

УДК 582.681.81+581.19

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ *Populus alba* L., *P. tremula* L. И *P. × canescens* (Ait.) Sm.

М. С. Воронкова, Е. В. Банаев, С. В. Шишкин, А. А. Эрст

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101

E-mail: bmc_87@mail.ru, alnus2005@mail.ru, semen751975@mail.ru, annaerst@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.04.2019 г.

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) изучены состав и содержание фенольных соединений в листьях тополя белого *Populus alba* L., осины обыкновенной *P. tremula* L. и тополя сереющего *P. × canescens* (Ait.) Sm. Всего обнаружено 24 соединения фенольной природы, из них определено 7 компонентов: кофейная кислота, гликозиды кверцетина – гиперозид, изокверцитрин, рутин и гликозид кемпферола – астрагалин, агликоны – кверцетин и галангин. Проведенное исследование показало, что по составу и содержанию фенольных соединений виды тополя белого и осины легко разделяются методом ВЭЖХ. Установлено, что у осины спектр фенольных соединений беднее по сравнению с тополем белым. Экземпляры тополя сереющего занимают промежуточное положение между тополем белым и осинкой по составу и содержанию фенольных соединений, при этом большинство гибридных образцов уклоняется в сторону тополя белого. По данным кластерного анализа исследованные образцы разделились на 2 группы по составу и содержанию фенольных соединений – с осинкой объединились только 4 гибрида, остальные объекты сгруппировались с тополем белым, при этом «чистые» экземпляры тополя белого не выделились в самостоятельную подгруппу. Связи группировки образцов с их географическим положением не выявлено. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в анализируемом материале представлены не только гибриды F1, но и беккроссы, которые по содержанию фенольных соединений, а также по морфологическим признакам ближе к тополю белому. Вероятнее всего, эти формы являются результатом возвратных скрещиваний тополей сереющего и белого.

Ключевые слова: тополь сереющий, тополь белый, осина обыкновенная, флавоноиды, ВЭЖХ.

DOI: 10.15372/SJFS201905011

ВВЕДЕНИЕ

Тополь белый *Populus alba* L. и осина обыкновенная *P. tremula* L. – полиморфные виды с широкими ареалами. Тополь белый естественно произрастает в Западной и Восточной Европе, Средней и Малой Азии, Северной Африке, Китае, заходит в юго-западную часть Западной Сибири. Этот вид, будучи заносным, широко распространился в Северной Америке, где размножается преимущественно вегетативным способом, формируя женские клоны; является инвазионным видом в Южной Африке и Западной Австралии, внесен в Черную книгу флоры

Средней России (Виноградова и др., 2010). Осина обыкновенная распространена от Западной Европы до Дальнего Востока России, в Монголии и Китае.

Занимая огромные территории, эти виды характеризуются различными экологическими требованиями к условиям произрастания (Лавриненко и др., 1966; Eckenwalder, 1996). Тополь белый предпочитает участки речных пойм (Lazowski, 1997), произрастая отдельными рощами, реже входит в состав пойменных лесов (Коропачинский, Встовская, 2002). Осина предпочитает склоновые местообитания, формирует чистые осинники или входит в состав сме-

шанных насаждений с другими листовыми и хвойными породами. Встречается от лесостепной зоны до лесотундры, в горах поднимается до границы леса (Adler et al., 1994).

Оба вида имеют множество внутривидовых форм, при этом гибридизируют в местах совместного произрастания, что затрудняет их идентификацию. В частности, тополь сереющий *P. × canescens* (Ait.) Sm. первоначально описан как самостоятельный вид (Larsen, 1970). Позднее большинство исследователей под тополем сереющим понимали «гибридный рой» тополя белого и осины, поскольку образцы этого таксона по морфологическим признакам формируют спектр форм между родительскими видами. Современные молекулярно-генетические исследования (Rajora, Dancik, 1992; Fossati et al., 2004; Lexer et al., 2005) подтвердили, что тополь сереющий является результатом естественной гибридизации тополя белого и осины. Интрогрессия этих видов происходит преимущественно в направлении тополя белого через опыление пылью осины (Lexer et al., 2005). Кроме того, между тополями сереющим и белым происходят возвратные скрещивания с формированием жизнеспособных бэкриссов, что отражается на морфологическом разнообразии гибридов (Fossati et al., 2004; Lexer et al., 2005).

Особи тополя сереющего широко распространены в Центральной Европе в долине р. Дунай (Loo et al., 2008), в Южной Европе – в Италии на р. Тичино (Fossati et al., 2004), в Китае на р. Эрчис (He et al., 2010), в Северной Африке (Poplars..., 1958, 1979). В России гибридные популяции отмечены в поймах рек Хопер и Дон (Сиволапов, 2005).

