00 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,07 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,03 |
| t _r | 16,74 | – | 8,72 | 4,42 | 4,60 | 11,28 | 4,25 | 4,22 | 5,86 | 27,96 |
| <i>Признак 3 – содержание каротиноидов</i> | | | | | | | | | | |
| r | 0,48 | 0,68 | 1,00 | -0,51 | -0,23 | 0,07 | -0,51 | 0,51 | 0,15 | 0,61 |
| ±m _r | 0,09 | 0,08 | 0,00 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,09 |
| t _r | 5,12 | 8,77 | – | 5,43 | 2,21 | 0,68 | 5,37 | 5,33 | 1,34 | 6,85 |
| <i>Признак 4 – отношение содержания хлорофилла а к содержанию хлорофилла b</i> | | | | | | | | | | |
| r | 0,06 | -0,43 | -0,51 | 1,00 | 0,44 | -0,15 | 1,00 | -1,00 | -0,31 | -0,15 |
| ±m _r | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,00 | 0,10 | 0,11 | 0,01 | 0,01 | 0,11 | 0,11 |
| t _r | 0,53 | 4,47 | 5,47 | – | 4,55 | 1,37 | 114,80 | 114,11 | 2,92 | 1,31 |
| <i>Признак 5 – отношение содержания хлорофилла а к содержанию каротиноидов</i> | | | | | | | | | | |
| r | 0,74 | 0,45 | -0,23 | 0,44 | 1,00 | 0,82 | 0,46 | -0,46 | -0,97 | 0,62 |
| ±m _r | 0,07 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 0,06 | 0,10 | 0,10 | 0,03 | 0,09 |
| t _r | 10,31 | 4,68 | 2,24 | 4,58 | – | 13,11 | 4,66 | 4,63 | 35,45 | 6,95 |
| <i>Признак 6 – отношение содержания хлорофилла b к содержанию каротиноидов</i> | | | | | | | | | | |
| r | 0,79 | 0,78 | 0,07 | -0,15 | 0,82 | 1,00 | -0,13 | 0,13 | -0,88 | 0,78 |
| ±m _r | 0,07 | 0,07 | 0,11 | 0,11 | 0,06 | 0,00 | 0,11 | 0,11 | 0,05 | 0,07 |
| t _r | 11,90 | 11,55 | 0,69 | 1,38 | 13,18 | – | 1,22 | 1,22 | 16,38 | 11,06 |
| <i>Признак 7 – доля содержания хлорофилла а</i> | | | | | | | | | | |
| r | 0,07 | -0,42 | -0,51 | 1,00 | 0,46 | -0,13 | 1,00 | -1,00 | -0,32 | -0,14 |
| ±m _r | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,01 | 0,10 | 0,11 | – | – | 0,11 | 0,11 |
| t _r | 0,63 | 4,38 | 5,50 | 116,86 | 4,72 | 1,23 | – | – | 3,04 | 1,22 |
| <i>Признак 8 – доля содержания хлорофилла b</i> | | | | | | | | | | |
| r | -0,07 | 0,42 | 0,51 | -1,00 | -0,46 | 0,13 | -1,00 | 1,00 | 0,32 | 0,14 |
| ±m _r | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,01 | 0,10 | 0,11 | – | – | 0,11 | 0,11 |
| t _r | 0,63 | 4,38 | 5,50 | 116,86 | 4,72 | 1,23 | – | – | 3,04 | 1,22 |
| <i>Признак 9 – отношение содержания каротиноидов к сумме хлорофиллов а + b</i> | | | | | | | | | | |
| r | -0,77 | -0,55 | 0,15 | -0,31 | -0,97 | -0,88 | – | 0,32 | 1,00 | -0,68 |
| ±m _r | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,03 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,00 | 0,08 |
| t _r | 11,38 | 6,14 | 1,39 | 3,02 | 36,54 | 16,79 | 3,09 | 3,07 | – | 8,18 |
| <i>Признак 10 – суммарное содержание пигментов</i> | | | | | | | | | | |
| r | 0,98 | 0,95 | 0,61 | -0,15 | 0,62 | 0,78 | -0,14 | 0,14 | -0,68 | 1,00 |
| ±m _r | 0,02 | 0,03 | 0,09 | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,11 | 0,11 | 0,08 | 0,00 |
| t _r | 43,76 | 29,51 | 7,19 | 1,37 | 7,21 | 11,40 | 1,25 | 1,24 | 8,23 | – |

Примечание: r – коэффициент корреляции; ±m_r – ошибка; t_r – фактическое значение t-критерия Стьюдента.

