

Научная статья

УДК 635.92+582.477.2

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.2.31>

EDN: GJDJNV

## Пигментный состав хвои декоративных форм и сортов туи западной (*Thuja occidentalis*) в условиях Нижегородской области

М. Ю. Котынова, А. И. Ханявин, Н. Н. Бессчётнова, В. П. Бессчётнов✉

Нижегородский государственный агротехнологический университет,

Российская Федерация, 603107, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97

lesfak@bk.ru✉

**Аннотация.** *Введение.* Проблема формирования ассортиментного состава озеленительных насаждений современных городов тесно перекликается с острой потребностью в стабилизации экологических параметров среды урбанизированных территорий. В состав городских насаждений включают представителей инорайонной флоры. К их числу относят тую западную (*Thuja occidentalis* L.), сорта и формы которой используют в защитных, мелиоративных и озеленительных насаждениях. *Цель* исследований – сравнительная оценка декоративных форм и сортов туи западной по показателям пигментного состава хвои при их введении в городские насаждения на территории Нижегородской области. *Объекты и методы* исследований. Объектами исследований служили девять сортов и типичная форма туи западной, размещённые на одном опытном участке дендрария Нижегородского ГАТУ. Соблюдали принципы единственного логического различия, типичности, пригодности, целесообразности и надёжности опыта. Использовали одновозрастные растения вегетативного происхождения при их общем числе 30 шт. С них одновременно срезали по пять однотипных одновозрастных побегов в одинаковом фенологическом состоянии, без признаков повреждения биотическими и абиотическими факторами и отклонений от нормального развития. Пластидные пигменты выявляли спектрофотометром СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4. *Результаты.* Сорта и формы туи западной неоднородны в оценках пигментного состава хвои, что наблюдалось как в начале, так и в конце вегетационного периода. По содержанию хлорофилла-а в весенний период наибольшая оценка соответствовала сорту 'Mr. Bowling Ball' ( $2,51 \pm 0,06$  мг/г), а наименьшая – сорту 'Sunkist' ( $0,39 \pm 0,05$  мг/г). Осенью его наибольшее количество ( $3,16 \pm 0,02$  мг/г) зафиксировано у сорта 'Danica', а наименьшее ( $1,81 \pm 0,03$  мг/г) – у сорта 'Rheingold'. Дисперсионный анализ подтвердил наследственную обусловленность отмеченных различий для каждого срока учёта. *Выводы.* В условиях интродукции в Нижегородскую область пигментный состав хвои декоративных сортов и типичной формы туи западной сезонно нестабилен и подвержен значительным изменениям содержания и соотношения хлорофилла и каротиноидов в начале и в конце вегетационного периода, при том, что в осенний период их концентрация повышается.

**Ключевые слова:** интродукция; пластидные пигменты; хлорофилл; каротиноиды; изменчивость; наследственная обусловленность

**Финансирование:** авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

---

**Для цитирования:** Котынова М. Ю., Ханявин А. И., Бессчётнова Н. Н., Бессчётнов В. П. Пигментный состав хвои декоративных форм и сортов туи западной (*Thuja occidentalis*) в условиях Нижегородской области // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 2 (62). С. 31–45. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.2.31>; EDN: GJDJNV

---

### Введение.

Проблема формирования оптимального ассортимента состава озеленительных насаждений современных городов тесно перекликается с острой потребностью в стабилизации экологических параметров среды урбанизированных территорий. На текущий момент они не могут быть признаны соответствующими действующим санитарным нормам, а городской пейзаж зачастую нуждается в серьёзном улучшении. Универсальным инструментом в решении указанных задач повсеместно признаны насаждения из деревьев и кустарников, которые эффективно выполняют санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции. При этом в состав таких объектов городской инфраструктуры нередко включают наиболее ценных представителей инорайонной флоры. Особую роль здесь играют хвойные виды, сохраняющие свою листовую массу и в зимний период. К их числу с полным основанием можно причислить тую западную (*Thuja occidentalis* L.), многочисленные сорта и декоративные формы которой находят применение в создании защитных, мелиоративных и озеленительных насаждений [1–5]. Наличие достаточного объёма данных об особенностях биологии последних, доступность информации о потенциале семенной репродукции и регенерационной способности в новых местообитаниях может способствовать полномасштабному вовлечению их в хозяйственный оборот, в связи с чем весьма актуальны работы в указанном направлении [6–8]. Резистентность, экологическая пластичность и достигнутый уровень адаптированности экзотов в местах расселения во многом обуславливают успех интродукционных мероприятий. В частности, это предопределяет возможности расширения границ территориального распространения перспективных форм и сортов туи западной в культуре и создаёт предпосылки для диверсификации форм их практического применения

в Среднем Поволжье и Нижегородской области.

**Цель** работы – сравнительная оценка декоративных форм и сортов туи западной по основным показателям пигментного состава хвои при их введении в городские насаждения на территории Нижегородской области.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследований служили девять декоративных форм и сортов туи западной, краткая морфологическая характеристика листового аппарата которых приведена ниже:

– *Thuja occidentalis* f. 'Golden Smaragd' характеризуется желтовато-зелёной хвоей с интенсивно окрашенными яркими золотистыми кончиками;

– *Thuja occidentalis* f. 'Rheingold' с ярко-жёлтой хвоей, на фоне которой хорошо заметны молодые приросты с оранжевым оттенком;

– *Thuja occidentalis* f. 'Danica' имеет густую чешуевидную хвою зелёной блестящей окраски, которая зимой практически не меняет цвет или становится коричневатозелёной;

– *Thuja occidentalis* f. 'Golden Globe', обладающая золотисто-зелёной окраской хвои, которая с наступлением холодов приобретает бурый оттенок;

– *Thuja occidentalis* f. 'Sunkist', чешуевидная хвоя которой в период активного роста приобретает золотисто-зелёный цвет, затем становится ярко-жёлтой, а в конце осени – бронзовой;

– *Thuja occidentalis* f. 'Yellow ribbon' с золотисто-жёлтой в течение лета хвоей, приобретающей оранжево-коричневатые оттенки в конце вегетационного периода;

– *Thuja occidentalis* f. 'Mr. Bowling Ball' с тёмно-зелёной летней хвоей, приобретающей в конце вегетационного периода и зимой лёгкий бронзовый оттенок;

– *Thuja occidentalis* f. 'Mirjam' – хвоя чешуевидная, яркая светло-золотистожёлтая, блестящая, зимой приобретает бронзовый оттенок;

– *Thuja occidentalis* f. 'Tiny Tim' с густой чешуевидной, ярко-зелёной блестящей хвоей, которая в конце осени и зимой приобретает коричневатый оттенок.

