

Научная статья

УДК: 630\*18+630\*165.61

**КОРРЕЛЯЦИЯ И РЕГРЕССИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПИГМЕНТНОГО  
СОСТАВА ЛИСТЬЕВ ТОПОЛЕЙ В ОБЪЕКТАХ ОЗЕЛЕНЕНИЯ  
НИЖНЕГО НОВГОРОДА**

**Никита Игоревич Шубников<sup>1</sup>, Анастасия Дмитриевна Сатанова<sup>2</sup>,  
Владимир Петрович Бессчетнов<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Нижегородский государственный агротехнологический университет,  
Нижний Новгород, Россия

<sup>1</sup> nikita.shubnikov@yandex.ru

<sup>2</sup> a.satanova13@gmail.com

<sup>3</sup> lesfak@bk.ru

*Аннотация.* Исследовали пигментный состав листового аппарата репродуктивно зрелых деревьев девяти видов и форм рода Тополь (*Populus* L.). Методом спектрофотометрии установлена корреляция и регрессия наличия пластидных пигментов. Коэффициенты корреляции достигали уровня  $0,939 \pm 0,026$ , что описано уравнением  $y = 0,770x - 0,360$  ( $R^2 = 0,8809$ ).

*Ключевые слова:* тополь, листовой аппарат, пигментный состав, хлорофилл-*a*, хлорофилл-*b*, каротиноиды, корреляция, регрессия

Original article

**CORRELATION AND REGRESSION OF INDICATORS  
OF THE PIGMENT COMPOSITION OF POPLAR LEAVES  
IN LANDSCAPING OBJECTS OF NIZHNY NOVGOROD**

**Nikita I. Shubnikov<sup>1</sup>, Anastasia D. Satanova<sup>2</sup>, Vladimir P. Besschetnov<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Nizhny Novgorod State Agrotechnological University,

Nizhny Novgorod, Russia

<sup>1</sup> nikita.shubnikov@yandex.ru

<sup>2</sup> a.satanova13@gmail.com

<sup>3</sup> lesfak@bk.ru

**Abstract.** The pigment composition of the leaf apparatus of reproductively mature trees of nine species and forms of the genus Poplar (*Populus* L.) was studied. The correlation and regression of the presence of plastid pigments was established by spectrophotometry. Correlation coefficients reached the level of  $0,939 \pm 0,026$ , which is described by the equation  $y = 0,770x - 0,360$  ( $R^2 = 0,8809$ ).

**Keywords:** poplar, leaf apparatus, pigment composition, chlorophyll-a, chlorophyll-b, carotenoids, correlation, regression

Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. ставит перед отечественными лесоводами масштабные задачи, решение которых обеспечит переход к интенсивному и инновационному хозяйству, устойчивому управлению лесами. Успех этих мероприятий во многом зависит от оптимизации породного состава насаждений. В данном контексте весьма важную роль играют быстрорастущие древесные породы, в числе которых рассматриваются представители рода тополь (*Populus* L.) [1], входящие в состав природных популяций Нижегородского Поволжья, а также являющиеся в нем интродуцентами [2, 3]. Весьма востребованы они в городском озеленении [4–7], в связи с чем вовлекаются разноплановые исследования [5–9].

(*P. laurifolia* Ledeb.); 8) т. бальзамический (*P. balsamifera* L.); 9) т. черный. Объектом исследования служили репродуктивно зрелые деревья девяти видов из разных секций рода Тополь (*Populus* L.): 1) т. белый (*P. alba* L.); 2) осина (*P. tremula* L.); 3) т. итальянский (*P. nigra*, var. *italica* Münchh.); 4) т. Симони (*P. simonii* Carr.); 5) т. Симони пирамидальный (*P. simonii* Carr. f. *pyramidalis*); 6) т. белый пирамидальный (*P. alba* L., f. *pyramidalis*); 7) т. лавролистный или осокорь (*P. nigra* L.). Хлорофилл-*a*, хлорофилл-*b*, их суммарное содержание и концентрацию каротиноидов устанавливали спектрофотометрическим методом.