Сведения о произрастании тополя сереющего в Западной Сибири немногочисленные (Крылов, 1930; Крылов Г. В., Крылов А. Г., 1969; Лучник, 1970; Бакулин, 1971). Относительно частоты гибридизации тополя белого и осины существуют разные точки зрения. И. Ю. Коропачинский, Т. Н. Встовская (2002) отмечают, что этот гибрид произрастает повсеместно, где контактируют ареалы тополя белого и осины. В. Т. Бакулин (2012) указывает, что отсутствие сведений о тополе сереющем в определителях Томской, Омской, Новосибирской областей и Алтайского края свидетельствует о редкой встречаемости его в лесах Западной Сибири. Следует отметить, что основной причиной отсутствия массовой гибридизации считается различие в сроках цветения тополя белого и осины (Коропачинский, Встовская, 2012), поскольку

при искусственных скрещиваниях у этих видов изоляционные барьеры отсутствуют (Смилга, 1986; Сиволапов, 2005; Коропачинский, Милютин, 2006; Сиволапов и др., 2014). Например, в Польше разница цветения осины и тополя белого составляет 7–12 дней (Bugala, 1960), лишь в неблагоприятные годы цветение осины может запаздывать и перекрываться по срокам с цветением тополя белого (Яблоков, 1949). Различия в фенофазах видов не являются препятствием для образования «гибридного роя» при возвратных скрещиваниях тополей сереющего и белого, что делает тополь сереющий модельным объектом для исследования гибридных зон в связи с процессами видообразования (Lexer et al., 2005).

Морфологические признаки, традиционно принятые для идентификации тополя белого и осины, не являются надежными при разделении внутривидовых форм и гибридных особей тополя сереющего (Loo et al., 2008). Кроме того, они оказываются низкоинформативными в случаях бэкриссинга тополей сереющего и белого. Эти ограничения преодолеваются с помощью молекулярно-генетических (Rajora, Dancik, 1992; Fossati et al., 2004) и протеомных исследований (He et al., 2010). Также известно использование фенольных соединений в качестве хемотаксономических маркеров при идентификации видов *Populus* (например, цианидин, дельфинидин-3-О-самбубиозид и цианидин-3-О-(2'-О-ксилоксил)-рутинозид встречаются только в пыльниках осины), а также клонов или разновидностей одного и того же вида (Alcalde-Eon et al., 2016). При этом сведений по составу и содержанию фенольных соединений тополя сереющего крайне мало (Bertrams et al., 2013; Масленникова и др., 2014; Банаев и др., 2017; Pobłocka-Olech et al., 2018).

Цель работы – изучение состава и содержания фенольных соединений в листьях тополя сереющего в сравнении с родительскими видами тополя белого и осины.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили гербарные образцы тополей белого, сереющего и осины, собранные авторами во время экспедиций 2015–2017 гг., В. Т. Бакулиным в 2010 г., образец тополя сереющего «Хоперский 1», любезно предоставленный А. И. Сиволаповым, и образец тополя сереющего из Республики Молдова, переданный О. О. Тиминой (табл. 1).

Таблица 1. Место и время сбора образцов

№	Вид	Место и время сбора
1	<i>P. alba</i>	Алтайский край, с. Акулово, пойма р. Чумыш, 53°55.042'N 84°02.199'E. 07.09.2015
2	<i>P. alba</i>	Алтайский край, левая терраса р. Чумыш, 53°48.054'N 83°33.584'E. 07.09.2015
3	<i>P. alba</i>	Республика Алтай, Шебалинский р-н, берег р. Катунь, 51°40.3'N 85°45.24'E. 06.08.2016
4	<i>P. alba</i>	Алтайский край, с. Тальменка, правый берег р. Чумыш, 54°47.5405'N 83°32.3852'E. 07.08.2016
5	<i>P. alba</i>	Алтайский край, берег р. Иня. 04.09.2010 (Гербарий В. Т. Бакулина)
6	<i>P. tremula</i>	Алтайский край, с. Акулово, пойма р. Чумыш, 53°55.042'N 84°02.199'E. 07.09.2015
7	<i>P. tremula</i>	Г. Новосибирск, Советский р-н, дендрарий ЦСБС СО РАН. 14.07.2017
8	<i>P. tremula</i>	Г. Новосибирск, Советский р-н, пос. Каинская заимка, р. Ельцовка, 54°52.3725'N 83°08.27.00'E. 21.07.16
9	<i>P. × canescens</i>	Алтайский край, с. Акулово, пойма р. Чумыш, 53°55.042'N 84°02.199'E. 07.09.2015
10	<i>P. × canescens</i>	Алтайский край, левая терраса р. Чумыш, 53°55.042'N 84°02.199'E. 07.09.2015
11	<i>P. × canescens</i>	Алтайский край, пос. Белоярск, правая терраса р. Обь, 53°27.007'N 83°52.414'E. 13.09.2015
12	<i>P. × canescens</i>	Г. Новосибирск, Первомайский р-н, с. Матвеевка, 54°55.1733'N 83°03.1154'E. 16.06.2017
13	<i>P. × canescens</i>	Республика Алтай, Шебалинский р-н, терраса р. Катунь, 51°40.3'N 85°45.24'E. 06.08.2016
14	<i>P. × canescens</i>	Республика Молдова, Приднестровье, Каменский р-н, урочище «Малый кут». 29.08.2016
15	<i>P. × canescens</i>	Г. Новосибирск, Советский р-н, правый берег р. Обь, 54°50.4875'N 83°00.3482'E. 20.09.2016
16	<i>P. × canescens</i>	Коллекция ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск, 31.08.2016 (получен из природы – Новосибирская обл., Сузунский р-н, р. Чулым, 53°35.0927'N 82°13.1365'E)
17	<i>P. × canescens</i> «Хоперский 1»	Коллекция ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск, 22.03.2016 (получен из г. Воронеж)
18	<i>P. × canescens</i>	Новосибирская обл., с. Дубровино, правый берег р. Обь, 55°29.1763'N 83°21.2496'E. 12.08.2010 (Гербарий В. Т. Бакулина)
19	<i>P. × canescens</i>	Алтайский край, г. Камень-на-Оби, терраса р. Обь. 53°49.5751'N 81°20.0373'E. 9.09.2010 (Гербарий В. Т. Бакулина)
20	<i>Populus</i> sp.	Г. Новосибирск, Советский р-н, пос. Каинская заимка, 54°52.3725'N 83°08.27.00'E. 17.07.2017
21	<i>Populus</i> sp.	Г. Новосибирск, Первомайский р-н, с. Матвеевка, 54°55.1733'N 83°03.1154'E. 16.06.2017
22	<i>Populus</i> sp.	Алтайский край, с. Тальменка, правый берег р. Чумыш, 54°47.5405'N 83°32.3852'E. 07.08.2016
23	<i>Populus</i> sp.	Г. Новосибирск, Советский р-н, правый берег р. Обь, 54°50.4875'N 83°00.3482'E. 20.09.2016