Контролем (базой сравнения) выступала типичная форма туи западной (*Thuja occidentalis* L. f.), особи которой имели сопоставимый возраст и такое же, как в вариантах опыта, вегетативное происхождение. Её чешуевидная хвоя имеет интенсивную средне-зелёную окраску, изменяющуюся на буро-зелёную в конце осени. Отмеченная особенность динамики сезонного состояния большинства известных форм и сортов туи западной легла в основу выдвижения гипотезы о нестабильном во временном аспекте характере пигментного состава их хвои. В организационно-методической схеме опыта каждый из перечисленных форм и сортов представлен в трёхкратной повторности. Все вошедшие в схему опыта растения были расположены в пределах одного опытного участка на территории дендрария Нижегородского ГАТУ. Согласно современной системе лесорастительного районирования его территория входит в зону хвойно-широколиственных лесов и отнесена к району хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Регион характеризуется влажным климатом с умеренно тёплым и влажным летом и умеренно суровой снежной зимой. В нём распространены серые лесные, а также дерново-подзолистые и подзолистые почвы, в силу чего лесорастительные условия признаются вполне благоприятными для успешного произрастания обширного перечня видов хвойных деревьев и кустарников, включая интродуцентов, в числе которых туя западная [9]. В работе соблюдали базовые требования к организации опыта: типичность, пригодность, целесообразность, надёжность, принцип единственного логического различия. Ввиду указанных обстоятельств в лабораторных исследованиях использованы одновозрастные растения

вегетативного происхождения при их общем числе 30 шт. С каждого из них одновременно срезали по пять однотипных одновозрастных побегов, находящихся в одинаковом фенологическом состоянии и не имеющих признаков повреждения биотическими и абиотическими факторами или отклонений от нормального развития. Местом заготовки являлся средний ярус периферии хорошо освещённого участка кроны. Объединённая хвоя с каждого из них служила исходным материалом для приготовления экстракционной навески. Их общее число в однократном учёте составило 150 шт. Анализ повторяли в начале (07.05.2019 г.) и в конце (10.10.2019 г.) вегетационного периода, что позволило сформировать массивы, содержащие по 150 единиц учётов каждого признака, и единую базу данных из 1 950 дата-единиц. Её статистическую обработку, включая дисперсионный анализ, выполняли по общепринятым алгоритмам.

В основу проведения исследований легли имеющиеся фундаментальные разработки по пигментному составу листового аппарата растений [10–13]. Согласно им выявляли наличие в хвое хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b*, их суммарное количество и концентрацию каротиноидов. В этих целях был реализован спектрофотометрический метод их количественного определения [14–16]. Его теоретической платформой выступает оценка содержания пигментов по оптической плотности экстракционной вытяжки. Использовали спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4, которое позволяло визуализировать спектры поглощения указанных веществ на мониторе компьютера. Значения максимумов поглощения хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b* и каротиноидов на полученных в указанном порядке графиках фиксировали при длинах волн: 665, 649, 452,5 нм соответственно. Принимая во внимание возможность некоторого смещения максимумов в зависимости от оптических

свойств используемого экстрагента [17–19], готовили его эталон. Вычисление концентрации указанных веществ в мг/г сырой массы хвои вели по уравнениям Ветшттейна и Хольма для оптически чистого 100 % ацетона и для 96 % этанола [15, 17, 19]. Навеску калибровали с точностью до 0,001 г на прецизионных аналитических весах VIC-300d3. Содержание пигментов на единицу массы сухого вещества вычисляли с определением его доли в каждой навеске после высушивания хвои до абсолютно сухого состояния в шкафах HS 61 A [20–22]. Расчётным путём последовательно находили отношение содержания разных форм хлорофилла; отношение содержания хлорофилла-*a* и содержания хлорофилла-*b* к содержанию каротиноидов, их долю в пигментном составе и общее количество пигментов. Принятый подход традиционен в исследованиях пигментного состава фотосинтезирующего аппарата [13, 18, 22].

### Результаты и их обсуждение

Сравниваемые между собой декоративные сорта и формы туи западной неоднородны в оценках пигментного состава хвои, что отчётливо наблюдалось как в начале, так и в конце вегетационного периода (табл. 1–6). Так, по содержанию хлорофилла-*a* (см. табл. 1) в клетках хвои в весенний период сорта туи западной демонстрировали неоднородность своих оценок, наибольшая из которых соответствовала сорту 'Mr. Bowling Ball' ( $2,51 \pm 0,06$  мг/г), а наименьшая – сорту 'Sunkist' ( $0,39 \pm 0,05$  мг/г). Превышение первой над второй составило 2,11 мг/г, или в 6,35 раза. Типичная форма (контроль), показав наличие этого пигмента в количестве  $1,80 \pm 0,03$  мг/г, превысило обобщённое по всему массиву значение (Total)  $1,29 \pm 0,06$  мг/г на 0,51 мг/г, или в 1,40 раза. При этом отношение абсолютных лимитов в данный срок учёта принципиально больше – в 24,06 раза.

Таблица 1. Содержание хлорофилла-*a* в клетках хвои туи западной  
Table 1. Chlorophyll-*a* content in the cells of Western thuja needles

Сорт, форма (вариант опыта)	Среднее, мг/г	Максимум, мг/г	Минимум, мг/г	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
Весна (первый срок учёта): 07.05.2019 г.					
'Golden Smaragd'	$0,77 \pm 0,10$	1,30	0,19	49,07	12,67
'Rheingold'	$0,58 \pm 0,05$	0,80	0,12	34,51	8,91
'Danica'	$1,64 \pm 0,13$	2,60	0,87	31,83	8,22
'Golden Globe'	$1,00 \pm 0,13$	1,61	0,26	48,40	12,50
'Sunkist'	$0,39 \pm 0,05$	0,69	0,13	48,74	12,59
'Yellow ribbon'	$0,99 \pm 0,04$	1,35	0,78	15,97	4,12
'Mr. Bowling Ball'	$2,51 \pm 0,06$	2,97	2,10	8,69	2,24
'Mirjam'	$1,46 \pm 0,05$	1,84	1,18	13,81	3,57
'Tiny Tim'	$1,72 \pm 0,04$	2,00	1,48	8,42	2,17
Контроль	$1,80 \pm 0,03$	2,07	1,70	5,62	1,45
Total	$1,29 \pm 0,06$	2,97	0,12	53,11	4,34
Осень (второй срок учёта): 10.10.2019 г.					
'Golden Smaragd'	$2,10 \pm 0,02$	2,22	1,90	4,25	1,10
'Rheingold'	$1,81 \pm 0,03$	1,94	1,55	6,14	1,59
'Danica'	$3,16 \pm 0,02$	3,25	3,01	2,59	0,67
'Golden Globe'	$2,89 \pm 0,13$	3,34	2,07	17,46	4,51
'Sunkist'	$1,91 \pm 0,02$	2,03	1,69	4,89	1,26
'Yellow ribbon'	$2,04 \pm 0,02$	2,19	1,92	3,87	1,00
'Mr. Bowling Ball'	$2,85 \pm 0,05$	3,09	2,56	6,68	1,72
'Mirjam'	$1,84 \pm 0,05$	2,09	1,46	9,46	2,44
'Tiny Tim'	$2,28 \pm 0,05$	2,59	1,94	8,85	2,28
Контроль	$1,94 \pm 0,07$	2,50	1,61	13,58	3,51
Total	$2,28 \pm 0,04$	3,34	1,46	22,73	1,86

Сорта продемонстрировали неодинаковые темпы накопления зелёных пигментов в течение лета, и осенью соотношение между ними по содержанию хлорофилла-*a* изменилось. Его наибольшее количество ( $3,16 \pm 0,02$  мг/г) зафиксировано у сорта 'Danica', а наименьшее ( $1,81 \pm 0,03$  мг/г) – у сорта 'Rheingold'. В этот период превышение большей оценки над меньшей составило  $1,35$  мг/г, или в  $1,75$  раза. В целом, на завершающем этапе вегетационного периода произошло некоторое повышение концентрации хлорофилла-*a* в тканях хвои исследуемых растений, притом что различия в их характеристиках несколько сгладились.

