

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПЛОДАХ СЛИВЫ ДОМАШНЕЙ (PRUNUS DOMESTICA L.) В УСЛОВИЯХ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ *

А.М. Миронов, М.Ю. Акимов, доктор сельскохозяйственных наук,
В.А. Кольцов, кандидат сельскохозяйственных наук,
Р.Е. Богданов, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина,
393774, Тамбовская обл., Мичуринск, ул. Мичурина, 30
E-mail: vniigispr3@yandex.ru

Плоды сливы домашней (Prunus domestica L.) – ценный источник фенольных соединений, в частности гидроксицикоричных кислот и их эфиров. Гибридное происхождение гексаплоидного вида Prunus domestica, огромное разнообразие сортов и различные районы выращивания не позволяют сделать окончательный вывод об уровне содержания и составе фенольных соединений в плодах этой культуры. Цель исследований – определение и идентификация фенольного состава плодов деревьев сливы домашней (Prunus domestica L.), произрастающих на территории Тамбовской области. Объектами исследований служили 8 сортов сливы универсального и столового назначения. Опытные насаждения заложены в 2014 г. по схеме 6 м × 3 м. В качестве подвоя использовали СВГ 11–19. Определение фенольных компонентов проводили методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием жидкостного хроматографа Thermo Ultimate 3000, оснащенного диодно-матричным детектором DAD-3000. Хроматографирование метанольных экстрактов плодов сливы осуществляли бинарным градиентом подвижной фазы, в качестве которого использовали ацетонитрил и водный раствор дигидрофосфата калия, подкисленного ортофосфорной кислотой до pH 2,5. Содержание гидроксицикоричных кислот в изученных плодах сливы находилось на следующих уровнях: 4-кофеилхиновая кислота – 5,33...181,54 мг/100 г; 5-кофеилхиновая кислота – 1,69...31,73 мг/100 г; 3-р-кумароилхиновая кислота – 0,54...5,77 мг/100 г; 3-кофеилхиновая кислота – 0,04...0,63 мг/100 г. Среди флавонолов преобладал кверцетин-3-рутинозид – 0,77...9,17 мг/100 г. В изученных плодах сливы идентифицировано 3 антоциана: цианидин-3-глюкозид, цианидин-3-рутинозид и пеонидин-3-глюкозид. В структурном составе антоцианов плодов сливы преобладал цианидин-3-глюкозид, доля которого составляла от 60 до 90 % от общего их содержания. Результаты исследования свидетельствуют о перспективности использования выделенных сортов сливы (Prunus domestica L.) в качестве источника гидроксицикоричных кислот, антоцианов и флавонолов в рационе питания населения.

INVESTIGATION OF THE COMPLEX OF PHENOLIC COMPOUNDS IN FRUITS OF THE DOMESTIC PLUM (PRUNUS DOMESTICA L.) IN CONDITIONS OF TAMBOV REGION

M.A. Mironov, M.Yu. Akimov, V.A. Koltsov, R.E. Bogdanov

Michurin Federal Scientific Center,
393774, Tambovskaya obl., Michurinsk, ul. Michurina, 30
E-mail: vniigispr3@yandex.ru

The fruits of Prunus domestica L. are a valuable source of phenolic compounds, in particular hydroxycinnamic acids and their esters. Hybrid origin of Prunus domestica hexaploid species, a huge variety of varieties and different growing areas do not allow scientists to make a definitive conclusion about certain phenolic compounds in plum fruits. The purpose of our research is to determine and identify the phenolic composition of fruits of Prunus domestica L. growing in the Tambov region of the Russian Federation. Eight varieties of universal and table plum were taken as objects of research. Experimental plantations were planted in 2014 according to the scheme of 6x3 m. SVG 11–19 was used as a rootstock. The study of phenolic components of plum fruits was performed by HPLC using a Thermo Ultimate 3000 liquid chromatograph equipped with a DAD-3000. Separation was performed on a Hypersil Gold C18 column (4.6 × 250 mm, 5 μm). The binary mobile phase gradient was phosphate and acetonitrile. For the analysis, plum fruits were extracted with 70 % aqueous methanol. The levels of hydroxycinnamic acids in the plum fruits studied were determined: 4-caffeoylquinic acid–5.33...181.54 mg/100 g, 5-caffeoylquinic acid–1.69...31.73 mg/100 g, 3-p-coumaroylquinic acid–0.54...5.77 mg/100 g, 3-caffeoylquinic acid–0.04...0.63 mg/100 g. Among flavonols, the predominant component is quercetin-3-rutinoside – 0.77...9.17 mg/100 g. Three anthocyanins were identified in the studied plum fruits: cyanidin-3-glucoside, cyanidin-3-rutinoside and peonidin-3-glucoside. In the structural composition of plum fruit anthocyanins, cyanidin-3-glucoside dominates, accounting for 60 to 90 % of the total anthocyanin content. The obtained data on the content of phenolic components in fruits of isolated plum varieties (Prunus domestica L.) indicate the promise of their further study for breeding studies and as a source of hydroxycinnamic acids, anthocyanins and flavonols in the diet of the population.