Обнаружена взаимозависимость в проявлениях фенотипической изменчивости наличия и баланса пластидных пигментов в листьях обследованного ассортимента тополей (табл. 1). В частности, содержание хлорофилла-*a*, демонстрировало положительную по знаку, достоверную и высокую в оценках по шкале Чеддока ( $r = 0,7...0,9$ ) связь с концентрацией каротиноидов:  $r \pm m_r = 0,757 \pm 0,049$  при  $t_r = 15,45$ . Той же направленности и заметная по указанной шкале ( $r = 0,5...0,7$ ) теснота связи наблюдалась во взаимодействии с суммарным содержанием хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*:  $r \pm m_r = 0,631 \pm 0,058$  при  $t_r = 10,86$ . Сохранив положительное значение, корреляция с содержанием хлорофилла-*b* достигла уровня умеренной ( $r = 0,3...0,5$ ) и достоверной:  $r \pm m_r = 0,325 \pm 0,071$  при  $t_r = 4,59$ . Сопоставимые по величине (умеренная теснота связи), достоверные, но разные по

знаку оценки получены по отношению содержания хлорофилла-*b* к содержанию каротиноидов ( $r \pm m_r = -0,434 \pm 0,068$ ) и суммарному содержанию пигментов ( $r \pm m_r = 0,406 \pm 0,069$ ). Слабая ( $r = 0,1 \dots 0,3$ ), достоверная при ее разной направленности связь отмечена в сопоставлении с балансом хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b* ( $r \pm m_r = 0,266 \pm 0,072$ ), а также – с отношением концентраций хлорофилла-*a* и каротиноидов ( $r \pm m_r = -0,270 \pm 0,072$ ).

Таблица 1

Корреляция признаков пигментного состава листьев тополей<sup>1</sup>

Показатель	Признаки пигментного состава							
	Признак-1	Признак-2	Признак-3	Признак-4	Признак-5	Признак-6	Признак-7	Признак-8
Признак 1 – содержание хлорофилла- <i>a</i>								
<i>r</i>	1,000	0,325	0,631	0,757	0,266	-0,270	-0,434	0,406
$\pm m_r$	0,000	0,071	0,058	0,049	0,072	0,072	0,068	0,069
Признак 2 – содержание хлорофилла- <i>b</i>								
<i>r</i>	0,325	1,000	0,939	-0,112	-0,711	0,354	0,535	-0,703
$\pm m_r$	0,071	0,000	0,026	0,074	0,053	0,070	0,063	0,053
Признак 3 – суммарное содержание хлорофилла- <i>a</i> и хлорофилла- <i>b</i>								
<i>r</i>	0,631	0,939	1,000	0,184	-0,486	0,192	0,280	-0,428
$\pm m_r$	0,058	0,026	0,000	0,074	0,066	0,074	0,072	0,068
Признак 4 – содержание каротиноидов								
<i>r</i>	0,757	-0,112	0,184	1,000	0,600	-0,776	-0,809	0,607
$\pm m_r$	0,049	0,074	0,074	0,000	0,060	0,047	0,044	0,060
Признак 5 – отношение содержания хлорофилла- <i>a</i> и хлорофилла- <i>b</i>								
<i>r</i>	0,266	-0,711	-0,486	0,600	1,000	-0,515	-0,720	0,926
$\pm m_r$	0,072	0,053	0,066	0,060	0,000	0,064	0,052	0,028
Признак 6 – отношение содержания хлорофилла- <i>a</i> и каротиноидов								
<i>r</i>	-0,270	0,354	0,192	-0,776	-0,515	1,000	0,880	-0,465
$\pm m_r$	0,072	0,070	0,074	0,047	0,064	0,000	0,036	0,066
Признак 7 – отношение содержания хлорофилла- <i>b</i> и каротиноидов								
<i>r</i>	-0,434	0,535	0,280	-0,809	-0,720	0,880	1,000	-0,787
$\pm m_r$	0,068	0,063	0,072	0,044	0,052	0,036	0,000	0,046
Признак 8 – суммарное содержание пластидных пигментов								
<i>r</i>	0,728	0,880	0,987	0,340	-0,367	0,057	0,136	-0,311
$\pm m_r$	0,051	0,036	0,012	0,070	0,070	0,075	0,074	0,071