По содержанию в клетках хвои хлорофилла-*b* (см. табл. 2) сорта туи западной также неоднородны, и в начале вегетационного периода принципиально большее его количество ( $1,37 \pm 0,04$  мг/г) наблюдалось у сорта 'Mr. Bowling Ball', в то время как минимум ( $0,25 \pm 0,04$  мг/г) – у сорта

'Rheingold'. Разница этих оценок составила  $1,12$  мг/г, что создало превышение в  $5,48$  раза. Как и по хлорофиллу-*a*, в хвое типичной формы хлорофилла-*b* содержалось больше, чем в обобщённом по всему опыту варианту:  $0,75 \pm 0,01$  и  $0,62 \pm 0,03$  мг/г соответственно. В завершающей фазе сезонного развития у представителей группы сортов хлорофилл-*b* в большем количестве был накоплен у сорта 'Mr. Bowling Ball' ( $0,85 \pm 0,03$  мг/г), однако, типичная форма туи значительно опережала его в этом отношении ( $1,88 \pm 0,05$  мг/г). Минимальная оценка ( $0,21 \pm 0,01$  мг/г), принадлежащая сорту 'Golden Smaragd', в  $9,11$  раза, или на  $1,67$  мг/г меньше показателя типичной формы. Расхождения в обобщённых оценках каждого срока сезонного учёта практически полностью отсутствуют:  $0,62 \pm 0,03$  мг/г (весной) и  $0,62 \pm 0,04$  мг/г (осенью). Это указывает на сезонно стабильный характер данного показателя.

Таблица 2. Содержание хлорофилла-*b* в клетках хвои туи западной

Table 2. Chlorophyll-*b* content in the cells of Western thuja needles

Сорт, форма (вариант опыта)	Среднее, мг/г	Максимум, мг/г	Минимум, мг/г	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
Весна (первый срок учёта): 07.05.2019 г.					
'Golden Smaragd'	$0,27 \pm 0,03$	0,45	0,06	49,41	12,76
'Rheingold'	$0,25 \pm 0,04$	0,66	0,05	65,51	16,91
'Danica'	$0,96 \pm 0,10$	1,64	0,37	40,04	10,34
'Golden Globe'	$0,43 \pm 0,05$	0,79	0,11	45,65	11,79
'Sunkist'	$0,27 \pm 0,04$	0,56	0,06	62,29	16,08
'Yellow ribbon'	$0,50 \pm 0,02$	0,64	0,33	17,13	4,42
'Mr. Bowling Ball'	$1,37 \pm 0,04$	1,64	1,08	10,57	2,73
'Mirjam'	$0,54 \pm 0,03$	0,76	0,37	22,06	5,70
'Tiny Tim'	$0,83 \pm 0,03$	1,05	0,67	13,56	3,50
Контроль	$0,75 \pm 0,01$	0,87	0,66	7,61	1,96
Total	$0,62 \pm 0,03$	1,64	0,05	62,32	5,09
Осень (второй срок учёта): 10.10.2019 г.					
'Golden Smaragd'	$0,21 \pm 0,01$	0,01	0,28	0,12	27,14
'Rheingold'	$0,47 \pm 0,01$	0,01	0,52	0,43	5,87
'Danica'	$0,54 \pm 0,02$	0,02	0,76	0,40	14,77
'Golden Globe'	$0,43 \pm 0,01$	0,01	0,49	0,35	9,16
'Sunkist'	$0,29 \pm 0,02$	0,02	0,38	0,20	21,06
'Yellow ribbon'	$0,49 \pm 0,02$	0,02	0,61	0,39	14,55
'Mr. Bowling Ball'	$0,85 \pm 0,03$	0,03	1,00	0,69	11,88
'Mirjam'	$0,46 \pm 0,02$	0,02	0,57	0,36	14,18
'Tiny Tim'	$0,56 \pm 0,02$	0,02	0,75	0,43	15,56
Контроль	$1,88 \pm 0,05$	0,05	2,13	1,57	9,56
Total	$0,62 \pm 0,04$	0,04	2,13	0,12	74,78

Суммарное количество зелёных пигментов в хвое анализируемых растений (см. табл. 3) отражало основные тенденции в их соотношении, связанные с присутствием в тканях листового аппарата хлорофилла-*a* (см. табл. 1) и хлорофилла-*b* (см. табл. 2).

В весенний период больше всего они накапливались в хвое сорта 'Mr. Bowling Ball' ( $3,88 \pm 0,09$  мг/г), а меньше – у сорта 'Sunkist' ( $0,67 \pm 0,08$  мг/г). Разница в этом случае достигла 3,21 мг/г, или в 5,80 раза. Наличие указанных пигментов в хвое типичной формы ( $2,55 \pm 0,04$  мг/г) также превышало их обобщённую оценку ( $1,91 \pm 0,09$  мг/г). При осеннем учёте суммы хлорофиллов в хвое группы сортов лидировали 'Danica' ( $3,70 \pm 0,04$  мг/г) и 'Mr. Bowling

Ball' ( $3,70 \pm 0,07$  мг/г), замыкал их список сорт 'Sunkist' ( $2,20 \pm 0,04$  мг/г). Типичная форма продемонстрировала самую высокую оценку ( $3,83 \pm 0,10$ ), которая превосходила минимальное среднее в 1,74 раза, или на 1,63 мг/г, и была больше обобщённого значения ( $2,90 \pm 0,06$  мг/г) в 1,32 раза, или на 0,93 мг/г. Ранее отмеченная тенденция к увеличению количества пигментов в конце вегетационного периода также сохранилась.

Анализ участия каротиноидов в формировании пигментного состава хвои вскрыл неоднородность сравниваемых сортов в этом отношении, что, как и по хлорофиллу-*a*, в той или иной мере проявилось в начале и в конце вегетационного периода (см. табл. 4).

