

ISSN 2312-6701 (online)

СОВРЕМЕННОЕ САДОВОДСТВО – CONTEMPORARY HORTICULTURE

теоретическое и научно-практическое сетевое издание <https://journal-vniispk.ru>

2025, №1



ВЕНЬЯМИНОВСКОЕ (*Malus domestica* Borkh.)
Долматов Е.А., Жданов В.В., Седов Е.Н., Серова З.М.

Учредитель и издатель:
ФГБНУ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЕКЦИИ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР»



УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:
Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-
исследовательский институт
селекции плодовых культур»
(ФГБНУ ВНИИСПК)

**СОВРЕМЕННОЕ САДОВОДСТВО –
CONTEMPORARY HORTICULTURE**
Сетевое издание

ПЕРИОДИЧНОСТЬ
4 номера в год

РЕЕСТРОВАЯ ЗАПИСЬ СМИ
серия Эл № ФС77-77630 от
31.12.2019 г.

ТЕМАТИКА
К публикации принимаются
оригинальные статьи, отражающие
проблематику и результаты
фундаментальных и прикладных
научных исследований в области
генетики, селекции, сортоизучения,
интродукции, биотехнологии,
физиологии, биохимии, иммунитета,
агрохимии, питомниководства,
хранения, переработки и технологий
выращивания плодовых, ягодных и
декоративных растений.

УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
Опубликованные материалы
доступны по лицензии CC-BY 4.0
DEED Attribution 4.0 International

ИНДЕКСАЦИЯ
BAK, PИНЦ, Google Scholar,
КиберЛенинка

КОНТАКТЫ
302530, Орловская область,
Орловский МО, д. Жилина, д. 1,
ФГБНУ ВНИИСПК
email: journal@vniispk.ru;
web: www.journal-vniispk.ru
тел.: 8(4862)45-00-71

**ПЛАТА ЗА ПУБЛИКАЦИЮ НЕ
ВЗИМАЕТСЯ**

© ФГБНУ ВНИИСПК, 2025

СОВРЕМЕННОЕ САДОВОДСТВО – CONTEMPORARY HORTICULTURE

2025, № 1

11 апреля 2023 года включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны
быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени
кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальностям:

- 4.1.2 – Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки)
4.1.4 – Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры
(сельскохозяйственные науки)

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Князев Сергей Дмитриевич, д.с.-х.н., профессор, директор ФГБНУ ВНИИСПК

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Цой Михаил Флоридович, к.с.-х.н., заместитель директора по научной работе ФГБНУ ВНИИСПК

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Атрошенко Геннадий Парфёнович, д.с.-х.н., доцент, ФГБОУ ВО СПбГАУ

Галашева Анна Мироновна, к.с.-х.н., ФГБНУ ВНИИСПК

Голяева Ольга Дмитриевна, к.с.-х.н., ФГБНУ ВНИИСПК

Грюнер Лидия Андреевна, к.с.-х.н., ФГБНУ ВНИИСПК

Евдокименко Сергей Николаевич, д.с.-х.н., доцент, ФГБНУ ФНЦ Садоводства

Емельянова Ольга Юрьевна, к.б.н., ФГБНУ ВНИИСПК

Еремин Виктор Геннадиевич, д.с.-х.н., Крымская ОСС - филиал ВИР

Захаров Вячеслав Леонидович, д.с.-х.н., доцент, ФГБОУ ВО ЕГУ им. И.А. Бунина

Кахраманоглу Ибрагим, PhD, Европейский университет Лефке (Турция)

Красова Нина Глебовна, д.с.-х.н. ФГБНУ ВНИИСПК

Кузин Андрей Иванович, д.с.-х.н., доцент, ФГБНУ ФНЦ им. И.В. Мичурина

Курашев Олег Владимирович, к.с.-х.н., ФГБНУ ВНИИСПК

Левченко Светлана Валентиновна, д.с.-х.н., г.н.с., ФГБУН ВНИИВиВ «Магarach» РАН

Макаренко Сергей Александрович, д.с.-х.н., ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН

Макаркина Маргарита Алексеевна, д.с.-х.н., ФГБНУ ВНИИСПК

Маринеску Марина Федоровна, к.б.н., Институт генетики, физиологии и защиты растений АН
Молдавии

Мясищев Нина Викторовна, д.с.-х.н., ФГБОУ ВО «Росбиотех»

Назиров Хикматулло Нуруллоевич, д.с.-х.н., профессор, Институт садоводства и овощеводства
Таджикской АСХН

Ноздрачёва Раиса Григорьевна, д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ

Ожерельева Зоя Евгеньевна, к.с.-х.н., ФГБНУ ВНИИСПК

Осипов Геннадий Емельянович, д.с.-х.н., профессор, ФГБУН ФИЦ КазНЦ РАН

Панфилова Ольга Витальевна, к.с.-х.н. ФГБНУ ВНИИСПК

Потанин Дмитрий Валериевич, д.с.-х.н., ФГАУ ВО КФУ имени В.И. Вернадского

Прудников Павел Сергеевич, к.б.н., ФГБНУ ВНИИСПК

Раченко Максим Анатольевич, д.с.-х.н., к.б.н., ФГБНУ СИФИБР СО РАН

Резвякова Светлана Викторовна, д.с.-х.н., доцент, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина

Седов Евгений Николаевич, д.с.-х.н., профессор, академик РАН, ФГБНУ ВНИИСПК

Сорокопудов Владимир Николаевич, д.с.-х.н., профессор, ФГБНУ ВИЛАР

Солонкин Андрей Валерьевич, д.с.-х.н., ФГБНУ ФНЦ агроэкологии РАН

Сотник Александр Иванович, д.с.-х.н., ФГБУН «НБС-ННЦ»

Трунов Юрий Викторович, д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ

Тургунбаев Кубанычбек Токтоназарович, д.с.-х.н., профессор, Кыргызский национальный аграрный
университет им. К.И. Скрябина

Тутберидзе Циала Владимировна, к.с.-х.н., доцент, ФГБНУ ФИЦ СНЦ РАН

Урбанович Оксана Юрьевна, д.б.н., доцент, ГНУ Институт цитологии и генетики НАН Беларуси

Фоменко Тарас Григорьевич, к.с.-х.н., ФГБНУ СКФНЦСВВ

Хоконова Мадина Борисовна, д.с.-х.н., доцент, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ им. В.В.
Кокова

Чумаков Сергей Семенович, д.с.-х.н., доцент, ФГБОУ ВО КубГАУ им. И.Т. Трубилина

Шарье Гийом, PhD, Национальный институт сельскохозяйственных исследований Франции INRAE

Янчук Татьяна Владимировна, к.с.-х.н., ФГБНУ ВНИИСПК

FOUNDER:

Russian Research Institute of Fruit
Crop Breeding (VNIISPK)

**SOVREMENNOE SADOVODSTVO –
CONTEMPORARY HORTICULTURE**

Theoretical and scientific and
practical online journal

PUBLICATION FREQUENCY

Quarterly a year

AIM AND SCOPE

We accept for publication original
articles reflecting the problems and
results of fundamental and applied
scientific research in the field of
genetics, breeding, variety study,
introduction, biotechnology,
physiology, biochemistry, immunity,
agrochemistry, nursery, storage
technologies, processing and
cultivation of fruit, berry and
ornamental plants.