Ключевые слова: плоды, слива домашняя (Prunus domestica L.), ВЭЖХ, УФ-детектирование, гидроксицикоричные кислоты, флавонолы, антоцианы.

Key words: fruits, Prunus domestica L., HPLC, UV-detection, hydroxycinnamic acids, flavonols, anthocyanins.

Фенольные соединения служат важными биохимическими компонентами плодовой, ягодной и овощной продукции, в которых они обуславливают как биохимические, так и органолептические свойства (цвет, горечь и терпкость). Известно, что диета, богатая фенольными

соединениями, значительно снижает риск развития онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний [1, 2]. Растительные фенольные соединения признаны сильными природными антиоксидантами с широким спектром биологических свойств. В связи с этим возрастает науч-

* работа выполнена при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Национальная сетевая коллекция генетических ресурсов растений для эффективного научно-технологического развития РФ в сфере генетических технологий» по соглашению № 075-15-2021-1050 от 28.09. 2021 г.

ный интерес к оценке их содержания в растительной продукции. Между тем, имеющаяся на сегодняшний день в литературных источниках информация зачастую имеет фрагментарный характер и ограничивается несколькими сортами и одной группой фенольных соединений [3].

Слива домашняя (*Prunus domestica* L.) принадлежит к семейству Rosaceae и происходит из Кавказского региона в Западной Азии. Плоды культуры характеризуются большим разнообразием по размеру, форме, вкусу, внешнему виду и биохимическому составу [4, 5]. Окраска плодов варьирует от зеленого и желтого до красного и различных оттенков синего, что указывает на сильные различия в биосинтезе и накоплении фенольных соединений [6].

Плоды сливы – ценный источник фенольных кислот. В первую очередь это гидроксикоричные кислоты и их эфиры, в частности, кофейлхинные кислоты. Кроме того, в плодах культуры в зависимости от сорта и ареала происхождения содержатся 3-р-кумароилхинная, кофейная, протокатеховая, кумаровая и феруловая кислоты [7, 8]. Антоциановый комплекс плодов сливы в основном представлен гликозидами цианидина и пеонидина [9]. Анализ их гидролизированных экстрактов продемонстрировал присутствие различных количеств флавонолов (производные кверцетина, кемпферола и мирицетина) [10]. В основном это катехины, на долю которых может приходиться до 4...8 % общего количества фенольных веществ. При этом, например, R. Slimestad, et al. [11] не обнаружили присутствия флаван-3-олов в плодах сливы, выращенных на территории Норвегии.

В целом представители этого вида характеризуются различным накоплением фенольных производных в плодах, как по качественному, так и по количественному составу. Результаты анализа литературных источников свидетельствуют о том, что определения содержания и состава фенольных соединений в плодах сливы домашней (*Prunus domestica* L.), произрастающей на территории Тамбовской области, ранее не проводили.

Цель исследований – идентификация и количественное определение фенольного состава плодов деревьев сливы домашней (*Prunus domestica* L.), произрастающей на территории Тамбовской области.