<sup>1</sup>Показатели: *r* – парный коэффициент корреляции Пирсона;  $\pm m_r$  – ошибка коэффициента корреляции;  $t_{0,01} = 1,973 / 2,603$  – предельное значение критерия достоверности на 5-процентном и 1-процентном уровне значимости.

Картина корреляций хлорофилла-*b* с другими тестируемыми показателями имела свои особенности. Так, сила его связи с суммарным содержанием зеленых пигментов оценивалась как весьма высокая ( $r = 0,9 \dots 0,99$ ) при положительной направленности:  $r \pm m_r = 0,939 \pm 0,026$ . Взаимодействие с балансом хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b* ( $r \pm m_r = -0,711 \pm 0,053$ ), а также с суммарным содержанием пластидных пигментов ( $r \pm m_r = -0,703 \pm 0,053$ ) характеризовалось высокой теснотой ( $r = 0,7 \dots 0,9$ ) и отрицательным значением.

Выполненный для показателей пигментного состава листьев тополей регрессионный анализ позволил построить уравнения прямой линии, которые вполне удовлетворительно описывают зависимость изменений того или иного их признака от варьирования других задействованных в опыте параметров листовой массы исследуемых растений (табл. 2).

*Таблица 2*

Зависимость содержания хлорофилла от других показателей<sup>1</sup>

Признаки	Уравнения	R <sup>2</sup>	t-статистика коэффициентов		F	P
			a	b		
Признак 1 – содержание хлорофилла- <i>a</i>						
Признак-2	$y = 0,145x + 0,731$	0,1056	13,209	4,585	21,026	8,5E-06
Признак-3	$y = 0,230x + 0,361$	0,3987	10,864	6,232	118,031	2E-21
Признак-4	$y = 1,616x + 0,522$	0,5727	15,446	16,820	238,575	1,1E-34
Признак-5	$y = 0,208x + 0,847$	0,0707	3,681	22,263	238,575	0,00031
Признак-6	$y = -0,058x + 1,193$	0,0730	-3,743	20,046	14,007	0,00025
Признак-7	$y = -0,028x + 1,166$	0,1886	-6,433	35,985	41,381	1,1E-09
Признак-8	$y = 0,254x + 0,226$	0,5299	14,166	4,177	200,666	5,4E-31
Признак 2 – содержание хлорофилла- <i>b</i>						
Признак-1	$y = 0,730x + 0,983$	0,1056	6,195	4,585	21,026	8,5E-06
Признак-3	$y = 0,770x - 0,360$	0,8809	36,284	-6,232	1316,514	3,6E-84
Признак-4	$y = -0,538x + 1,848$	0,0126	-1,505	17,441	2,264	0,13414
Признак-5	$y = -1,249x + 2,475$	0,5052	-13,480	39,680	2,264	5,4E-29
Признак-6	$y = 0,172x + 1,060$	0,1256	5,056	8,161	25,568	1,1E-06
Признак-7	$y = 0,076x + 1,171$	0,2863	8,449	17,151	71,389	1E-14
Признак-8	$y = 0,690x - 0,343$	0,7739	24,687	-4,074	609,426	2,3E-59

<sup>1</sup>Показатели: R<sup>2</sup> – критерий достоверности аппроксимации; F – критерий Фишера; P – значимость на 5-процентном уровне; обозначения признаков приняты как в табл. 1.