LICENCE

Creative Commons «Attribution» 4.0
International (CC-BY 4.0 DEED)

INDEXING

Higher Attestation Commission of
Russia's Ministry of Education and
Science (VAK);
eLibrary (Russian Science Citation
Index);
Google Scholar;
CyberLeninka

EDITORIAL OFFICE ADDRESS

VNIISPK, Zhilina, Orel district, Orel
Region, Russia, 302530
email: journal@vniispk.ru
web: www.journal-vniispk.ru
tel.: 8(4862)45-00-71

**FREE OF CHARGE FOR ALL THE
AUTHORS****СОВРЕМЕННОЕ САДОВОДСТВО – CONTEMPORARY HORTICULTURE****2025, Issue 1**

On April 11, 2023, it was included in the list of peer-reviewed scientific publications in which the main
scientific results of dissertations for the scientific degree of Candidate of Sciences and for the scientific
degree of Doctor of Science in the following specialties should be published:

4.1.2 – Breeding, seed production and plant biotechnology (agricultural sciences)

4.1.4 – Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops (agricultural sciences)

CHIEF EDITOR

Sergey D. Knyazev, Dr. Agr. Sci., Prof., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

DEPUTY CHIEF EDITOR

Mikhail F. Tsoy, Cand. Agr. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

EDITORIAL BOARD

Aleksandr I. Sotnik, Dr. Agr. Sci., Nikita Botanical Gardens - National Scientific Center RAS

Andrey I. Kuzin, Dr. Agr. Sci., Assoc. Prof., I.V. Michurin Federal Scientific Center

Andrey V. Solonkin, Dr. Agr. Sci., Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and
Protective Afforestation of the RAS

Anna M. Galasheva, Cand. Agr. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Evgeny N. Sedov, Dr. Agr. Sci., Prof., RAS academician, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding
(VNIISPK)

Gennady E. Osipov, Dr. Agr. Sci., Prof., Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences

Gennady P. Atroshchenko, Dr. Agr. Sc., Assoc. Prof., Saint-Petersburg State Agrarian University

Guillaume Charrier, PhD, French National Research Institute for Agriculture, Food & Environment (INRAE)

Dmitry V. Potanin, Dr. Agr. Sci., V.I. Vernadsky Crimean Federal University

Ibrahim Kahramanoglu, PhD, Lecturer, European University of Lefke

Khikmatullo Nazirov, Dr. Agr. Sci., Prof., Institute of Horticulture of Academy of Agricultural Sciences of the
Republic of Tajikistan

Kubanychbek Turgunbaev, Dr. Agr. Sci., Prof. K.I. Skryabin Kyrgyz National Agrarian University

Lidia A. Gryuner, Cand. Agr. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Madina B. Khokonova, Dr. Agr. Sci., Assoc. Prof., Kabardino-Balkar State Agrarian University

Maksim A. Rachenko, Dr. Agr. Sci., Siberian Institute of Plants Physiologies and Biochemistry, Siberian
Branch of the RAS

Margarita A. Makarkina, Dr. Agr. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Marina Marinesku, Cand. Biol. Sci., Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection

Nina V. Myasishcheva, Dr. Agr. Sci., Rosbiotech

Nina G. Krasova, Dr. Agr. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Oksana Yu. Urbanovich, Dr. Biol. Sci., Assoc. Prof., Institute of Genetics and Cytology of NAS of Belarus

Oleg V. Kurashev, Cand. Agr. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Olga D. Golyaeva, Cand. Agr. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Olga V. Panfilova, Cand. Agr. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Olga Yu. Emelyanova, Cand. Biol. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Pavel S. Prudnikov, Cand. Biol. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Rimma G. Nozdracheva, Dr. Agr. Sci., Prof., Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter
the Great

Sergey A. Makarenko, Dr. Agr. Sci., Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the
RAS

Sergey N. Evdokimenko, Dr. Agr. Sci., Assoc. Prof., Federal Horticultural Research Center for Breeding,
Agrotechnology and Nursery

Sergey S. Chumakov, Dr. Agr. Sci., Assoc. Prof., Kuban State Agrarian University

Svetlana V. Levchenko, Dr. Agr. Sci., Senior Scientist, All-Russian National Research Institute of Viticulture
and Winemaking «Magarach»

Svetlana V. Rezvyakova, Dr. Agr. Sci., Assoc. Prof., Orel State Agrarian University

Taras G. Fomenko, Cand. Agr. Sci., North Caucasian Regional Research Institute of Horticulture and
Viticulture