Методика. Работу выполняли в 2019–2021 гг. на базе лаборатории передовых послеуборочных технологий в опытно-производственных насаждениях ФГБНУ ФНЦ им. И. В. Мичурина. Оценивали 8 сортов сливы в стадии потребительской спелости (табл. 1). Отбор проб проводили с 10 деревьев каждого сорта в соответствии с действующими методическими рекомендациями [12]. В качестве контроля использовали районированный сорт Этюд. Экспериментальные насаждения заложены в 2014 г. по схеме 6 м × 3 м. В качестве подвоя использовали СВГ 11–19. Сад расположен на верхней части восточного склона. Почва – серая лесная. Гранулометрический состав неоднороден с преобладанием легкого суглинка.

Пробы для анализа готовили путем трехкратной ультразвуковой экстракции в 70 %-ном метаноле в соответствии с работой Mitic V., et al [8]. Использовали метанол ОСЧ производства Вектон. Навеску 1 г измельченной мякоти плода отбирали из средней пробы (50 г) и заливали 10 мл растворителя, после чего помещали в ультразвуковую баню на 30 мин при температуре 50 °С, затем центрифугировали (10 мин, 3000 об/мин), надосадочную жидкость переносили в мерную колбу 50 мл. Осадок снова заливали метанолом, и повторяли процедуру. После трех последовательных экстракций полученный объем доводили до метки 50 мл 70 %-ным метанолом, после чего 2 мл пробы отбирали шприцем и отфильтровывали через мембранный шприцевой фильтр (диаметр 13 мм, 0,22 мкм, PTFE) в хроматографическую вialу. Пробы подготавливали в 3 повторностях.

Качественный и количественный состав фенольных компонентов плодов сливы определяли методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ОФ ВЭЖХ) на хроматографе Thermo Ultimate 3000 с диодно-матричным детектором DAD-3000 в соответствии с действующими методическими рекомендациями [13]. Разделение компонентов проводили на колонке Hypersil Gold C18 (4,6 × 250 мм, 5μm). Использовали бинарный градиент подвижной фазы – фосфатного буфера (А) и ацетонитрила (В), соотношение которых изменяли в следующих пропорциях: 0...10 мин – 5 % В, 18 мин – 23 % В, 30 мин – 30 % В, 35...45 мин – 40 % В, 55 мин – 5 % В, 60 мин – 5 % В. Фосфатный буфер представлял собой 0,0073 М раствор KH_2PO_4 , подкисленный ортофосфорной кислотой до pH 2,5. Для его приготовления использовали дигидрофосфат калия ОСЧ (Ленреактив) и ортофосфорную кислоту ОСЧ 12–3 (Ленреактив). Ацетонитрил – Carlo Erba Reagents (For HPLC Plus Gradient grade). Детектирование сигнала проводили при длине волны 280, 330, 360 и 520 нм, диапазон сигнала от 200 до 700 нм. Скорость подачи подвижной фазы – 1 мл/мин, температура колонки – 30 °С, объем инъекции – 20 μл.

Соединения идентифицировали по времени удерживания и спектральным характеристикам стандартов, а также литературным данным. В качестве стандартов использовали: хлорогеновую кислоту (компания Fluka); кофейную кислоту (компания Fluka); пара-кумаровую кислоту (компания Sigma-Aldrich); рутин (компания Sigma-Aldrich).

Спектры снимали в диапазоне длин волн 230...430 нм, в дальнейшем при анализе гидроксикоричных кислот детекцию проводили при длине волны 330 нм, флавонолов – 360 нм и антоцианов – 520 нм. Концентрацию отдельных фенольных соединений рассчитывали по площадям пиков в соответствии с внешними стандартами.

Расчет концентрации отдельных фенольных соединений и приготовление стандартных растворов эталонных веществ проводили в соответствии с действующими методическими рекомендациями [13]. Для расчета

Табл. 1. Помологическая характеристика изучаемых сортов сливы

Сорт	Срок созревания	Окраска кожицы плода	Назначение сорта
Венера	средний	фиолетовая	универсальный
Волжанка	средний	красно-фиолетовая	столовый
Гармония	среднеранний	красно-фиолетовая	столовый
Евразия 21	ранний	фиолетовая	столовый
Кооперативная	средний	темно-фиолетовая	универсальный
Ренклюд колхозный	среднеранний	желтая	столовый
Ренклюд Харитоновой	средний	темно-фиолетовая	универсальный
Этюд (к)	среднеранний	темно-фиолетовая	универсальный

идентифицированных соединений, не имеющих в наличии внешних стандартов, использовали эквиваленты родственных соединений. Количество 3-кофеилхинной (неохлорогеновой) кислоты рассчитывали по 5-кофеилхинной кислоте, 3-*p*-кумароилхинной кислоты – по *p*-кумаровой кислоте [14].