Весьма высокая (по шкале Чеддока) теснота связи обнаружена при сопоставлении признаков «содержание хлорофилла *a*» и «суммарное содержание пигментов» ($r = 0,97 \pm 0,02$; $t = 41,46$). Высокая теснота связи зафиксирована между признаками «содержание хлорофилла *a*» и «содержание хлорофилла *b*» ($r = 0,87 \pm 0,05$; $t = 16,74$), а также по отношению содержания различных форм хлорофилла к содержанию каротиноидов: отношение содержания хлорофилла *a* – $r = 0,74 \pm 0,07$; $t = 10,13$; отношение содержания хлорофилла *b* ($r = 0,79 \pm 0,07$; $t = 11,63$). В случае признака «содержание хлорофилла *b*» прослеживается аналогичная картина: весьма высокая связь с суммарным содержанием пигментов ($r = 0,95 \pm 0,03$; $t = 27,96$); высокая связь – с отношением содержания хлорофилла *b* к содержанию каротиноидов ($r = 0,78 \pm 0,07$; $t = 11,28$). Однако в этом случае связь с признаком «отношение содержания хлорофилла *a* к содержанию каротиноидов» оказалась умеренной ($r = 0,45 \pm 0,10$; $t = 4,60$). Корреляция между признаками «содержание каротиноидов» и «суммарное содержание пигментов» относится к заметной ($r = 0,61 \pm 0,09$; $t = 6,85$). Зависимость содержания каротиноидов от содержания хлорофилла *a* оказалась умеренной ($r = 0,48 \pm 0,09$; $t = 5,12$), по содержанию хлорофилла *b* – заметной ($r = 0,68 \pm 0,08$; $t = 8,77$).

Характер взаимосвязи значений основных характеристик пигментного состава хвои лиственницы представлен в табл. 2.

В табл. 2 приведены уравнения регрессии и оценки их статистической достоверности, полученные для ключевых количественных признаков содержания основных пигментов в хвое лиственницы.

Таблица 2

**Взаимозависимость основных характеристик пигментного состава
хвои лиственницы**

| Признак | Уравнение $y = ax + b$ | R ² | t-статистика коэффициентов | | F | Значимость F ₀₅ |
|--|---------------------------|----------------|-------------------------------|--------|----------|-------------------------------|
| | | | a | b | | |
| <i>Признак 1 – содержание хлорофилла a</i> | | | | | | |
| 2 | $y = 1,628x + 0,920$ | 0,761 | 16,741 | 4,715 | 280,257 | 4,29E-29 |
| 3 | $y = 4,681x + 1,351$ | 0,229 | 5,116 | 2,466 | 26,178 | 1,81E-06 |
| 4 | $y = 0,209x + 3,695$ | 0,003 | 0,528 | 4,410 | 0,279 | 5,99E-01 |
| 5 | $y = 0,490x + 0,715$ | 0,547 | 10,309 | 2,134 | 106,267 | 8,38E-17 |
| 6 | $y = 1,198x + 0,163$ | 0,617 | 11,903 | 0,484 | 141,678 | 4,99E-20 |
| 7 | $y = 2,565x + 2,320$ | 0,005 | 0,634 | 1,034 | 0,401 | 5,28E-01 |
| 8 | $y = 4,884x - 2,320$ | 0,005 | -0,634 | 4,125 | 0,401 | 5,28E-01 |
| 9 | $y = -37,03x + 7,797$ | 0,595 | -11,382 | 24,015 | 129,551 | 5,53E-19 |
| 10 | $y = 0,631x - 0,092$ | 0,956 | 43,755 | -0,944 | 1914,463 | 1,68E-61 |
| <i>Признак 2 – содержание хлорофилла b</i> | | | | | | |
| 1 | $y = 0,467x + 0,042$ | 0,761 | 16,741 | 0,361 | 280,257 | 4,29E-29 |
| 3 | $y = 3,575x - 0,153$ | 0,466 | 8,767 | -0,625 | 76,862 | 1,24E-13 |
| 4 | $y = -0,858x + 3,782$ | 0,185 | -4,469 | 9,320 | 19,975 | 2,33E-05 |
| 5 | $y = 0,159x + 0,868$ | 0,199 | 4,682 | 3,640 | 21,919 | 1,03E-05 |
| 6 | $y = 0,634x - 0,128$ | 0,602 | 11,549 | -0,700 | 133,383 | 2,55E-19 |
| 7 | $y = -7,794x + 7,252$ | 0,179 | -4,375 | 6,010 | 19,145 | 3,32E-05 |
| 8 | $y = 7,794x - 0,542$ | 0,179 | 4,375 | -0,940 | 19,145 | 3,32E-05 |
| 9 | $y = -14,08x + 3,367$ | 0,300 | -6,142 | 14,717 | 37,726 | 2,30E-08 |
| 10 | $y = 0,329x - 0,233$ | 0,908 | 29,514 | -3,077 | 871,079 | 2,02E-47 |