Tatyana V. Yanchuk, Cand. Agr. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Tsiala V. Tutberidze, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Subtropical Scientific Centre of the RAS

Viktor G. Eremin, Dr. Agr. Sci., N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)

Vladimir N. Sorokopudov, Dr. Agr. Sci., All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic
Plants

Vyacheslav L. Zakharov, Dr. Agr. Sci., Assoc. Prof., Bunin Yelets State University

Yuriy V. Trunov, Dr. Agr. Sci., Prof., Michurinsk State Agrarian University

Zoya E. Ozherelieva, Cand. Agr. Sci., Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА

ГЕНЕТИКА, СЕЛЕКЦИЯ, СОРТОИЗУЧЕНИЕ

Артюхова Л.В., Ульяновская Е.В. Селекционная оценка гибридных форм ореха грецкого на урожайность по комплексу признаков	6-14
Барайщук Г.В., Соколова М.А., Бендова А.Ю., Дегтярев А.И. Сравнительная оценка плодов сибирского персика	15-24
Кроль Т.А., Балеев Д.Н., Осипов В.И. Изучение состава фенольных соединений листьев инвазивного вида <i>Reynoutria sachalinensis</i>	25-38
Юшков А.Н., Борзых Н.В. Оценка степени повреждения побегов краснолистных и зеленолистных сортов яблони морозом с использованием системы визуализации флуоресцентных изображений их срезов	39-47

CONTENTS

GENETICS, BREEDING, STUDY OF VARIETIES

Artyukhova L.V., Ulianovskaya E.V. Breeding assessment of walnut hybrid forms for yield by a set of characteristics	6-14
Barayschuk G.V., Sokolova M.A., Bendova A.Yu., Degtyarev A.I. 'Comparative evaluation of Siberian peach fruits	15-24
Krol T.A., Baleev D.N., Ossipov V.I. Study of the composition of phenolic compounds in the leaves of an invasive species <i>Reynoutria sachalinensis</i>	25-38
Yushkov A.N., Borzykh N.V. The assessment of the degree of frost damage in shoots of red-leafed and green-leafed apple cultivars using a fluorescence imaging system of their cross-sections	39-47

УДК 634. 511

Селекционная оценка гибридных форм ореха грецкого на урожайность по комплексу признаков

Л.В. Артюхова¹ , Е.В. Ульяновская¹

¹ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», 350901, ул. им. 40-летия Победы, 39, г. Краснодар, Россия, kubansad@kubannet.ru

Аннотация

Грецкий орех считается самым распространенным видом среди орехоплодных культур и обладает множеством полезных качеств, которые выделяют его среди других орехоплодных. Несмотря на успешные достижения в селекции грецкого ореха по ряду важных признаков, необходимо получение скороплодных, урожайных форм с латеральным (боковым) типом расположением плодов. Цель исследования – выделить урожайные и скороплодные формы грецкого ореха, характеризующиеся латеральным типом плодоношения. Изучение проводили в опытном хозяйстве ЗАО ОПХ «Центральное» ФГБНУ СКФНЦСВВ, расположенном в городе Краснодар, согласно общепринятым программам и методикам: «Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве», «Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур». Представлены данные многолетнего (2020...2024 гг.) изучения 12 гибридных форм ореха грецкого, полученных в СКФНЦСВВ, имеющих различное происхождение, по нескольким хозяйственным признакам: скороплодность, урожайность, тип плодоношения. Выделены урожайные, скороплодные формы: 17-3-48, 17-3-16, 17-3-22, 17-3-19, обладающие латеральным типом плодоношения. Сравнением средних значений урожайности множественным ранговым тестом выявлено, что урожайность гибридов ореха грецкого с латеральным типом плодоношения статистически достоверно выше в сравнении с другим типом плодоношения. Данное исследование подчеркивает важность селекционной работы по подбору скороплодных, урожайных селекционных форм с латеральным плодоношением, позволяющих наиболее эффективно использовать имеющиеся биологические ресурсы.