Примечание. *Populus* sp. – образцы, которые по морфологическим признакам можно идентифицировать как гибридные или варианты *P. alba*.

Фенольные соединения извлекали трехкратной экстракцией 50%-м этанолом при нагревании на водяной бане. Полученный экстракт выпаривали на ротационном испарителе RV 3 V-C (ИКА), затем растворяли в 70%-м этаноле до 10 мл (точный объем).

Для освобождения от примесей 1 мл экстракта разбавляли бидистиллированной водой до 5 мл и пропускали через концентрирующий патрон Диапак С 16 (ЗАО «БиоХимМак»). Флавоногликозиды смывали с патрона небольшим количеством 70%-го этанола, агликоны – 96%-м этанолом. Элюаты объединяли, измеряли объ-

ем, который обычно составлял 5–8 мл, и пропускали через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм. Методика подробно описана в работе Е. П. Храмовой и Е. К. Комаревцевой (2008). Анализ индивидуальных фенольных соединений проводили на аналитической системе высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), состоящей из хроматографа «Agilent 1200» с диодноматричным детектором и системы Chem Station. Разделение проводили на колонке ZorbaxSB-C18 размером 4.6 × 150 мм, с диаметром частиц 5 мкм, применив градиентный режим элюирования. Для разделения гли-

козидов в подвижной фазе содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты (0.1 %) изменялось от 32 до 33 % за 27 мин; от 33 до 46 % с 27 до 38 мин; от 46 до 56 % с 38 до 50 мин. Скорость потока элюента 1 мл/мин. Температура колонки 26 °С. Объем вводимой пробы 5 мкл. Детектирование осуществляли при $\lambda = 270, 280, 290, 325, 340, 360, 370$ нм. Для приготовления подвижных фаз использовали метиловый спирт (ос. ч.), ортофосфорную кислоту (ос. ч.), бидистиллированную деионизированную воду. Для приготовления стандартных образцов применяли препараты производства фирмы «Fluka» и «Sigma». Стандартные растворы готовили в концентрации 10 мкг/мл в этиловом спирте. Количественное определение индивидуальных гликозидов и агликонов в элюатах проводили по методу внешнего стандарта в пересчете на кверцетин (Beek, 2002). Содержание индивидуальных компонентов (C_x , мг · г⁻¹) вычисляли по формуле

$$C_x = \frac{C_{cm} \cdot S_1 \cdot V_1 \cdot V_2}{S_2 \cdot M \cdot V_3},$$

где C_{cm} – концентрация соответствующего раствора флавонола, мкг · мл⁻¹; S_1 – площадь пика флавонола в анализируемой пробе, е. о. п. (единицы оптической плотности); S_2 – площадь пика