Окончание табл. 2

| Признак | Уравнение $y = ax + b$ | R^2 | t-статистика коэффициентов | | F | Значи- мость F_{05} |
|--|---------------------------|-------|-------------------------------|--------|--------|-----------------------------|
| | | | a | b | | |
| <i>Признак 3 – содержание каротиноидов</i> | | | | | | |
| 1 | $y = 0,049x + 0,392$ | 0,229 | 5,116 | 9,793 | 26,178 | 1,81E-06 |
| 2 | $y = 0,130x + 0,337$ | 0,466 | 8,767 | 11,319 | 21,745 | 1,10E-05 |
| 4 | $y = -0,193x + 1,001$ | 0,256 | -5,497 | 13,511 | 30,213 | 3,73E-07 |
| 5 | $y = -0,016x + 0,705$ | 0,054 | -2,251 | 14,245 | 5,069 | 2,69E-02 |
| 6 | $y = 0,012x + 0,557$ | 0,005 | 0,696 | 10,039 | 0,484 | 4,89E-01 |
| 7 | $y = -1,787x + 1,805$ | 0,258 | -5,526 | 8,240 | 30,537 | 3,29E-07 |
| 8 | $y = -0,103x + 0,636$ | 0,198 | -4,663 | 58,695 | 21,745 | 1,10E-05 |
| 9 | $y = 0,724x + 0,523$ | 0,022 | 1,400 | 10,132 | 1,959 | 1,65E-01 |
| 10 | $y = -0,103x + 0,636$ | 0,198 | -4,663 | 58,695 | 21,745 | 1,10E-05 |

Примечание: R^2 – коэффициент достоверности аппроксимации; F – критерий Фишера; F_{05} – теоретическое значение критерия Фишера на 5 %-м уровне значимости.

По всем признакам опытное значение критерия Фишера превышает табличное. Уравнение прямой линии достаточно надежно описывает взаимосвязь признаков «содержание хлорофилла *a*» и «суммарное содержание пигментов»: $y = 0,631x - 0,092$ ($R^2 = 0,956$). Достаточно близкий уровень зависимости наблюдается при сопоставлении признаков «содержание хлорофилла *a*» и «содержание хлорофилла *b*»: $y = 1,628x + 0,920$ ($R^2 = 0,761$).

В представленных уравнениях значения коэффициентов при аргументах (*a*) и свободных членов (*b*) статистически достоверны и близки, о чем свидетельствуют t-критерии, во много раз превышающие критический уровень: $t_a = 43,755$ и $16,741$; $t_b = -0,944$ и $4,715$ соответственно. Относительно достоверна и положительно направлена связь признака «содержание хлорофилла *a*» с двумя признаками «отношение содержания хлорофилла *b* к содержанию каротиноидов» и «отношение содержания хлорофилла *a* к содержанию каротиноидов». Уравнения имели следующий вид: $y = 1,198x + 0,163$ ($R^2 = 0,617$) и $y = 0,490x + 0,715$ ($R^2 = 0,547$). По остальным признакам коэффициент достоверности аппроксимации оказался преимущественно статистически ненадежен.

Заключение

Связь между содержанием в хвое пигментов разных форм для исследуемых видов лиственницы тесная и статистически достоверная, что позволит использовать эти показатели в качестве критерия информационной оценки селекционного материала. Количественные показатели содержания зеленых пигментов тесно связаны с суммарным содержанием пигментов, включая каротиноиды, в фотосинтезирующем аппарате анализируемых видов лиственницы. Связь показателей содержания зеленых пигментов с долей их участия, а также между их отношениями друг к другу предельно низкая. Полученные в ходе исследований данные могут подтвердить резистентность опытных интродуцентов к лимитирующим факторам среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессчетнов В.П. Перспективы развития плантационного лесоводства на селекционно-генетической основе в Нижегородской области // Лесной комплекс Нижегородского Поволжья: проблемы, состояние и перспективы развития. Н. Новгород: Нижегород. гос. с.-х. акад., 2006. С. 21–32.

2. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Есичев А.О. Оценка физиологического состояния представителей рода лиственница (*Larix Mill.*) в условиях Нижегородской области // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 9–17. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Бессчетнов В.П., Чишкина А.В., Рубцов Б.В. Сравнительная оценка таксационных показателей ели европейской в лесных культурах и промышленных плантациях на севере Нижегородской области // Лесной комплекс Нижегородского Поволжья: проблемы, состояние и перспективы развития. Н. Новгород: Нижегород. гос. с.-х. акад., 2006. С. 32–36.

4. Бокова В.В. Перспективы создания плантационных культур ели в Нижегородской области // Защитное лесоразведение, мелиорация земель и проблемы земледелия в Российской Федерации: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Волгоград, 23–26 сент. 2008 г. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2008. С. 138–140.

5. Бокова В.В. Состояние и перспективы развития плантационных культур в Нижегородской области и России // Нижегород. аграр. вестн. Н. Новгород: Нижегород. гос. с.-х. акад., 2012. С. 284–290.

6. Государственная программа Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства на 2013–2020 гг.»: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 дек. 2012 г. № 2593-р // Собр. законодательства РФ. 2013. № 2. 230 с.

7. Демаков Ю.П., Краснов В.Г., Исаев А.В. Закономерности строения и развития древостоя на плантации лиственницы сибирской в краткочерном экотопе // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 1(33). С. 36–49.

8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

9. Есичев А.О. Сравнительная оценка ассортимента клонов плюсовых деревьев лиственницы Сукачева (*L. Sukaczewii Džil*) на лесосеменной плантации в Нижегородской области // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2016. № 3(59). С. 66–68.

10. Зарубина Л.В., Коновалов В.Н. Особенности сезонной динамики пигментов в листьях растений сосняка кустарничково-сфагнового // Лесн. журн. 2009. № 4. С. 24–32. (Изв. высш. учеб. заведений).

11. Коптев В.В., Богомягких В.А., Трифонова М.Ф. Основы научных исследований и патентования. М.: Колос, 1993. 144 с.

12. Лакин Г.Ф. Биометрия. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1980. 293 с.

13. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18 авг. 2014 г. № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» (с изменениями на 21 марта 2016 г.): зарегистрировано в Мин-ве юстиции РФ 29 сент. 2014 г., № 34186. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420224339> (дата обращения: 30.03.2018).

14. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 28 марта 2016 г. № 100 «О внесении изменений в приказ Рослесхоза от 08.10.2015 № 353 “Об установлении лесосеменного районирования”» // Собр. законодательства РФ. 2013. № 2. 230 с.

15. Прожерина Н.А., Наквасина Е.Н. Внутри- и межвидовые метаболические особенности у лиственницы при адаптации на севере // Лесн. журн. 2008. № 5. С. 30–36. (Изв. высш. учеб. заведений).

16. Ходасевич Э.В. Фотосинтетический аппарат хвойных (онтогенетический аспект). Минск: Наука и техника, 1982. 199 с.

17. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971. С. 154–170.

18. Duysens L.N.M., Amesz J., Kamp B.M. Two Photochemical Systems in Photosynthesis // Nature. 1961. Vol. 190, no. 4775. Pp. 510–511.

19. *Lichtenthaler H.K., Buschmann C.* Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy // Current Protocols in Food Analytical Chemistry / Ed. by R.E. Wrolstad, T.E. Acree, H. An, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, P. Sporns. New York: John Wiley and Sons, 2001. F4.3.1-F4.3.8. Available at: http://www.thyssen-web.de/assets/files/fd_documents/sp_buche/uv_vis_pigmente.pdf (accessed 10.05.2014).

20. *Miażek K., Ledakowicz S.* Chlorophyll Extraction from Leaves, Needles and Microalgae: a Kinetic Approach // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2013. Vol. 6. no. 2. Pp. 107–115. Available at: <http://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/viewFile/642/580> (accessed 17.07.2014).