Обработку полученных результатов проводили с использованием программного обеспечения Chromeleon 7.2.8.

Результаты и обсуждение. При определении гидроксикоричных кислот соединения, соответствующие пикам 5 и 11, согласно времени удерживания (рис. 1) и форме спектральных кривых (рис. 2), в сравнении со стандартными веществами, были идентифицированы как 5-кофеилхинная (хлорогеновая) кислота и кофейная кислота.

Согласно времени выхода и форме спектральных кривых, соединения 2 и 16 предположительно идентифицированы как 3-кофеилхинная кислота и 4-кофеилхинная кислота в соответствии с данными, ранее опубликованными в работах Nakatani N., et al. [7] и Bennat S., et al. [15], а соединение 3 – как 3-*p*-кумароилхинная кислота [7, 8, 11]. Стоит отметить, что в плодах сливы Ренклюд Харитоновой не удалось определить криптохорогеновую кислоту.

Среди флавонолов, согласно времени удерживания и максимуму поглощения, в сравнении со стандартным веществом, компонент 6 был идентифицирован как кверцетин-3-рутинозид, который преобладал среди соединений этого класса в рассмотренных образцах. Компонент 7 имел схожую форму спектральных кривых и максимум поглощения с кверцетин-3-рутинозидом и, согласно времени выхода в соответствии с данными литературных источников [10, 16], предположительно идентифицирован как кверцетин-3-гликозид.

Согласно литературным данным [9, 17, 18] в плодах сливы идентифицированы: цианидин-3-рутинозид, цианидин-3-ксилозид, пеонидин-3-гликозид, пеонидин-3-рутинозид, с преобладанием цианидин-3-рутинозида. Согласно времени выхода и форме спектральных кривых в соответствии с литературными данными [17, 18, 19] соединения 8, 9 и 10 предположительно идентифицированы как цианидин-3-гликозид, цианидин-3-рутинозид, пеонидин-3-гликозид соответственно.

Установлено, что в антоциановом комплексе плодов сливы преобладал цианидин-3-гликозид, на долю которого приходилось от 60 до 90 % от общего содержания антоцианов. В плодах сливы сортов Венера, Ренклюд

Табл. 2. Содержание основных гидроксикоричных кислот и флавонолов в плодах сливы, мг/100 г

Сорт	3-CQA*	5-CQA*	3-CoQA*	Рутин
Венера	25,2	8,02	4,97	3,23
Волжанка	27,2	5,61	4,29	2,63
Гармония	45,9	27,8	4,18	9,17
Евразия 21	76,6	17,2	3,26	1,04
Кооперативная	77,9	4,5	4,57	4,77
Ренклюд колхозный	181,5	20,4	5,77	3,63
Ренклюд Харитоновой	5,33	1,69	0,54	0,77
Этюд (к)	95,5	31,7	1,61	3,91
Среднее арифметическое, М	66,9	14,6	3,64	3,64
Доверительный интервал, d	55,6	11,3	1,76	2,62
Ошибка средней арифметической, m	19,6	4,01	0,62	0,93

*3-CQA – неохлорогеновая кислота, 5-CQA – хлорогеновая кислота, 3-CoQA – 3-*p*-кумароилхинная кислота.