Ключевые слова: гибридные формы, селекция, орех грецкий, урожайность, скороплодность, латеральное плодоношение

Breeding assessment of walnut hybrid forms for yield by a set of characteristics

L.V. Artyukhova¹ , E.V. Ulianovskaya¹

¹North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, and Winemaking, 350901, 40-letiya Pobedy str., 39, Krasnodar, Russia, kubansad@kubannet.ru

Abstract

Walnuts are considered to be the most common species among nut crops and they have many beneficial qualities that distinguish them among other nut crops. Despite the successful achievements in the walnut breeding in a number of important traits, it is necessary to obtain precocious and productive forms with a lateral type of fruiting. The purpose of the study is to distinguish productive and early fruiting walnut forms that are characterized by the lateral type of fruiting. The study was conducted in the Krasnodar experimental farm of the closed joint stock company "Centralnoye" of the NCFSCHVW according to generally accepted programs and

methodology: “Modern methodological aspects of organizing the breeding process in horticulture and viticulture” and “Program and methodology of fruit, berry and nut variety study”. The results of a long-term (2020—2024) study of 12 hybrid NCFSCHVW walnuts of various origin are presented for several economic traits: early fruiting, productivity and type of fruiting. Productive and precocious hybrids 17-3-48, 17-3-16, 17-3-22 and 17-3-19 with a lateral type of fruiting have been selected. A comparison of the average yield values with a multiple rank test has revealed that the yield of walnut hybrids with a lateral type of fruiting is statistically reliably higher in comparison to a different type of fruiting. This study emphasizes the importance of breeding work on the selection of precocious and productive breeding forms with lateral fruiting, allowing the most effective use of existing biological resources.

Key words: hybrid forms, breeding, walnut, yield, early fruiting, lateral fruiting

Введение

Грецкий орех – наиболее распространенная орехоплодная культура с богатым спектром хозяйственных признаков и высокой пищевой ценностью, что значительно выделяет её среди прочих представителей семейства *Juglans regia* L. Орех грецкий занимает обширные площади по сравнению с другими представителями семейства благодаря своему широкому экологическому диапазону, ценности древесины и высокому содержанию питательных веществ в плодах (Биганова и др., 2015; Луговской и др., 2019; Заремук и др., 2020).

Несмотря на значительные достижения мировой селекции по улучшению качества плодов, по-прежнему актуальны задачи повышения адаптивности и стабильности плодоношения культуры, позволяющие гарантировать реализацию имеющегося потенциала продуктивности. Так, по мнению А.П. Луговского, С.Г. Бигановой, Ю.И. Сухоруких урожайность сортового сортимента грецкого ореха в южной зоне садоводства сильно колеблется из года в год (Биганова и др., 2015). Это объясняется не только экономическими факторами, но и значительными изъянами существующего сортимента, в том числе недостаточным количеством скороплодных сортов с латеральным плодоношением (Луговской и др., 2019; Cosmulescu et al., 2021; Janković et al., 2021).

Скороплодные формы грецкого ореха являются интересным объектом для селекционного изучения. Значительная работа была проведена учеными-селекционерами С.С. Калмыковым и В.С. Шевченко по отбору в Центральной Азии форм с латеральным плодоношением, способность которых к раннему плодоношению, начиная со второго – четвертого года жизни, а также наличие вторичного цветения и плодоношения открывают новые возможности для селекции и увеличения объемов качественного урожая (Мамаджанов, 2011). Эти сорта не только сокращают время до получения плодов, но и могут адаптироваться к различным климатическим условиям, что делает их особенно ценными в условиях климатических изменений (Fallah et al., 2022; Hakimi et al., 2024). Важным является акцент на улучшение качества плодов, получаемых при вторичном цветении, что позволяет им стать полноценным дополнением к основному урожаю, а не просто объектом для изучения аномалий в цветении (Calvo et al., 2022; Inobatov et al., 2023; Mir et al., 2023).