21. *Niinemets Ü.* Stomatal Conductance Alone does not Explain the Decline in Foliar Photosynthetic Rates with Increasing Tree Age and Size in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* // Tree Physiology. 2002. Vol. 22, iss. 8. Pp. 515–535. Available at: <http://treephys.oxfordjournals.org/content/22/8/515.full.pdf+html> (accessed 27.03.2012).

22. *Niinemets Ü., Ellsworth D.S., Lukjanova A., Tobias M.* Site Fertility and the Morphological and Photosynthetic Acclimation of *Pinus sylvestris* Needles to Light // Tree Physiology. 2001. Vol. 21, iss. 17, Pp. 1231–1244. Available at: <http://treephys.oxfordjournals.org/content/21/17/1231.full.pdf+html> (accessed 27.03.2012).

23. *Niinemets Ü., Ellsworth D.S., Lukjanova A., Tobias M.* Dependence of Needle Architecture and Chemical Composition on Canopy Light Availability in Three North American *Pinus* Species with Contrasting Needle Length // Tree Physiology. 2002. Vol. 22, iss. 11. Pp. 747–761. Available at: <http://treephys.oxfordjournals.org/content/22/11/747.full.pdf+html> (accessed 29.03.2012).

24. *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. Available at: http://www.thyssen-web.de/assets/files/fd_documents/sp_buche/Wellburn.pdf (accessed 29.03.2012).

Поступила 06.03.18

UDC 582.475.2+581.174.1/.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.43

Correlation of Characteristics of the Needle Pigment Combination of Representatives of the Genus Larch (*Larix* Mill.) in the Arboretum of the Sergachsky Forestry in the Nizhny Novgorod Region

A.O. Esichev, Postgraduate Student

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, pr. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: andrey.esichev@mail.ru

Larch as a forest-forming species, occupies vast territories of the forest fund of the Russian Federation, providing a species diversity of dendroflora. Within the range, larch creates highly productive, stable, pure and mixed plantations. Larch distribution is rather limited in the Nizhny Novgorod region. This species is of interest for plantation forestry, urban landscaping, protective forestation. This attracts attention to a multifaceted assessment of the prospects for the further species use of the genus larch. The effective attraction for of these species in the newly created artificial plantations is impossible without a study of their adaptive capacity.

For citation: Esichev A.O. Correlation of Characteristics of the Needle Pigment Combination of Representatives of the Genus Larch (*Larix* Mill.) in the Arboretum of the Sergachsky Forestry in the Nizhny Novgorod Region. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 3, pp. 43–53. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.43

Green pigments and carotenoids determine the normal operation of the plant photosynthetic apparatus. Their content and ratio in needles correlate with resistance and can be the indicator of resistance to unfavorable environmental factors. In this regard, the author faces a task of establishing the correlation ratio and the nature of the dependence between characteristics of the needles pigment combination of various species of larch during the introduction in the Nizhny Novgorod region. The study subject is autochthonous and introduced species of larch; their representatives are located in the collection plantings of the dendrological complex "Yavleika" in the Sergachsky forestry of the Nizhny Novgorod region. The total number of accounting trees is 30 (10 trees of each type). Species composition is represented by Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.), Dahurian (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) and Sukachev's larch (*Larix sukaczewii* Djil. Dyl). 90 samples are prepared for the analysis. Spectrophotometric analysis is applied as the most accurate for the quantitative estimation of pigments of the leaf apparatus. The concentration of pigments is calculated by the equations of Wetstein and Holm. The result of the analysis is the correlation matrices and the equations of interdependence of values of main characteristics of the pigment combination of larch needles. The linkage between the studied characteristics for all the larch species are determined. Experimental values of the Student's test turn out to be higher than the tabulated ones; the accuracy factor of the experiment does not exceed the values permissible for biological studies of the five-percent level. The numerical values of the content of all the main pigments indicate a correlation.

Keywords: larch, needles, chlorophyll-*a*, chlorophyll-*b*, carotenoid, introduction, interspecies variation, correlation, regression.