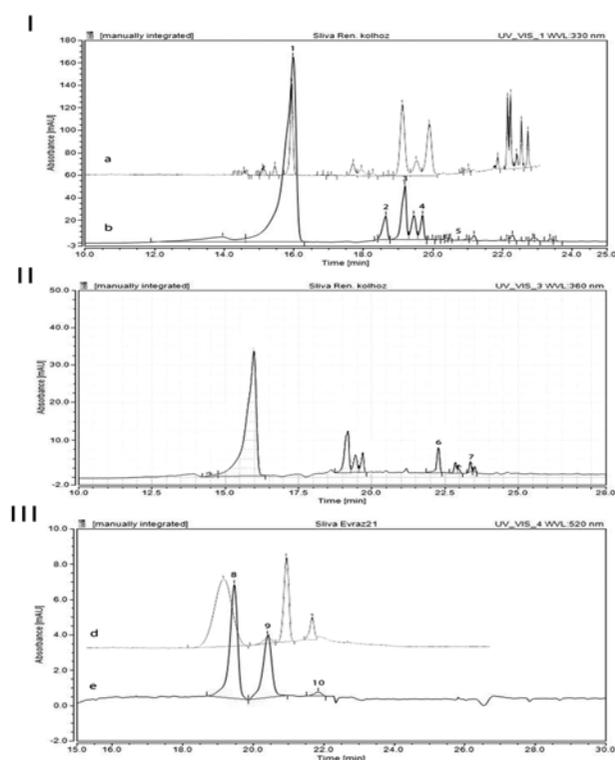


Рис. 1. Хроматограмма ОФ ВЭЖХ разделения фенольных соединений I – хроматограмма при длине волны 330 нм: а – метанольный экстракт кофе, б – метанольный экстракт плодов *Prunus domestica* L., 1–5-кофеилхинная (хлорогеновая) кислота, 2–3-*p*-кумароилхинная кислота, 3–4-кофеилхинная кислота, 4–3-кофеилхинная кислота, 5 – кофейная кислота. II – хроматограмма при длине волны 360 нм: с – метанольный экстракт плодов *Prunus domestica* L., 5 – кверцетин-3-рутинозид, 6 – кверцетин-3-гликозид. III – хроматограмма при длине волны 520 нм: d – метанольный экстракт плодов *Aronia melanocarpa*, e – метанольный экстракт плодов *Prunus domestica* L., 8 – цианидин-3-гликозид, 9 – цианидин-3-рутинозид, 10 – пеонидин-3-гликозид.

Харитоновой, Волжанка и Кооперативная идентифицированы два антоциана: цианидин-3-гликозид и цианидин-3-рутинозид.

По содержанию неохлорогеновой кислоты в плодах сливы установлены существенные различия (табл. 2). Наибольшее накопление неохлорогеновой кислоты отмечено в плодах сорта Ренклюд Колхозный (181,5 мг/100 г), наименьшее – в плодах сорта Ренклюд Харитоновой (5,33 мг/100 г).

Содержание хлорогеновой кислоты в изученных плодах сливы варьировало в интервале 1,69...31,7 мг/100 г. Наибольшим ее накоплением отличались плоды сорта Этюд (31,7 мг/100 г) и Гармония (27,8 мг/100 г), наименьшим – Венера (8,02 мг/100 г), Ренклюд Харитоновой (1,69 мг/100 г), Волжанка (5,60 мг/100 г), Кооперативная (4,57 мг/100 г).

Концентрация 3-*p*-кумароилхинной кислоты составляла 0,54...5,77 мг/100 г. Самое высокое ее накопление отмечено в плодах сливы сорта Ренклюд колхозный (5,77 мг/100 г), наименьшее – Ренклюд Харитоновой (0,54 мг/100 г).

Доминирующей гидроксикоричной кислотой в плодах изученных сортов, а также основным компонентом среди фенольных соединений, была неохлорогеновая (56,3...68,43 % от общего содержания фенольных соединений). Полученные данные согласуются с работами Usenik V., et al. [19] и Slimestad R., et al. [11], в которых