стандарта, е. о. п.; V_1 – объем элюата после вымывания флавонолов с концентрирующего патрона, мл; V_2 – общий объем экстракта, мл; V_3 – объем экстракта, вводимый в концентрирующий патрон; M – масса навески, мг (Юрьев и др., 2003). Относительное стандартное отклонение повторяемости при определении фенольных соединений составило $\sigma_{г,отн} = 0.011$ (данное значение показывает ошибку метода при количественном определении содержания компонентов).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении состава фенольных соединений в экстрактах листьев тополей белого, сереющего и осины методом ВЭЖХ в целом обнаружено 24 соединения фенольной природы. Сопоставление времени удерживания сигналов веществ на хроматограммах анализируемых образцов с временем удерживания сигналов стандартных образцов и спектров позволило идентифицировать 7 компонентов: кофейную кислоту, гликозиды кверцетина – гиперозид, изокверцитрин, рутин и гликозид кемпферола – астрагалин, агликоны – кверцетин и галангин (рис. 1). Для неидентифицированных компонентов характерно поглощение УФ-видимой области спектра, при этом спектр поглощения содержит две полосы, одна из которых находится

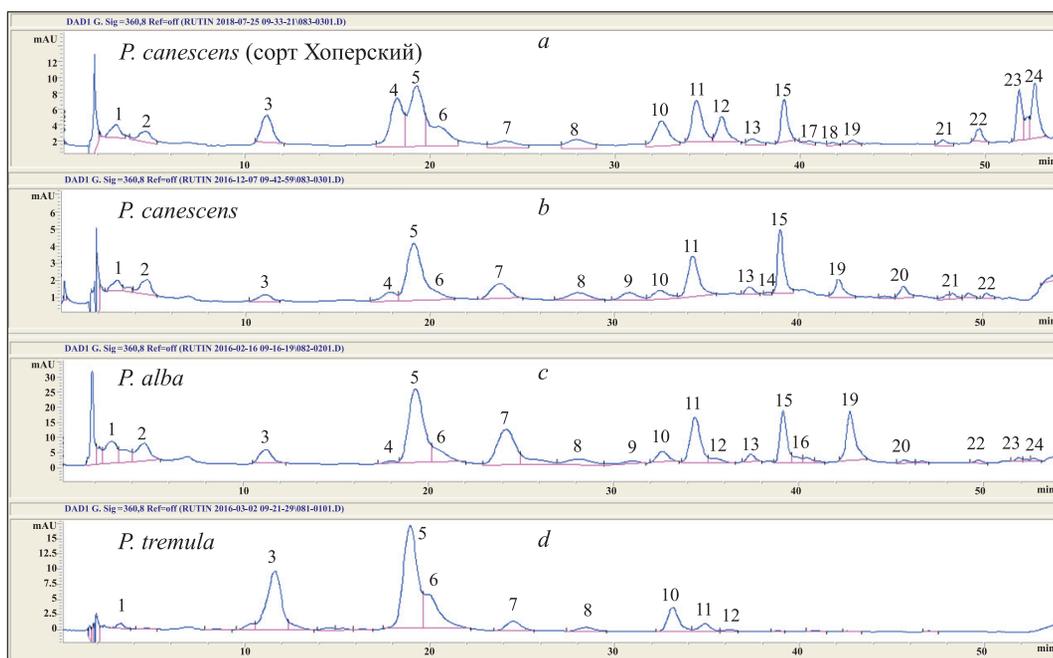


Рис. 1. Хроматограммы экстрактов листьев растений: *a* – *P. × canescens* (Хоперский 1); *b* – *P. canescens* (16); *c* – *P. alba* (1); *d* – *P. tremula* (3–4) при $\lambda = 360$ нм. Компоненты: 2 – кофейная кислота, 4 – гиперозид; 5 – изокверцитрин; 6 – рутин; 10 – астрагалин, 17 – кверцетин, 24 – галангин. Остальные компоненты не идентифицированы. По оси абсцисс – время удерживания, мин, по оси ординат – сигнал детектора, е. о. п.

Таблица 2. Содержание фенольных соединений в листьях растений *P. alba*, *P. tremula*, *P. × saxeensis*, мг-экв кверцетина · г⁻¹