Связь содержания хлорофилла-*a* с количеством хлорофилла-*b* имеет положительную направленность и описывается уравнением  $y = 0,145x + 0,731$  при его низкой достоверности (R<sup>2</sup> = 0,1056), но со статистически значимыми коэффициентами. Чуть более точными можно признать функции, полученные для случаев с суммой зеленых пигментов ( $y = 0,230x + 0,361$ ;

$R^2 = 0,3987$ ) и отношением содержания хлорофилла-*b* к наличию каротиноидов ( $y = -0,028x + 1,116$ ;  $R^2 = 0,1886$ ). Относительно надежными ( $R^2 > 0,5$ ) являются лишь уравнения связи данного пигмента с содержанием каротиноидов ( $y = 1,616x + 0,522$  при  $R^2 = 0,5727$ ) и общей суммой пигментов ( $y = 0,254x + 0,226$  при  $R^2 = 0,5299$ ). При их положительной направленности отмечены достоверные значения коэффициентов при аргументе (*a*) и свободных членах (*b*).

Зависимость содержания хлорофилла-*b* от варьирования других характеристик фотосинтезирующего аппарата более заметна и аппроксимируется вполне убедительно, например, связь с суммой двух форм хлорофилла ( $y = 0,770x - 0,360$ ;  $R^2 = 0,8809$ ) или с общей суммой пигментов ( $y = 0,690x - 0,343$ ;  $R^2 = 0,7739$ ). К числу относительно надежных ( $R^2 > 0,5$ ) можно отнести и уравнение связи указанного пигмента с содержанием каротиноидов ( $y = 1,249x + 2,475$  при  $R^2 = 0,5052$ ). В то же время его взаимозависимость с рядом других характеристик не была столь очевидной и не рассматривалась как значимая.

Можно констатировать, что пластидные пигменты листового аппарата исследованных видов тополей, произрастающих в городских насаждениях Нижнего Новгорода, взаимосвязаны в своем содержании и балансе, что описывается значениями корреляционной и регрессионной зависимостей.

## Список источников

1. Бессчетнов П. П. Тополь (Культура и селекция). Алма-Ата : Кайнар, 1969. 155 с.
2. Бессчетнов П. В., Бессчетнова Н. Н. Тополь белый (*Populus alba* L.) в объектах озеленения Нижегородской области: корреляция и регрессия параметров листового аппарата // Вестник Нижегородской ГСХА. 2019. № 2 (22). С. 25–31.
3. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Бессчетнов П. В. Содержание и баланс запасных веществ в тканях побегов тополей в Нижегородском Поволжье // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 92–104. DOI 10.21266/2079-4304.2020.232.92-104
4. Бессчетнов П. В. Морфометрические характеристики листьев тополей в условиях городских посадок Нижнего Новгорода // Вестник Нижегородской ГСХА. 2018. № 4 (20). С. 17–27.
5. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов П. В. Дифференциация пылезадерживающей способности кроны тополей // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. Вып. 5. С. 48–56. DOI 10.37482/0536-1036-2021-5-48-64
6. Бессчетнов П. В., Бессчетнова Н. Н. Корреляция параметров листового аппарата тополей в условиях городских посадок // Вестник Казанского ГАУ. 2018. № 1 (48). С. 5–10.

7. Состояние и перспективы использования представителей рода тополь (*Populus L.*) в городских посадках в России, Беларуси и Казахстане / П. В. Бессчетнов, Н. Н. Бессчетнова, Е. Ж. Кентбаев, Б. А. Кентбаева // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии : матер. междунар. науч.-практ. конф. (Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г.). Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2019. С. 93–100.

8. Бессчетнов П. В., Бессчетнова Н. Н. Специфика содержания крахмала в тканях побегов разных видов тополей // Вестник Нижегородской ГСХА. 2020. № 2 (26). С. 23–34.

9. Бессчетнов П. В., Бессчетнова Н. Н. Видоспецифичность тополей по содержанию жиров в тканях побегов // Вестник Нижегородской ГСХА. 2020. № 3 (27). С. 21–33.