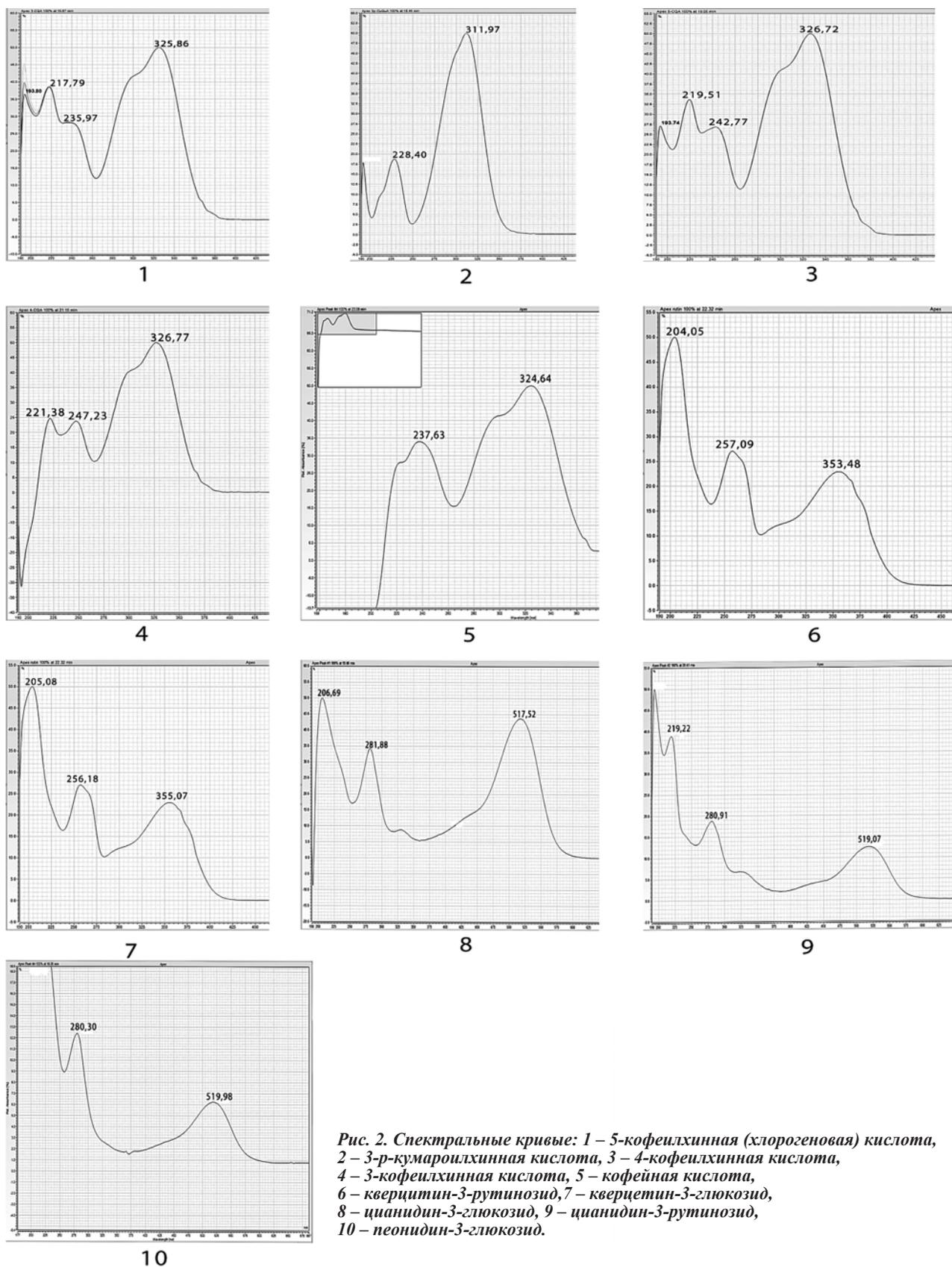


Рис. 2. Спектральные кривые: 1 – 5-кофейлхинная (хлорогеновая) кислота, 2 – 3-р-кумароилхинная кислота, 3 – 4-кофейлхинная кислота, 4 – 3-кофейлхинная кислота, 5 – кофейная кислота, 6 – кверцетин-3-рутинозид, 7 – кверцетин-3-глюкозид, 8 – цианидин-3-глюкозид, 9 – цианидин-3-рутинозид, 10 – пеонидин-3-глюкозид.

представлены результаты изучения фенольных соединений в плодах сливы, произрастающей на территории Словении и Норвегии соответственно. В этих работах накопление неохлорогеновой кислоты варьировало

в пределах 19,3...153,0 мг/100 г, хлорогеновой кислоты – 12,3...54,7 мг/100 г, 3-р-кумароилхинной кислоты – 0,1...7,6 мг/100 г. В плодах сливы, произрастающей на территории Московской области, Мотылева С. М.