Таблица 3. Суммарное содержание хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b* в хвое туи западной  
Table 3. Total chlorophyll-*a* and chlorophyll-*b* content in Western thuja needles

Сорт, форма (вариант опыта)	Среднее, мг/г	Максимум, мг/г	Минимум, мг/г	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
Весна (первый срок учёта): 07.05.2019 г.					
'Golden Smaragd'	$1,04 \pm 0,13$	1,75	0,26	48,84	12,61
'Rheingold'	$0,83 \pm 0,09$	1,38	0,18	40,15	10,37
'Danica'	$2,60 \pm 0,22$	4,01	1,24	33,18	8,57
'Golden Globe'	$1,43 \pm 0,17$	2,41	0,37	46,96	12,13
'Sunkist'	$0,67 \pm 0,08$	1,23	0,23	48,57	12,54
'Yellow ribbon'	$1,50 \pm 0,06$	1,98	1,11	15,50	4,00
'Mr. Bowling Ball'	$3,88 \pm 0,09$	4,61	3,18	9,28	2,39
'Mirjam'	$2,01 \pm 0,08$	2,60	1,57	15,78	4,07
'Tiny Tim'	$2,55 \pm 0,07$	3,04	2,15	9,92	2,56
Контроль	$2,55 \pm 0,04$	2,94	2,36	5,95	1,54
Total	$1,91 \pm 0,09$	4,61	0,18	55,11	4,50
Осень (второй срок учёта): 10.10.2019 г.					
'Golden Smaragd'	$2,31 \pm 0,03$		2,47	2,04	5,59
'Rheingold'	$2,28 \pm 0,03$	0,03	2,42	1,98	5,60
'Danica'	$3,70 \pm 0,04$	0,04	3,99	3,44	3,82
'Golden Globe'	$3,32 \pm 0,14$	0,14	3,79	2,42	16,02
'Sunkist'	$2,20 \pm 0,04$	0,04	2,38	1,89	6,29
'Yellow ribbon'	$2,52 \pm 0,03$	0,03	2,80	2,34	5,23
'Mr. Bowling Ball'	$3,70 \pm 0,07$	0,07	3,91	3,27	7,01
'Mirjam'	$2,30 \pm 0,06$	0,06	2,59	1,88	9,46
'Tiny Tim'	$2,83 \pm 0,07$	0,07	3,25	2,46	9,24
Контроль	$3,83 \pm 0,10$	0,10	4,48	3,33	9,76
Total	$2,90 \pm 0,06$	0,06	4,48	1,88	23,70

Таблица 4. Содержание каротиноидов в клетках хвои туи западной  
Table 4. Carotenoid content in the cells of Western thuja needles

Сорт, форма (вариант опыта)	Среднее, мг/г	Максимум, мг/г	Минимум, мг/г	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
Весна (первый срок учёта): 07.05.2019 г.					
'Golden Smaragd'	0,19±0,02	0,32	0,05	49,02	12,66
'Rheingold'	0,25±0,02	0,35	0,04	36,37	9,39
'Danica'	0,23±0,02	0,39	0,12	33,24	8,58
'Golden Globe'	0,24±0,02	0,33	0,07	37,40	9,66
'Sunkist'	0,17±0,01	0,27	0,07	29,13	7,52
'Yellow ribbon'	0,20±0,01	0,26	0,16	14,73	3,80
'Mr. Bowling Ball'	0,33±0,01	0,38	0,30	6,75	1,74
'Mirjam'	0,35±0,01	0,43	0,32	9,87	2,55
'Tiny Tim'	0,27±0,01	0,33	0,25	7,33	1,89
Контроль	0,29±0,01	0,34	0,26	7,23	1,87
Total	0,25±0,01	0,43	0,04	32,24	2,63
Осень (второй срок учёта): 10.10.2019 г.					
'Golden Smaragd'	0,64±0,01	0,67	0,61	3,49	0,90
'Rheingold'	0,51±0,01	0,58	0,37	9,80	2,53
'Danica'	0,88±0,01	0,99	0,80	4,77	1,23
'Golden Globe'	0,83±0,04	1,00	0,57	19,41	5,01
'Sunkist'	0,60±0,01	0,66	0,54	6,80	1,76
'Yellow ribbon'	0,54±0,01	0,61	0,50	5,98	1,54
'Mr. Bowling Ball'	0,81±0,04	1,04	0,64	16,99	4,39
'Mirjam'	0,46±0,01	0,52	0,37	9,64	2,49
'Tiny Tim'	0,53±0,02	0,65	0,33	15,84	4,09
Контроль	0,82±0,05	1,12	0,38	22,10	5,71
Total	0,66±0,01	1,12	0,33	26,77	2,19

В весеннем учёте преимущество в рассматриваемой пигментации принадлежало сорту 'Mirjam' (0,35±0,01 мг/г), а наименьшее количество каротиноидов имел сорт 'Sunkist' (0,17±0,01 мг/г). Их сопоставление дало разность в 0,18 мг/г и создало превышение в 2,05 раза. Типичная форма в этом фенологическом состоянии превосходила обобщённое по всему массиву данных значение: 0,29±0,01 мг/г (контроль) и 0,25±0,01 мг/г (Total). Осенний учёт обнаружил заметный рост концентрации каротиноидов в целом. При этом, максимальный показатель (0,88±0,01 мг/г), отмеченный у сорта 'Danica', превысил соответствующий минимум (0,46±0,01 мг/г), зафиксированный у сорта 'Mirjam' в 1,73 раза, или на

0,42 мг/г. Накопление каротиноидов в хвое типичной формы достигло уровня 0,82±0,05 мг/г, что на 0,16 мг/г, или в 1,24 раза, больше, чем в обобщённой оценке – 0,66±0,01 мг/г.

Выступавшее интегральным показателем насыщенности хвои пигментами их общее суммарное содержание в ней адекватно отражало отмеченные ранее особенности указанных характеристик у представителей разных форм и сортов туи (см. табл. 5).

В отношении важного физиологического показателя общего состояния растений – отношения содержания хлорофилла-*a* к содержанию хлорофилла-*b* – сорта и типичная форма туи западной также неоднородны (см. табл. 6).