№ образца	№ соединения и время удерживания, мин																								Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	0.74	0.21	0.11	0.57	5.10	0.57	3.79	0.71	—	0.29	1.46	0.15	0.37	0.06	1.28	0.15	0.13	0.87	0.10	0.12	0.13	0.10	—	0.13	17.1
2	0.59	1.02	0.73	0.16	4.86	0.83	2.78	0.73	—	0.53	2.06	0.24	0.25	—	1.55	0.23	0.18	1.82	0.17	0.10	0.15	0.12	—	0.07	19.2
3	0.07	0.04	—	0.29	0.54	—	0.66	0.14	0.16	0.11	0.54	0.05	0.17	—	1.23	—	0.07	0.32	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	—	4.6
4	0.14	0.26	0.16	0.21	1.55	—	0.45	0.28	0.22	0.23	0.73	—	0.11	0.04	0.66	—	—	0.26	0.16	—	0.06	—	—	0.06	5.6
5	0.19	0.32	0.21	0.09	0.43	0.34	0.13	0.24	0.07	0.07	0.46	0.05	0.04	0.04	0.30	—	0.09	0.29	—	0.03	0.05	0.05	—	0.04	3.5
6	0.15	0.11	3.71	4.14	2.72	—	0.39	0.22	—	1.24	0.37	0.07	—	0.03	0.02	0.02	0.07	0.03	0.07	0.04	—	—	—	—	13.4
7	0.14	0.06	3.42	5.44	1.95	—	0.51	0.26	—	1.07	0.35	0.08	—	0.04	—	—	0.07	0.04	—	0.04	—	—	—	—	13.5
8	0.03	0.05	1.32	2.46	0.52	—	0.12	0.04	—	0.77	0.04	0.08	—	—	—	—	—	—	—	0.10	—	—	—	—	5.5
9	0.29	0.21	1.12	2.11	2.23	0.62	0.81	0.24	—	0.58	0.53	0.31	0.16	0.04	0.31	—	0.06	0.39	0.03	0.05	—	—	—	—	10.1
10	0.41	0.15	0.15	0.25	2.11	—	0.92	0.17	—	0.20	0.78	0.10	0.16	—	0.54	0.08	—	0.61	0.05	0.05	—	—	—	—	6.7
11	0.30	0.23	0.47	1.45	—	—	0.90	—	—	0.10	0.64	0.08	0.12	—	0.35	0.08	—	0.08	—	0.05	—	—	—	—	4.9
12	0.08	0.12	0.05	0.20	0.12	—	0.14	—	—	0.04	0.32	0.03	0.08	—	0.62	—	0.02	—	—	0.05	0.02	0.02	0.01	—	1.9
13	—	—	0.45	0.91	0.39	—	—	0.08	0.36	—	0.10	0.16	—	—	—	—	—	—	0.03	0.04	0.04	0.29	0.14	—	3.2
14	0.16	—	0.38	0.28	2.67	—	0.68	0.39	0.41	—	1.95	—	0.18	—	0.89	—	0.09	0.35	0.06	0.16	0.09	0.07	0.09	—	9.1
15	0.14	0.29	0.24	0.45	0.40	—	0.20	—	—	0.05	0.35	0.02	0.18	—	0.60	—	—	0.17	0.05	0.09	0.04	—	—	—	3.3
16	0.07	0.15	0.16	0.10	0.70	—	0.38	0.15	—	0.08	0.42	—	0.10	—	0.35	—	0.03	—	—	0.10	0.06	0.05	0.03	—	3.0
17	0.32	0.34	0.73	1.57	1.43	1.08	0.43	0.53	—	0.88	1.04	0.60	0.17	—	0.67	—	0.08	0.08	—	0.14	0.21	0.69	0.23	—	12.1
18	0.22	0.10	0.12	0.60	0.79	0.65	0.21	0.29	0.24	0.35	0.38	0.20	0.10	—	0.25	0.08	0.05	—	—	0.05	0.17	0.32	0.16	—	5.6
19	0.42	—	0.30	0.13	4.31	0.15	0.45	0.24	0.09	0.32	0.97	0.06	0.09	0.02	0.51	0.05	0.04	0.27	—	0.03	0.05	—	—	—	8.5
20	—	0.12	0.06	0.07	0.08	—	0.06	0.05	—	0.04	0.14	—	0.04	—	0.22	—	0.03	0.06	—	—	0.02	0.05	0.02	—	1.1
21	0.06	0.29	0.04	0.11	0.08	—	0.09	0.05	—	0.05	0.23	—	0.10	—	0.43	—	—	0.03	—	0.02	0.05	0.05	0.03	—	1.8
22	0.10	0.27	0.16	0.13	1.24	0.17	0.33	0.21	0.12	0.18	0.89	0.04	0.09	—	0.49	—	0.10	0.11	—	0.17	0.05	0.07	—	—	5.0
23	0.15	0.37	0.02	0.05	1.22	0.19	0.66	0.08	0.03	0.12	0.78	—	0.08	—	0.53	—	0.02	0.14	—	0.06	0.04	0.02	—	—	4.6

Примечание. № образца соответствует номеру в табл. 1.