и др. [21] установили низкое содержания хлорогеновой кислоты (1,76...3,34 мг/100 г). В работе Tomić J., et al. [22] в плодах сливы, произрастающей на территории западной Сербии, установлен низкий уровень накопления неохлорогеновой кислоты – 0,26...23,26 мг/100 г и хлорогеновой кислоты – 0,14...1,62 мг/100 г. Однако содержание 3-р-кумароилхинной кислоты (1,53...14,2 мг/100 г) было выше, чем в наших исследованиях.

По концентрации рутина в наших исследованиях выделены плоды сорта Гармония (9,17 мг/100 г). Средний уровень его накопления (2,63...4,77 мг/100 г) установлен в плодах сливы сортов Энюд, Ренклод колхозный, Венера, Волжанка, Кооперативная. Плоды сортов Евразия 21 (1,04 мг/100 г) и Ренклод Харитоновой (0,77 мг/100 г) характеризовались наименьшим содержанием рутина среди изученных образцов. Полученные данные согласуются с результатами Usenik V., et al. [19] и Slimestad R., et al. [11], а в работе Tomić J., et al. [22] определен сравнительно низкий уровень содержания рутина в исследуемых плодах сливы – 0,03...1,32 мг/100 г.

Выводы. В условиях Тамбовской области установлены значительные различия по уровню накопления в плодах сливы разных сортов неохлорогеновой кислоты (5,33...181,5 мг/100 г), хлорогеновой кислоты (1,69...31,7 мг/100 г), 3-р-кумароилхинной кислоты (0,54...5,77 мг/100 г) и рутина (0,77...9,17 мг/100 г). Плоды сорта Ренклод колхозный содержали наибольшее количество гидроксикоричных кислот, сорта Гармония – рутина. В плодах сливы идентифицированы такие антоцианы, как цианидин-3-глюкозид, цианидин-3-рутинозид, пеонидин-3-глюкозид. При этом в плодах сливы сортов Венера, Ренклод Харитоновой, Волжанка и Кооперативная обнаружить пеонидин-3-глюкозид не удалось. Полученные данные об уровне содержания фенольных компонентов плодов сливы (*Prunus domestica* L.) свидетельствуют о перспективности дальнейшего изучения выделенных сортов в селекционных исследованиях и включения их плодов в рацион питания населения в качестве источника гидроксикоричных кислот и флавонолов.