Таблица 5. **Общее суммарное содержание пластидных пигментов в клетках хвои туи западной**  
 Table 5. **Total plastid pigments content in the cells of Western thuja needles**

Сорт, форма (вариант опыта)	Среднее, мг/г	Максимум, мг/г	Минимум, мг/г	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
Весна (первый срок учёта): 07.05.2019 г.					
'Golden Smaragd'	1,23±0,15	2,07	0,30	48,57	12,54
'Rheingold'	1,08±0,10	1,63	0,22	36,27	9,36
'Danica'	2,83±0,24	4,34	1,38	32,78	8,46
'Golden Globe'	1,67±0,19	2,66	0,44	44,35	11,45
'Sunkist'	0,84±0,09	1,41	0,30	40,52	10,46
'Yellow ribbon'	1,70±0,07	2,24	1,28	15,22	3,93
'Mr. Bowling Ball'	4,20±0,10	4,98	3,48	9,00	2,32
'Mirjam'	2,36±0,08	2,96	1,88	13,49	3,48
'Tiny Tim'	2,83±0,07	3,34	2,40	9,25	2,39
Контроль	2,85±0,04	3,25	2,64	5,85	1,51
Total	2,16±0,09	4,98	0,22	51,13	4,17
Осень (второй срок учёта): 10.10.2019 г.					
'Golden Smaragd'	2,94±0,03	3,13	2,65	4,46	1,15
'Rheingold'	2,78±0,04	2,94	2,44	5,22	1,35
'Danica'	4,57±0,04	4,92	4,32	3,24	0,84
'Golden Globe'	4,15±0,18	4,79	2,98	16,65	4,30
'Sunkist'	2,80±0,04	2,94	2,46	5,07	1,31
'Yellow ribbon'	3,06±0,03	3,31	2,87	4,03	1,04
'Mr. Bowling Ball'	4,50±0,09	4,90	3,92	8,05	2,08
'Mirjam'	2,76±0,07	3,10	2,26	9,17	2,37
'Tiny Tim'	3,36±0,08	3,88	2,99	9,37	2,42
Контроль	4,65±0,10	5,48	4,14	8,15	2,10
Total	3,56±0,07	5,48	2,26	23,39	1,91

Таблица 6. **Отношение содержания хлорофилла-а к содержанию хлорофилла-в в хвое туи западной**  
 Table 6. **Ratio of chlorophyll-a content to chlorophyll-b content in the needles of Western thuja**

Сорт, форма (вариант опыта)	Среднее	Максимум	Минимум	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
Весна (первый срок учёта): 07.05.2019 г.					
'Golden Smaragd'	2,93±0,10	3,44	1,88	13,73	3,54
'Rheingold'	2,62±0,17	3,22	1,08	25,20	6,51
'Danica'	1,81±0,11	2,39	1,16	22,88	5,91
'Golden Globe'	2,33±0,12	3,22	1,53	19,40	5,01
'Sunkist'	1,85±0,30	3,79	0,61	61,60	15,90
'Yellow ribbon'	1,99±0,06	2,36	1,70	11,23	2,90
'Mr. Bowling Ball'	1,84±0,02	1,96	1,75	3,31	0,85
'Mirjam'	2,75±0,08	3,26	2,40	11,03	2,85
'Tiny Tim'	2,09±0,03	2,32	1,86	6,12	1,58
Контроль	2,40±0,03	2,57	2,27	4,42	1,14
Total	2,26±0,05	3,79	0,61	27,24	2,22
Осень (второй срок учёта): 10.10.2019 г.					
'Golden Smaragd'	10,93±0,81	17,55	7,68	28,65	7,40
'Rheingold'	3,87±0,06	4,30	3,52	5,91	1,53
'Danica'	5,99±0,19	7,60	4,23	12,15	3,14
'Golden Globe'	6,72±0,24	7,92	5,20	13,85	3,58
'Sunkist'	6,82±0,33	8,65	4,95	18,51	4,78
'Yellow ribbon'	4,25±0,14	5,09	3,40	12,57	3,25
'Mr. Bowling Ball'	3,39±0,08	3,81	2,87	9,69	2,50
'Mirjam'	4,06±0,13	5,09	3,39	12,52	3,23
'Tiny Tim'	4,15±0,13	5,30	3,17	12,27	3,17
Контроль	1,04±0,03	1,30	0,85	13,04	3,37
Total	5,12±0,23	17,55	0,85	54,33	4,44

Например, в начальной фазе вегетации удаётся заметить более высокое значение у сорта 'Golden Smaragd' ( $2,93 \pm 0,10$ ), а в конце – у сорта 'Danica' ( $1,81 \pm 0,11$ ). Разница составила 1,11 единицы, а превышение было в 1,62 раза. За счёт превосходства в содержании хлорофилла-*a* типичная форма туи имела более высокий уровень его отношения к содержанию хлорофилла-*b* ( $2,40 \pm 0,03$ ) по сравнению с обобщённым для всего ассортимента средним ( $2,26 \pm 0,05$ ). Осенью ситуация несколько изменилась, и при сохранении в группе сортов растений наивысшей оценки у того же сорта 'Golden Smaragd' ( $10,93 \pm 0,81$ ) минимум переместился к сорту 'Mr. Bowling Ball' ( $3,39 \pm 0,08$ ). Разница в показателях возросла

и достигла 7,02 единицы, а превышение составило 1,21 раза. При этом, соотношение в оценках типичной формы и обобщённого массива практически не изменилось и составило: 1,06 (весной) и 1,10 (осенью).

Поскольку все ранее обозначенные фенотипические различия между представителями сравниваемых между собой форм и сортов проявились на выровненном фоне почвенно-климатических условий мест произрастания, возникли основания для признания наследственного характера вызывающих их причин. Дисперсионный анализ, проведённый по однофакторной схеме, подтвердил это предположение для каждого из принятых в опыте сроков учёта (табл. 7, 8).

Таблица 7. Существенность различий форм и сортов туи западной по пигментному составу хвои весной  
Table 7. Significance of differences among Western thuja forms and varieties with regard to needle pigment composition in spring

Показатели содержания и соотношения пигментов	Критерий Фишера $F_{оп}$	Доля влияния фактора ( $h^2 \pm m_h^2$ )				Критерии различий	
		по Плохинскому		по Снедекору			
		$h^2$	$\pm m_h^2$	$h^2$	$\pm m_h^2$	HCP <sub>05</sub>	D <sub>05</sub>
Хлорофилл- <i>a</i> ( <i>a</i> )	73,19	0,8247	0,0113	0,8280	0,0111	0,21	0,35
Хлорофилл- <i>b</i> ( <i>b</i> )	61,52	0,7982	0,0130	0,8014	0,0128	0,13	0,21
Сумма хлорофиллов ( <i>a+b</i> )	73,92	0,8261	0,0112	0,8294	0,0110	0,33	0,54
Каротиноиды ( <i>k</i> )	14,31	0,4792	0,0335	0,4702	0,0341	0,04	0,07
Отношение хлорофиллов ( <i>a/b</i> )	10,06	0,3927	0,0390	0,3765	0,0401	0,36	0,59
Отношение ( <i>a/k</i> )	100,69	0,8662	0,0086	0,8692	0,0084	0,51	0,85
Отношение ( <i>b/k</i> )	36,30	0,7000	0,0193	0,7018	0,0192	0,52	0,85
Доля хлорофилла- <i>a</i>	8,89	0,3637	0,0409	0,3447	0,0421	0,04	0,07
Доля хлорофилла- <i>b</i>	8,89	0,3637	0,0409	0,3447	0,0421	0,04	0,07
Доля каротиноидов	43,81	0,7380	0,0168	0,7405	0,0167	0,02	0,04
Отношение ( <i>k/(a+b)</i> )	37,78	0,7084	0,0187	0,7103	0,0186	0,04	0,06
Общая сумма пигментов ( <i>a+b+k</i> )	66,94	0,8114	0,0121	0,8147	0,0119	0,36	0,59
Сухое вещество	45,06	0,7434	0,0165	0,7460	0,0163	0,99	1,63