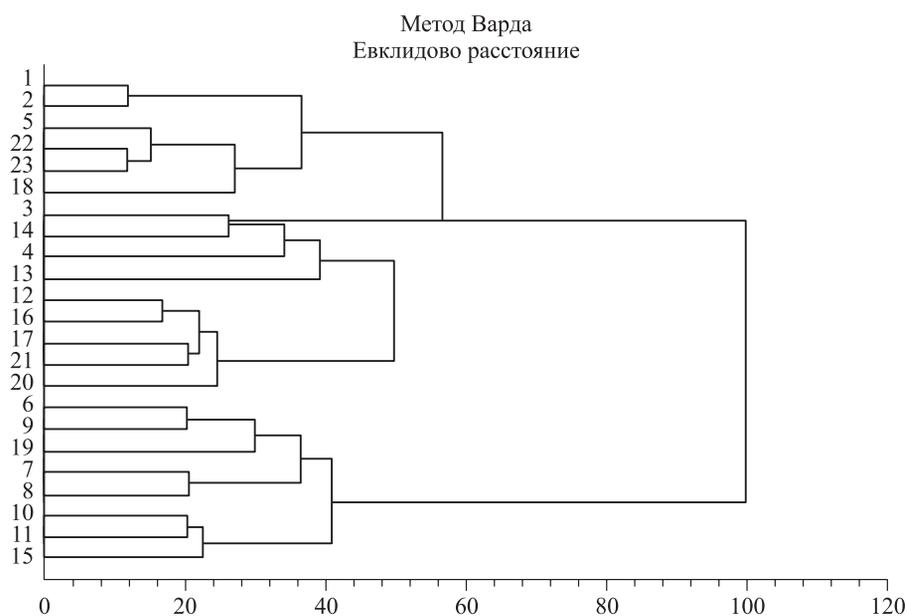


Рис. 2. Дендрограмма сходства растений *P. alba* (1–5), *P. tremula* (6–8), *P. × canescens* (9–19) и *Populus* sp. (20–23) по составу и содержанию фенольных соединений.

в низковолновой (250–290 нм) части (полоса II), другая – в более длинноволновой (340–380 нм) (полоса I), что является характерным признаком флавоноидной структуры. Интенсивная полоса поглощения с максимумом при 240 нм (полоса II) и 325–328 нм (полоса I) свидетельствует о наличии в экстракте гидроксикоричных кислот (Карпова, Храмова, 2014). Анализ показал, что состав фенольных компонентов осины беднее по сравнению с таковым тополей белого и сереющего: во всех образцах осины встречается лишь 11 веществ. Тополь белый отличается от осины присутствием рутина, галангина и компонентов № 9, 13, 21, 22, 23 (табл. 2).

Следует отметить, что в литературе есть данные о присутствии галангина в почках всех трех исследуемых таксонов (Bertrams et al., 2013; Robłocka-Olech et al., 2018), однако известно, что галангин является промежуточным продуктом в метаболизме тополя для синтеза других флавоноидов (Moggeel et al., 2006).

Возможно, при распускании листьев осины галангин полностью расходуется. Осина выделяется наибольшим содержанием гиперозида – $5.44 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$ (4), в то время как максимальное его содержание в листьях тополя белого $0.57 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$ (1), а содержание его в листьях тополя сереющего промежуточное между видами – до $1.57 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$. У осины (3) отмечено более высокое содержание астрагалина и компонента № 3 – 1.24 и $3.71 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$, в листьях тополя белого этих компонентов гораздо меньше – не бо-

лее 0.53 и $0.73 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$ соответственно. У тополя белого заметно выше содержание компонентов № 15, 18 по сравнению с осиной, причем эти вещества обнаружены во всех исследованных образцах тополя белого. Наибольшее суммарное содержание фенольных соединений отмечено в листьях тополя белого – $19.2 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$, а осина и тополь сереющий накапливают их меньше.

По данным кластерного анализа исследованные образцы разделились на 2 группы по составу и содержанию фенольных соединений – с осиной объединились только 4 гибрида (10, 11, 15, 19), остальные сгруппировались с тополем белым, при этом «чистые» экземпляры тополя белого не выделились в самостоятельную подгруппу (рис. 2).

Наиболее близкими оказались 2 образца тополя белого с р. Чумыш в Алтайском крае, к ним примыкают экземпляр тополя белого с р. Иня (5) и 2 неидентифицированных образца *Populus* sp. (22, 23). Два других образца тополя белого объединились с образцами тополя сереющего из Республики Алтай (13) и из Приднестровья (14). Какой-либо связи группировки объектов с их географическим происхождением не выявлено.

В литературе имеются сведения, базирующиеся на молекулярно-генетических методах AFLP и SSR, указывающие, что в гибридных зонах осины и тополя белого происходят возвратные скрещивания тополя сереющего именно с тополем белым, а не с осиной (Fossati et al., 2004).

Известно, что в экспериментах тополь белый и осина достаточно легко скрещиваются в обоих направлениях (Смилга, 1986). При искусственной гибридизации этих видов получены формы, морфологически схожие с естественными гибридами, произрастающими в Хоперском заповеднике (Сиволапов, 2005). При этом искусственные гибриды оказались полностью матроклинными – морфологически уклонились в сторону осины. Нами отмечено, что экземпляры тополя сереющего, морфологически близкие к осине, в природных популяциях Западной Сибири встречаются крайне редко. В результате экспедиционных исследований найден только один такой экземпляр в Алтайском крае вблизи с. Акулово (9). По составу и содержанию фенольных соединений также лишь 4 образца уклонились в сторону осины, большинство же гибридов ближе к тополю белому. Этот факт, вероятно, подтверждает имеющиеся сведения, что в природе чаще происходят возвратные скрещивания тополей сереющего и белого.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что по составу и содержанию фенольных соединений виды тополь белый и осина легко разделяются методом ВЭЖХ, образцы тополя сереющего по комплексу компонентов занимают промежуточное положение между родительскими видами. При этом установлено, что в естественных местообитаниях Западной Сибири тополь сереющий представлен широким спектром форм, что подтверждает имеющиеся в литературе сведения о возвратных скрещиваниях тополей сереющего и белого.