Литература

1. Потребление полифенольных соединений в популяции высокого сердечно-сосудистого риска / Т. И. Батлук, И. П. Березовикова, Д. В. Денисова и др. // Профилактическая медицина. 2020. № 4 (23). С. 67–73. doi : 10.17116/profmed20202304167.
2. Федотчева Т. А., Шимановский Н. Л. Фармакологические способы преодоления множественной лекарственной устойчивости к химиотерапии // Химико-фармацевтический журнал. 2022. 56. № 10 (56). С. 3–9. doi : 10.30906/0023–1134–2022–56–10–3–9.
3. Extrapolation of phenolic compounds as multi-target agents against cancer and inflammation / N. Kumar, S. Gupta, T. C. Yadav, et al. // Journal of Biomolecular Structure and Dynamics. 2019. Vol. 37 (9). P. 2355–2369. doi : 10.1080/07391102.2018.1481457.
4. Агробиологические и морфобиохимические аспекты изучения привойно-подвойных комбинаций сливы / Г. Ю. Упадышева, С. М. Мотылёва, Д. В. Панищева и др. // Садоводство и виноградарство. 2022. № 4. С. 40–47. doi : 10.31676/0235–2591–2022–4–40–47.
5. Кочубей А. А., Заремук Р. Ш. Комплексная оценка сортов сливы домашней по качеству плодов в условиях южного садоводства // Аграрная наука. 2019. № 3. С. 62–65.
6. Дубровская О. Ю., Жбанова Е. В., Богданов Р. Е. Анализ многолетней динамики содержания химических компонентов плодов сливы // Субтропическое и декоративное садоводство. 2021. № 79. С. 99–107. doi : 10.31360/2225–3068–2021–79–99–107.
7. Identification, quantitative determination, and antioxidative activities of chlorogenic acid isomers in prune (*Prunus domestica* L.) / N. Nakatani, S. Kayano, H. Kikuzaki, et al. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2000. Vol. 48. P. 5512–5516. doi : 10.1021/jf000422s.
8. Chemometric characterization of peach, nectarine and plum cultivars according to fruit phenolic content and antioxidant activity / V. Mitic, M. Ilic, M. Dimitrijevic, et al. // Fruits. 2016. Vol. 71. P. 57–66. doi : 10.1051/fruits/2015042.
9. Trendafilova A., Ivanova V., Trusheva B., et al. Chemical Composition and Antioxidant Capacity of the Fruits of European Plum Cultivar «Саčanska Lepotica» Influenced by Different Rootstocks // Foods. 2022. Vol. 11 (18). URL : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36140977/> (дата обращения : 26.12.2022). doi : 10.3390/foods11182844.
10. Identification of phenolic compounds in plum fruits (*Prunus salicina* L. and *Prunus domestica* L.) by high-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry and characterization of varieties by quantitative phenolic fingerprints / R. Jaiswal, H. Karaköse, S. Rühmannat, et al. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2013. Vol. 61 (49). P. 12020–12031. doi : 10.1021/jf402288j.
11. Slimestad R., Vangdal E., Brede C. Analysis of phenolic compounds in six Norwegian plum cultivars (*Prunus domestica* L.) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2009. Vol. 57. P. 11370–11375. doi : 10.1021/jf902054x.
12. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е. Н. Седова и Т. П. Огольцовой. Орел : ВНИИСПК, 1999. 606 с.
13. Методы анализа минорных биологически активных веществ в пище / под ред. В. А. Тумельяна и К. И. Эллера. М. : Научно-исследовательский институт питания РАМН, Династия, 2010. 180 с.
14. Sweet and sour cherry phenolics and their protective effects on neuronal cells / D.-O. Kim, J. H. Ho, J. K. Young, et al. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005. Vol. 53. P. 9921–9927. doi : 10.1021/jf0518599.
15. HPLC Analysis of chlorogenic acid lactones in roasted coffee / C. Bennat, U. H. Engelhardt, A. Kiehne, et al // Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und Forschung. 1994. Vol. 199. P. 17–21. doi : 10.1007/BF01192945.
16. Saygi K. O. Quantification of Phenolics from *Coriandrum sativum* vulgare and *Coriandrum sativum* microcarpum by HPLC–DAD // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A : Science. 2021. Vol. 45. P. 1319–1326. doi : 10.1007/s40995–021–01132–1.
17. Quality assessment of 178 cultivars of plum regarding phenolic, anthocyanin and sugar content / S. Sahamishirazi, J. Moehring, W. Claupein, et al. // Food Chemistry. 2017. Vol. 214. P. 694–701. doi : 10.1016/j.foodchem.2016.07.070.
18. Usenik V. The influence of the production system on the composition of phytochemicals in *Prunus domestica* L. Fruit // Journal of Food Composition and Analysis. 2021. Vol. 95. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S088915752031406X> (дата обращения : 07.12.2022). doi : 10.1016/j.jfca.2020.103701.
19. Characterization of anthocyanins and proanthocyanidins in some cultivars of *Ribes*, *Aronia*, and *Sambucus* and their antioxidant capacity // X. Wu, L. Gu, R. L. Prior, et

- al. // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004. Vol. 52. P. 7846–7856. doi :10.1021/jf0486850.
20. *Quality changes during ripening of plums (Prunus domestica L.)* / V. Usenik, D. Kastelec, R. Veberic, et al. // *Food Chemistry*. 2008. Vol. 111(4). P. 830–836. doi : 10.1016/j.foodchem.2008.04.057.
21. *Помологические и биохимические особенности плодов сливы* / С. М. Мотылева, В. С. Симонов, И. М. Куликов и др. // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2017. № 2. С. 37–42.
22. *Phytochemical assessment of plum (Prunus domestica L.) cultivars selected in Serbia* / J. Tomic, F. Stampar, I. Glisic, et al. // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 30. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814619312191> (дата обращения : 07.12.2022). doi : 10.1016/j.foodchem.2019.125113.

Поступила в редакцию 15.02.2023

После доработки 23.03.2023

Принята к публикации 25.04.2023