Таблица 8. Существенность различий форм и сортов туи западной по пигментному составу хвои осенью  
Table 8. Significance of differences among Western thuja forms and varieties with regard to needle pigment composition in autumn

Показатели содержания и соотношения пигментов	Критерий Фишера $F_{оп}$	Доля влияния фактора ( $h^2 \pm m_h^2$ )				Критерии различий	
		по Плохинскому		по Снедекору			
		$h^2$	$\pm m_h^2$	$h^2$	$\pm m_h^2$	HCP <sub>05</sub>	D <sub>05</sub>
Хлорофилл- <i>a</i> ( <i>a</i> )	78,39	0,8344	0,0106	0,8376	0,0104	0,16	0,26
Хлорофилл- <i>b</i> ( <i>b</i> )	454,99	0,9669	0,0021	0,9680	0,0021	0,06	0,10
Сумма хлорофиллов ( <i>a+b</i> )	96,77	0,8615	0,0089	0,8646	0,0087	0,19	0,31
Каротиноиды ( <i>k</i> )	39,43	0,7171	0,0182	0,7193	0,0180	0,07	0,12
Отношение хлорофиллов ( <i>a/b</i> )	77,44	0,8327	0,0108	0,8360	0,0105	0,85	1,39
Отношение ( <i>a/k</i> )	14,17	0,4767	0,0336	0,4675	0,0342	0,37	0,60
Отношение ( <i>b/k</i> )	48,60	0,7575	0,0156	0,7604	0,0154	0,24	0,40
Доля хлорофилла- <i>a</i>	467,26	0,9678	0,0021	0,9688	0,0020	0,01	0,02
Доля хлорофилла- <i>b</i>	467,26	0,9678	0,0021	0,9688	0,0020	0,01	0,02
Доля каротиноидов	17,81	0,5338	0,0300	0,5285	0,0303	0,01	0,02
Отношение ( <i>k/(a+b)</i> )	19,19	0,5523	0,0288	0,5480	0,0291	0,02	0,03
Общая сумма пигментов ( <i>a+b+k</i> )	97,77	0,8627	0,0088	0,8658	0,0086	0,23	0,38
Сухое вещество	47,15	0,7519	0,0159	0,7547	0,0158	0,96	1,57

По всем анализируемым признакам величины опытных критериев Фишера ( $F_{оп} = 8,89 \dots 100,69$  весной и  $F_{оп} = 14,17 \dots 467,26$  осенью) превысили минимально допустимый уровень ( $F_{05/01} = 1,94/2,53$ ) как на 5-процентном, так и на 1-процентном уровне значимости (см. табл. 7, 8). Такой результат первого этапа дисперсионного анализа позволяет продолжить его в части вычисления оценок доли влияния организованного фактора, в нашем случае различий между рассматриваемыми формами и сортами, на формирование общего фона дисперсии. В комплексе, построенном по результатам весеннего учёта (см. табл. 7), влияние указанного фактора принимало значения от  $36,37 \pm 4,09$  % (доля хлорофилла-*a*, доля хлорофилла-*b*) до  $86,62 \pm 0,86$  % (отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию каротиноидов). Данный показатель принято считать коэффициентом наследуемости в широком смысле.

В осеннем учёте (см. табл. 8) при сопоставимом масштабе разброса значений максимальные и минимальные оценки изменили свою принадлежность на противоположную: минимум –  $47,67 \pm 3,36$  % (отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию каротиноидов) и максимум –  $96,78 \pm 0,21$  % (доля хлорофилла-*a*, доля хлорофилла-*b*). Оценки остальных сортов сравнительно равномерно распределились между этими пределами. Причиной зафиксированного несходства рассматриваемых величин в весенний и осенний период могли выступать специфика дисперсии значений по каждому из признаков и особенность их сезонной динамики. Остаточная дисперсия, проявление которой, как правило, связывают с ненаправленным влиянием комплекса внешних факторов, на фоне эффектов, вызванных сортовными различиями, чаще не являлась доминирующей, достигая величин  $13,38$ – $63,63$  % (весной) и  $3,22$ – $52,33$  % (осенью).

В порядке обсуждения материалов можно отметить, что применяемый в работе методический инструментарий [17–19] универсален, достаточно эффективен и используется повсеместно [11–13]. Он позволил установить, что особенности пигментного состава хвои декоративных форм и сортов туи западной при её интродукции в Нижегородскую область в целом соответствуют сведениям о содержании и соотношении пластидных пигментов в листовом аппарате других хвойных [11, 20, 21]. Отмеченный сезонно нестабильный характер их накопления в фотосинтезирующей паренхиме в определённой мере согласуется с известными данными по иным древесным видам [13, 20, 21]. Потенциал интродукции декоративных форм и сортов туи западной на территорию Российской Федерации [1–3] и Нижегородской области в её составе [6] достаточно высок.

#### Выводы

1. Декоративные формы и сорта туи западной неоднородны в своём составе по содержанию и соотношению пластидных пигментов хвои, что проявляется как в начале, так и в конце вегетационного периода.

2. Различия в пигментном составе хвои в значительной мере обусловлены генотипически, что следует из их проявления на выровненном экологическом фоне и нашло подтверждение в результатах дисперсионного анализа: коэффициент наследуемости в широком смысле по отдельным признакам достигал  $86,62 \pm 0,86$  % в начале вегетационного периода и даже  $96,78 \pm 0,21$  % – в конце.