REFERENCES

1. Besschetnov V.P. Perspektivy razvitiya plantatsionnogo lesovodstva na selekcionno-geneticheskoy osnove v Nizhegorodskoy oblasti [Prospects for the Development of Plantation Forestry on the Breeding and Genetic Basis in the Nizhny Novgorod Region]. *Lesnoy kompleks Nizhegorodskogo Povolzh'ya: problemy, sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Forest Complex of the Nizhny Novgorod Volga Region: Problems, State and Development Prospects]. Nizhny Novgorod, NNSAA Publ., 2006, pp. 21–32. (In Russ.)
2. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Esichev A.O. Otsenka fiziologicheskogo sostoyaniya predstaviteley roda listvennitsa (*Larix* Mill.) v usloviyakh Nizhegorodskoy oblasti [Physiological State Evaluation of Representatives of the Genus Larch (*Larix* Mill.) in the Nizhny Novgorod Region]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 9–17.
3. Besschetnov V.P., Chishkina A.V., Rubtsov B.V. Sravnitel'naya otsenka taksatsionnykh pokazateley eli evropeyskoy v lesnykh kult'urakh i promyshlennykh plantatsiyakh na severe Nizhegorodskoy oblasti [Comparative Assessment of Taxation Indicators of Norway Spruce in Forest Cultures and Industrial Plantations in the North of the Nizhny Novgorod Region]. *Lesnoy kompleks Nizhegorodskogo Povolzh'ya: problemy, sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Forest Complex of the Nizhny Novgorod Region: Problems, State and Development Prospects]. Nizhny Novgorod, NNSAA Publ., 2006, pp. 32–36. (In Russ.)
4. Bokova V.V. Perspektivy sozdaniya plantatsionnykh kul'tur eli v Nizhegorodskoy oblasti [Prospects for the Creation of Plantation Spruce Crops in the Nizhny Novgorod Region]. *Zashchitnoe lesorazvedenie, melioratsiya zemel' i problemy zemledeliya v Rossiyskoy Federatsii: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Volgograd, 23–26 sent. 2008 g.* [Protective Afforestation, Land Reclamation and Farming Problems in the Russian Federation: Proc. Intern. Sci. Practical Conf., Volgograd, September 23–26, 2008]. Volgograd, All-Russ. Agroforestry Research Institute Publ., 2008, pp. 138–140. (In Russ.)
5. Bokova V.V. Sostoyanie i perspektivy razvitiya plantatsionnykh kul'tur v Nizhegorodskoy oblasti i Rossii [State and Prospects of Development of Plantation Crops in the Nizhny Novgorod Region and Russia]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Vestnik of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2012, vol. 1, pp. 284–290.

6. Gosudarstvennaya programma Rossiyskoy Federatsii «Razvitie lesnogo khozyaystva na 2013–2020 gg.»: utv. rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 28 dek. 2012 g. № 2593-r [The State Program of the Russian Federation “Forestry Development for 2013–2020”: Approved by the Decree of the Government of the RF of 28 December 2012, No. 2593-r]. *Sobranie zakonodatel'stva RF* [Collected Acts of the Russian Federation], 2013, no. 2. 230 p.
7. Demakov Yu.P., Krasnov V.G., Isaev A.V. Zakonomernosti stroeniya i razvitiya drevostoya na plantatsii listvennitsy sibirskoy v kratkopoymennom ekotopie [Structural and Developmental Patterns of the Stand in the Siberian Larch Plantations in the Bottomland Ecotope]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management], 2017, no. 1(33), pp. 36–49.
8. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Field Test Methodology (with the Basics of Statistical Processing of Research Results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 351 p. (In Russ.)
9. Esichev A.O. Sravnitel'naya otsenka assortimenta klonov plusovoykh derev'ev listvennitsy Sukacheva (*L. Sukaczewii* Djil) na lesosemnoy plantatsii v Nizhegorodskoy oblasti [Comparative Assessment of Plus Trees Clones of Sukachev Larch (*L. Sukaczewii* Djil) Grown on the Forest-Seed Plantation in Nizhegorodsky Region]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestia of Orenburg State Agrarian University], 2016, no. 3(59), pp. 66–68.
10. Zarubina L.V., Konovalov V.N. Osobennosti sezonnoy dinamiki pigmentov v list'yakh rasteniy sosnyaka kustarnichkovo-sfagnovogo [Seasonal Dynamics' Peculiarities of Leaves' Pigments in Fruticulose-sphagnous Pine Stands]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2009, no. 4, pp. 24–32.
11. Koptev V.V., Bogomyagkikh V.A., Trifonova M.F. *Osnovy nauchnykh issledovaniy i patentovedeniya* [Fundamentals of Scientific Research and Patent Science]. Moscow, Kolos Publ., 1993. 144 p. (In Russ.)
12. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980. 293 p. (In Russ.)
13. *Prikaz Ministerstva prirodnikh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 18 avg. 2014 g. № 367 «Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossiyskoy Federatsii i Perechnya lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii» (s izmeneniyami na 21 marta 2016 g.): zaregistrirvano v Ministerstve yustitsii RF 29 sent. 2014 g., № 34186* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation on August 18, 2014, No. 367 “On Approval of the List of Forest Plant Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation” (as Amended on March 21, 2016): Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on 29 September 2014, No. 34186]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420224339> (accessed 30.03.2018).
14. *Prikaz Federal'nogo Agentstva lesnogo khozyaystva ot 28 marta 2016 g. № 100 «O vnesenii izmeneniy v prikaz Rosleskhoza ot 08.10.2015 № 353 «Ob ustanovlenii lesosemennogo rayonirovaniya»* [Order of the Federal Forestry Agency No. 100 of March 28, 2016 “On Amendments to the Order of the Federal Forestry Agency No. 353 of 08.10.2015 “On the Establishment of Forest Seed Zoning”]. *Sobranie zakonodatel'stva RF* [Collected Acts of the Russian Federation], 2013, no. 2. 230 p.
15. Prozherina N.A., Nakvasina E.N. Vnutri- i mezhdovidovye metabolicheskie osobennosti u listvennitsy pri adaptatsii na severe [Intra- and Interspecies Metabolic Peculiarities of Larch under Adaptation to North]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2008, no. 5, pp. 30–36.
16. Khodasevich E.V. *Fotosinteticheskiy apparat khvoynykh: ontogeneticheskiy aspekt* [Photosynthetic Apparatus of Conifers: Ontogenetic Aspect]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 199 p. (In Russ.)