При подготовке публикации использовались материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 440534.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бакулин В. Т. Однодомное дерево *Populus canescens* Sm., обнаруженное в Новосибирской области // Вопросы интродукции и акклиматизации растений. М.: Наука, 1971. С. 8–9.
- Бакулин В. Т. Тополь белый в Западной Сибири. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2012. 117 с.
- Банаев Е. В., Шишкин С. В., Воронкова М. С., Беланова А. П., Томошевич М. А. Морфологические и биохимические особенности *Populus × canescens* в природных популяциях Алтайского края // Вестн. Алтай. гос. агр. ун-та. 2017. № 8 (154). С. 90–97.
- Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России. Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: Геос, 2010. 505 с.
- Карпова Е. А., Храмова Е. П. Состав и содержание фенольных соединений представителей рода *Spiraea* L. в условиях техногенного загрязнения г. Новосибирска // Сиб. экол. журн. 2014. № 2. С. 283–293.
- Коропачинский И. Ю., Встовская Т. Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2002. 708 с.
- Коропачинский И. Ю., Встовская Т. Н. Древесные растения Азиатской России. 2-е изд. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2012. 708 с.
- Коропачинский И. Ю., Милютин Л. И. Естественная гибридизация древесных растений. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2006. 223 с.
- Крылов П. Н. Флора Западной Сибири. Вып. 4. Томск, 1930. 980 с.
- Крылов Г. В., Крылов А. Г. Леса Западной Сибири // Леса СССР. М., 1969. Т. 4. С. 157–248.
- Лавриненко Д. Д., Редько Г. И., Лищенко А. А., Ковалевский А. К., Прилуцкий А. В., Черемской С. Г., Лесовский А. В., Тимченко Г. А. Создание тополевых насаждений. М.: Лесн. пром-сть, 1966. 315 с.
- Лучник З. И. Интродукция деревьев и кустарников в Алтайском крае. М.: Колос, 1970. 656 с.
- Масленникова К. А., Коныхова О. М., Канарский А. В. Фенолгликозиды растений семейства *Salicaceae* // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2014. Т. 17. Вып. 14. С. 383–386.
- Сиволапов А. И. Тополь сереющий: генетика, селекция, размножение. Воронеж: Воронеж. гос. лесотех. акад.: Воронеж. гос. ун-т, 2005. 157 с.
- Сиволапов А. И., Политов Д. В., Машикина О. С., Белоконь М. М., Сиволапов В. А., Белоконь Ю. С., Табацкая Т. М. Цитологические, молекулярно-генетические и лесоводственно-селекционные исследования полиплоидных тополей // Сиб. лесн. журн. 2014. № 4. С. 50–58.
- Смилга Я. Я. Осина. Рига: Зинатне, 1986. 238 с.
- Храмова Е. П., Комаревцева Е. К. Изменчивость флавоноидного состава листьев *Potentilla fruticosa* (Rosaceae) разных возрастных состояний в условиях Горного Алтая // Раст. ресурсы. 2008. Т. 44. Вып. 3. С. 96–102.
- Юрьев Д. В., Эллер К. И., Арзамасцев А. П. Анализ флавонолгликозидов в препаратах и БАД на основе экстракта *Ginkgo biloba* // Фармация. 2003. № 2. С. 7–9.
- Яблоков А. С. Воспитание и разведение здоровой осины. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 275 с.
- Adler W., Oswald K., Fischer R. Exkursionsflora von Oesterreich. Stuttgart; Wien: Verlag Eugen Ulmer, 1994. 1180 S.
- Alcalde-Eon C., Garcia-Estevéz I., Rivas-Gonzalo J. C., De la Cruz D. R., Escribano-Bailon M. T. Antho-