3. В условиях интродукции в Нижегородскую область пигментный состав хвои декоративных сортов и типичной формы туи западной имеет сезонно нестабильный характер и подвержен значительным изменениям содержания и соотношения хлорофилла и каротиноидов в начале и в конце вегетационного периода, притом что в осенний период их концентрация повышается.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Острошенко В. Ю., Коляда Н. А.* Интродукция туи западной (*Thuja occidentalis* L.) на юг Дальнего Востока России // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2017. № 5 (195). С. 97–101. EDN: NYTYUY
2. *Рязанова Н. А.* Виды и культивары рода *Thuja* L. в интродукционных пунктах Республики Башкортостан // Аграрная Россия. 2020. № 2. С. 15–20. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-2-15-20; EDN: GCYZSG
3. *Демиденко Г. А., Турыгина О. В., Худенко М. А.* Произрастание туи западной (*Thuja occidentalis*) в разных категориях озеленения Красноярска // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. П. Филипова. 2022. № 3 (68). С. 83–90. DOI: 10.34655/bgsha.2022.68.3.012; EDN: URWBMV
4. *Grossnickle S. C., Russell J. H.* Yellow-cedar and western redcedar ecophysiological response to fall, winter and early spring temperature conditions // Annals of Forest Science. 2006. Vol. 63, iss. 1. Pp. 1–8. DOI: 10.1051/forest:2005092
5. A street tree survey for Canadian communities: Protocol and early results / J. H. Pedlar, D. W. McKenney, D. Allen et al. // The Forestry Chronicle. 2013. Vol. 89, iss. 6. Pp. 753–758. DOI: 10.5558/tfc2013-137
6. *Котынова М. Ю., Бессчётнов В. П., Бессчётнова Н. Н.* Укоренение черенков декоративных форм туи западной (*Thuja Occidentalis* L.) в теплицах // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XVIII Международной научно-технической конференции, Вологда, 01 декабря 2020 года. Вологда: Вологодский государственный университет, 2020. С. 147–149. EDN: HOJQXF
7. *Воскресенская О. Л., Сарбаева Е. В.* Особенности некоторых декоративных форм туи западной, произрастающих на урбанизированных территориях // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Биология. 2006. № 1 (11). С. 24–27.
8. *Воскресенская О. Л., Сарбаева Е. В.* Эколого-физиологические адаптации туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в городских условиях: Монография. Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2006. 129 с. EDN: QKRMVD
9. *Полухатов К. К.* Лесорастительное районирование Горьковской области // Биологические основы повышения продуктивности и охраны лесных, луговых и водных фитоценозов Горьковского Поволжья. Горький: ГГУ, 1974. С. 4–20.
10. *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. 1989. Vol. 975, iss. 3. Pp. 384–394. DOI: 10.1016/S0005-2728(89)80347-0
11. *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. DOI: 10.1046/j.1365-3113x.1992.t01-4-00999.x
12. *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. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2
13. *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. DOI: 10.1093/treephys/17.12.767
14. *Годнев Т. Н.* Строение хлорофилла и методы его количественного определения. Минск: Издательство Академии наук Белорусской ССР, 1952. 215 с.
15. *Максимов Г. Л.* Методы биохимического анализа растений. Л.: Издательство Ленинградского государственного университета, 1978. 192 с.
16. *Шлык А. А.* О спектрофотометрическом определении хлорофиллов *a* и *b* // Биохимия. 1968. Т. 33, № 2. С. 275–285.
17. *Шлык А. А.* Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зелёных листьев // Биохимические методы в физиологии растений / под ред. О. А. Павлиновой. М.: Наука, 1971. С. 154–170.
18. *Lichtenthaler H. K.* Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in Enzymology. 1987. Vol. 148. Pp. 350–382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1
19. *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. DOI: 10.1042/bst0110591
20. *Бессчётнова Н. Н.* Содержание основных пигментов в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2010. № 6. С. 21–25. EDN: NCGCFV
21. *Бессчётнова Н. Н.* Пигментный состав хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной в архивах клонов // Труды факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии: сборник научных статей, Нижний Новгород, 20–24 мая 2011 года. Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА, 2011. Т. 1. С. 57–67. EDN: KYBBXF
22. *Бессчётнова Н. Н.* Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по пока-

зателям пигментного состава хвои // Вестник Марийского государственного технического универ-

ситета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 1 (17). С. 5–14. EDN: PYSINR

Статья поступила в редакцию 20.03.2024; одобрена после рецензирования 13.05.2024; принята к публикации 30.05.2024

### Информация об авторах

*КОТЫНОВА Марина Юрьевна* – аспирант кафедры лесных культур, Нижегородский государственный агротехнологический университет. Область научных интересов – интродукция древесных и кустарниковых пород, их физиология, аспекты семенного и вегетативного размножения. Автор четырёх научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5937-5809>; SPIN-код: 6058-9364

*ХАНЯВИН Александр Игоревич* – аспирант кафедры лесных культур, Нижегородский государственный агротехнологический университет. Область научных интересов – интродукция древесных и кустарниковых пород, их физиология, аспекты семенного и вегетативного размножения. Автор пяти научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6700-2997>; SPIN-код: 1662-6196

*БЕССЧЁТНОВА Наталья Николаевна* – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, декан факультета лесного хозяйства, Нижегородский государственный агротехнологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление, лесная селекция, интродукция древесных и кустарниковых пород. Автор 167 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7140-8797>; SPIN-код: 6214-7263

*БЕССЧЁТНОВ Владимир Петрович* – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой лесных культур, Нижегородский государственный агротехнологический университет. Область научных интересов – лесная селекция, искусственное лесовосстановление, интродукция древесных и кустарниковых пород. Автор 183 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5024-7464>; SPIN-код: 2031-5241

### Вклад авторов:

*Котынова М. Ю.* – полевые данные, валидация, подготовка статьи.

*Ханявин А. И.* – полевые данные, проверка данных.

*Бессчётнова Н. Н.* – концепция, руководство, редактирование.

*Бессчётнов В. П.* – методика, программное обеспечение, формальный анализ.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 635.92+582.477.2

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.2.31>

EDN: GJDJNV

**Pigment Composition of the Needles of Decorative Forms and Varieties of Western Thuja (*Thuja Occidentalis*) in the Conditions of the Nizhny Novgorod Region**

**M. Y. Kotynova, A. I. Khanyavin, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov**<sup>✉</sup>

Nizhny Novgorod State Agrotechnological University,  
97, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation  
lesfak@mail.ru <sup>✉</sup>

**Abstract.** *Introduction.* The problem of forming the assortment composition of landscape plantings in modern cities is closely related with the urgent need to stabilize the environmental parameters of urbanized territories. The composition of urban plantings includes representatives of foreign flora. These include Western thuja (*Thuja occidentalis* L.), varieties and forms of which are used in protective, reclamation and greenery plantings. *The purpose* of the research is a comparative assessment of several decorative forms and varieties of Western thuja in terms of their needle pigment composition during their introduction to the urban plantations in the Nizhny Novgorod region. *Objects and methods of research.* The objects of the research were nine varieties and one typical form of Western thuja, grown on the same experimental site in the arboretum of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University. The principles of the only logical difference, typicality, suitability, expediency, and reliability of an experiment were observed in conducting the research. A total of 30 same-aged plants of vegetative origin were used in the study. Five shoots of the same type, age, and phenological state, without signs of damage by biotic and abiotic factors or deviations from normal development were cut off each of the thirty plants simultaneously. Plastid pigments were detected using an SF-2000 spectrophotometer equipped with the GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4 software. *Results.* Varieties and form of Western thuja are heterogeneous in terms of pigment composition of their needle foliage, which was observed both at the beginning and at the end of the growing season. In terms of the chlorophyll-a content during the spring period, the highest concentration was found in the variety 'Mr. Bowling Ball' ( $2.51 \pm 0.06$  mg/g) and the lowest was observed in the 'Sunkist' variety ( $0.39 \pm 0.05$  mg/g). In autumn, the largest amount of chlorophyll-a ( $3.16 \pm 0.02$  mg/g) was recorded in the variety 'Danica', and the smallest ( $1.81 \pm 0.03$  mg/g) in the variety 'Rheingold'. The analysis of variance confirmed the hereditary conditionality of the noted differences for each observation period. *Conclusions.* Under the conditions of introduction to the Nizhny Novgorod region, the pigment composition of the needles of the ornamental varieties and typical form of Western thuja is seasonally unstable and subject to significant changes in terms of the content and ratio of chlorophyll and carotenoids at the beginning and at the end of the growing season, though their concentrations increase in autumn.