17. Shlyk A.A. Opredelenie khlorofillov i karotinoidov v ekstraktakh zelenykh list'ev [Determination of Chlorophylls and Carotenoids in Extracts of Green Leaves]. *Biokhimicheskie metody v fiziologii rasteniy* [Biochemical Methods in Plant Physiology]. Moscow, Nauka Publ., 1971, pp. 154–170. (In Russ.)

18. Duysens L.N.M., Ames J., Kamp B.M. Two Photochemical Systems in Photosynthesis. *Nature*, 1961, vol. 190, no. 4775, pp. 510–511.

19. Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. Ed. by R.E. Wrolstad, T.E. Acree, H. An, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, P. Sporns. New York, John Wiley and Sons, 2001, F4.3.1-F4.3.8. Available at: http://www.thyssen-web.de/assets/files/fd_documents/sp_buche/uv_vis_pigmente.pdf (accessed 10.05.2014).

20. Miazek K., Ledakowicz S. Chlorophyll Extraction from Leaves, Needles and Microalgae: a Kinetic Approach. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2013, vol. 6, no. 2, pp. 107–115. Available at: <http://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/viewFile/642/580> (accessed 17.07.2014).

21. Niinemets Ü. Stomatal Conductance Alone does not Explain the Decline in Foliar Photosynthetic Rates with Increasing Tree Age and Size in *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Tree Physiology*, 2002, vol. 22, iss. 8, pp. 515–535. Available at: <http://treephys.oxfordjournals.org/content/22/8/515.full.pdf+html> (accessed 27.03.2012).

22. Niinemets Ü., Ellsworth D.S., Lukjanova A., Tobias M. Site Fertility and the Morphological and Photosynthetic Acclimation of *Pinus sylvestris* Needles to Light. *Tree Physiology*, 2001, vol. 21, iss. 17, pp. 1231–1244. Available at: <http://treephys.oxfordjournals.org/content/21/17/1231.full.pdf+html> (accessed 27.03.2012).

23. Niinemets Ü., Ellsworth D.S., Lukjanova A., Tobias M. Dependence of Needle Architecture and Chemical Composition on Canopy Light Availability in Three North American *Pinus* Species with Contrasting Needle Length. *Tree Physiology*, 2002, vol. 22, iss. 11, pp. 747–761. Available at: <http://treephys.oxfordjournals.org/content/22/11/747.full.pdf+html> (accessed 29.03.2012).

24. 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. Available at: http://www.thyssen-web.de/assets/files/fd_documents/sp_buche/Wellburn.pdf (accessed 29.03.2012).

Received on March 06, 2018