- cyanins of the anthers as chemotaxonomic markers in the genus *Populus* L. Differentiation between *Populus nigra*, *Populus alba* and *Populus tremula* // Phytochemistry. 2016. V. 128. P. 35–49.
- Beek T. A. van. Chemical analysis of *Ginkgo biloba* leaves and extracts // J. Chromatogr. Sect. A. 2002. V. 967. Iss. 1. P. 21–55.
- Bertrams J., Müller M. B., Kunz N., Kammerer D. R., Stintzing F. C. Phenolic compounds as marker compounds for botanical origin determination of German propolis samples based on TLC and TLC-MS // J. Appl. Bot. Food Quality. 2013. V. 86. P. 143–153.
- Bugala W. Krytyczny przegląd odmian geograhcznych i mieszańców *Populus alba* L. oraz studia nad tym gatunkiem w dolinie Wisły // Arboretum Kornickie. 1960. T. 5. S. 5–138.
- Eckenwalder J. E. Systematics and evolution of *Populus* // Biology of *Populus*, and its implications for management and conservation. Ottawa, 1996. P. 7–32.
- Fossati T., Patrignani G., Zapelli I., Sabatti M., Sala F., Castiglione S. Development of molecular markers to assess the level of introgression of *Populus tremula* into *P. alba* natural populations // Plant Breed. 2004. V. 123. P. 382–385.
- He Ch., Zheng Sh., Zhang J., Duan A., Zeng Ya., Cui K. Clonal reproduction and natural variation of *Populus canescens* patches // Tree Physiol. 2010. V. 30. P. 1383–1390.
- Larsen M. C. Recent advances in poplar breeding // Int. Rev. For. Res. 1970. V. 3. P. 1–67.
- Lazowski W. Auen in Österreich – Vegetation, Landschaft und Naturschutz. Vienna: Umweltbundesamt, 1997. 240 S.
- Lexer C., Fay M. F., Joseph J. A., Nica M.-S., Heinze B. Barrier to gene flow between two ecologically divergent *Populus* species, *P. alba* (white poplar) and *P. tremula* (European aspen): the role of ecology and life history in gene introgression // Molecul. Ecol. 2005. V. 14. P. 1045–1057.
- Loo M. van, Joseph J. A., Heinze B., Fay M. F., Lexer C. Clonality and spatial genetic structure in *Populus* × *canescens* and its sympatric backcross parent *P. alba* in a Central European hybrid zone // New Phytol. 2008. V. 177. P. 506–516.
- Morreel K., Goeminne G., Storme V., Sterck L., Ralph J., Coppeters W., Breyne P., Steenackers M., Georges M., Messens E., Boerjan W. Genetical metabolomics of flavonoid biosynthesis in *Populus*: a case study // Plant J. 2006. V. 47. P. 224–237.
- Poblocka-Olech L., Migas P., Krauze-Baranowska M. TLC determination of some flavanones in the buds of different genus *Populus* species and hybrids // Acta Pharm. 2018. V. 68. P. 199–210.
- Poplars in forestry and land use. Rome: FAO UNO, 1958. 511 p. (FAO For. Ser. N. 10).
- Poplars and willows in wood production and land use. Rome: FAO UNO, 1979. 328 p. (FAO For. Ser. N. 12).
- Rajora O. P., Dancik B. P. Genetic characterization and relationships of *Populus alba*, *P. tremula*, and *P.* × *canescens*, and their clones // Theor. Appl. Genet. 1992. V. 84. P. 291–298.

SPECIFICS OF THE PHENOLIC COMPOUND COMPOSITION AND CONTENT IN LEAVES OF *Populus alba* L., *P. tremula* L. AND *P. × canescens* (Ait.) Sm.

M. S. Voronkova, E. V. Banaev, S. V. Shishkin, A. A. Erst

*Central Siberian Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Zolotodolinskaya str. 101, Novosibirsk, 630090 Russian Federation*

E-mail: bmc_87@mail.ru, alnus2005@mail.ru, semen751975@mail.ru, annaerst@yandex.ru

The article represents studying the phenolic compound composition and content in leaves of white poplar *Populus alba* L., aspen *P. tremula* L. and grey poplar *P. × canescens* (Ait.) Sm. by high-performance liquid chromatography (HPLC) method. 24 compounds of phenolic nature were discovered, 7 of which are determined: coffee acid, quercetin glycosides – hyperoside, isoquercitrin, rutin and kaempferol glycoside – astragalins, aglycone – quercetin and galangin. The research showed that white poplar and aspen species are easily separated by HPLC on the composition and content of phenolic compounds. It is found that aspen spectrum of phenolic compounds is poorer in comparison with white and grey poplar samples occupy an intermediate position between white poplar and aspen on the composition and content of phenolic compounds, but the majority of hybrid samples evading towards white poplar. According to the cluster analysis, the studied samples are divided into 2 groups on the compound composition and content of phenolic compounds: only 4 hybrids are combined with aspen, the rest are grouped with white poplar, while the «pure» copies of white poplar is not stand out in an independent subgroup. The relation of objects grouping with their geographical origin isn't revealed. The obtained results indicate that in the analyzed material there are not only the F1 hybrids, but backcrosses, which are closer to white poplar both on phenolic compounds content and morphological signs. These forms are most likely the result of grey and white poplars return crossings.

Keywords: *gray poplar, white poplar, aspen, flavonoids, HPLC.*

How to cite: *Voronkova M. S., Banaev E. V., Shishkin S. V., Erst A. A. Specifics of the phenolic compound composition and content in leaves of *Populus alba* L., *P. tremula* L. and *P. × canescens* (Ait.) Sm. // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2019. N. 5. P. 90–98 (in Russian with English abstract).*