**Keywords:** introduction; plastid pigments; chlorophyll; carotenoids; variability; hereditary conditionality

**Funding:** this study was not supported by any external sources of funding.

---

**For citation:** Kotynova M. Y., Khanyavin A. I., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Pigment Composition of the Needles of Decorative Forms and Varieties of Western Thuja (*Thuja Occidentalis*) in the Conditions of the Nizhny Novgorod Region. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(2):31–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.2.31>; EDN: GJDJNV

---

REFERENCES

1. Ostroshenko V. Yu., Kolyada N. A. Introduction of the White Cedar (*Thuja occidentalis* L.) to the south of the Russian Far East. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences.* 2017;(5(195)):97–101. EDN: NYTYUY (In Russ.). DOI: 10.30906/1999-5636-2020-2-15-20; EDN: GCYZSG (In Russ.).
2. Ryazanova N. A. Species and cultivars of the genus *Thuja* L. in introduction points of the Republic of Bashkortostan. *Agrarian Russia.* 2020;(2):15–20. DOI: 10.34655/bgsha.2022.68.3.012; EDN: URWBMV (In Russ.).
3. Demidenko G. A., Turygina O. V., Khudenko M. A. Growth of Western thuja (*Thuja occidentalis*) within different categories of landscaping in Krasnoyarsk. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Filippov.* 2022;(3(68)):83–90. DOI: 10.34655/bgsha.2022.68.3.012; EDN: URWBMV (In Russ.).

4. Grossnickle S. C., Russell J. H. Yellow-cedar and western redcedar ecophysiological response to fall, winter and early spring temperature conditions. *Annals of Forest Science*. 2006;63(1):1–8. DOI 10.1051/forest:2005092
5. Pedlar J. H., McKenney D. W., Allen D. et al. A street tree survey for Canadian communities: protocol and early results. *The Forestry Chronicle*. 2013;89(6):753–758. DOI: 10.5558/tfc2013-137
6. Kotynova M. Yu., Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Rooting cuttings of decorative forms of Western thuja (*Thuja Occidentalis* L.) in greenhouses. *Actual problems of development of the forest complex: materials of the XVIII International Scientific and Technical Conference* (Vologda, December 1, 2020). Khamitova S.M. (ed.). Vologda: Vologda State University; 2020:147–149. EDN: HOJQXF (In Russ.).
7. Voskresenskaya O. L., Sarbayeva E. V. Features of some decorative forms of western thuja growing in urbanized territories. *Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod. Series "Biology"*. 2006;(1(11)):24–27. EDN: QKRMVD (In Russ.).
8. Voskresenskaya O. L., Sarbaeva E. V. Ecological and physiological adaptations of western thuja (*Thuja occidentalis* L.) in urban conditions. Monograph. Yoshkar-Ola: Mari State University; 2006. 129 p. EDN: QKRMVD (In Russ.).
9. Poluyakhtov K. K. Forest-growing zoning of the Gorky region. In: *Biological bases of increasing productivity and protection of forest, meadow and water phytocenoses of the Gorky Volga region*. Gorky: GSU Publ., 1974: 4–20. (In Russ.).
10. Porra R. J., Thomson 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*. 1989;975(3):384–394. DOI: 10.1016/S0005-2728(89)80347-0
11. Lidholm J., Gustafsson P. A functional promoter shift of a chloroplast gene: a transcriptional fusion between a novel psbAgene copy and the trnK (UUU) gene in *Pinus contorta*. *The Plant Journal*. 1992;2(6):875–886. DOI: 10.1046/j.1365-313x.1992.t014-00999.x
12. 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;144(3):307–313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2
13. Rosenthal S. I., Camm E. L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*). *Tree Physiology*. 1997;17(12):767–775. DOI: 10.1093/treephys/17.12.767
14. Godnev T. N. The structure of chlorophyll and methods for its quantitative determination. Minsk: Publishing House of the Academy of Sciences of the BSSR; 1952. 215 p. (In Russ.).
15. Maximov G. L. Methods of biochemical analysis of plants. Leningrad: Publishing House of Leningrad State University; 1978. 192 p. (In Russ.).
16. Shlyk A. A. On spectrophotometric determination of chlorophylls *a* and *b*. *Biochemistry*. 1968;33(2):275–285. (In Russ.).
17. Shlyk A. A. Determination of chlorophyll and carotenoids in extracts of green leaves. In: *Biochemical methods in plant physiology*. Pavlinova O. A. (ed.). Moscow: Nauka Publ.; 1971:154–170. (In Russ.).
18. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls *a* and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 1987;148:350–382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1
19. 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;11(5):591–592. DOI: 10.1042/bst0110591
20. Besschetnova N. N. The content of the main pigments in the conifers of the plus trees of the common pine. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik*. 2010;(6):21–25. EDN: NCGCFV (In Russ.).
21. Besschetnova N. N. Pigment composition of the needles of the plus trees of Scots pine in the archives of clones. *Proceedings of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy: collection of scientific articles*. 2011;1:57–67. EDN: KYBBXF (In Russ.).
22. Besschetnova N. N. Multidimensional assessment of Scots pine plus trees using indicators of needle pigment structure. *Vestnik of the Mari State Technical University. Series: Forest. Ecology. Nature management*. 2013;(1(17)):5–14. EDN: PYCINR (In Russ.).

The article was submitted 20.03.2024; approved after reviewing 13.05.2024;  
accepted for publication 30.05.2024

#### Information about the authors

*Marina Y. Kotynova* – postgraduate student of the Department of Forest Crops, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University. Research interests – introduction of tree and shrub species, their physiology, aspects of seed and vegetative reproduction. Author of four scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5937-5809>; SPIN: 6058-9364

*Alexander I. Khanyavin* – postgraduate student of the Department of Forest Crops, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University. Research interests – introduction of tree and shrub species, their physiology, aspects of seed and vegetative reproduction. Author of five scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6700-2997>; SPIN: 1662-6196

*Natalia N. Besschetnova* – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Decan of the Faculty of Forestry, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University. Research interests – artificial reforestation, forest breeding, introduction of tree and shrub species. Author of 167 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7140-8797>; SPIN: 6214-7263

*Vladimir P. Besschetnov* – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Forest Crops, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University. Research interests – forest breeding, artificial reforestation, introduction of tree and shrub species. Author of 183 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5024-7464>; SPIN: 2031-5241

**Contribution of the authors:**

*Kotynova M. Yu.* – field data, validation, preparation of the article.

*Khanyavin A. I.* – field data, data verification.

*Besschetnova N. N.* – conceptualization, scientific guidance, editing.

*Besschetnov V. P.* – methodology development, software, formal analysis.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest.

All authors read and approved the final manuscript.