Принимая во внимание все описанные характеристики быстрорастущих сортов грецкого ореха с боковым плодоношением, следует признать, что эффективное включение этой особенности в селекционную работу не только расширяет генетический фонд, но и создает перспективные возможности для стабильного получения урожая. Таким образом, задача изучения гибридных форм, полученных от интродуцированных генотипов грецкого ореха, обладающих признаками латерального плодоношения и скороплодности, используя для выявления ценных для селекции и производства генотипов с высокой урожайностью.

Цель исследования – выделить урожайные и скороплодные формы грецкого ореха, характеризующиеся латеральным типом плодоношения.

Материалы и методика

В рамках исследования были изучены 12 гибридных форм ореха грецкого: 17-3-12, 17-3-13, 17-3-16, 17-3-19, 17-3-22 (Я-Б-84 св. оп. – сеянец сорта Бостандыкский); 17-3-48 (Дачный св. оп. – сеянец сорта Идеал); 17-3-40 (Я-Ю-50 св. оп. – сеянец сорта Юбилейный); 17-2-1, 17-2-17, 17-2-11 (из семьи Я-Р-22 – сеянец сорта Родина); 17-2-35, 17-2-26 (сеянец сорта Идеал св. оп. – отобран в садах Бостандыкского района). В качестве контроля – районированный сорт Родина. Гибридные формы были предварительно отобраны нами по максимальному проявлению или сочетанию нескольких хозяйственно ценных признаков (скороплодности, позднему сроку начала вегетации, устойчивости к абиотическим и биотическим стрессовым воздействиям окружающей среды, урожайности, латеральному плодоношению, крупноплодности и т.д.) среди 684 гибридных сеянцев, полученных ранее в СКФНЦСВВ под руководством Луговского А.П. группой селекционеров. Посадка 2014 года, схема посадки 5 × 4 м. Наблюдения проводили с 2020 по 2024 год. На экспериментальном участке, где проводили исследование гибридов грецкого ореха, преобладает выщелоченный чернозем, отличающийся сверхмощностью, низким содержанием гумуса и легкого глинистой структурой. Выщелоченные черноземы в целом характеризуются подходящими агрофизическими и агрохимическими параметрами, создающими благоприятные условия для активного роста и плодоношения грецкого ореха.

НИР проводили в центре коллективного пользования «Исследовательско-селекционная коллекция генетических ресурсов садовых культур» (ЦКП ИСК ГРСК, в опытном хозяйстве ЗАО ОПХ «Центральное» ФГБНУ СКФНЦСВВ, расположенном в городе Краснодар) согласно общепринятым программам и методикам: «Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве» (Луговской, Сухоруких, 2012); «Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» (Луговской и др., 1999).

Результаты и их обсуждение

Ключевым фактором, значительно влияющим на урожайность, является латеральный тип плодоношения (Pramanick et al., 2021). Это явление проявляется в том, что женские цветки формируются не только на верхушечных, а практически на всех пазушных почках зеленого побега. В результате орехи расположены вдоль всей длины ветви, где на конце латеральных побегов созревают плоды. Эти ветви могут плодоносить на протяжении нескольких сезонов. Деревья с латеральным плодоношением отличает очень короткий ювенильный период: всего через три – четыре года после высадки они демонстрируют высокий урожай. На сегодняшний день 80% сортов грецкого ореха, имеющих в развитых странах, проявляют латеральное плодоношение (Žalac et al., 2021; Manthos et al., 2023). Исследования в области латерального плодоношения представляют собой перспективное направление селекции (Wang et al., 2023).

Результаты многолетних исследований оценки скороплодности, типа плодоношения и урожайности 12 гибридов ореха грецкого позволили распределить их на группы по степени проявления хозяйственных признаков.

В ходе исследования выявлено, что средняя урожайность изученных гибридных форм грецкого ореха варьировала от 0,53 т/га (17-2-17) до 2,3 т/га (17-3-48). Все образцы были распределены нами в зависимости от уровня урожайности на высокоурожайные, среднеурожайные и низкоурожайные (рисунок 1).

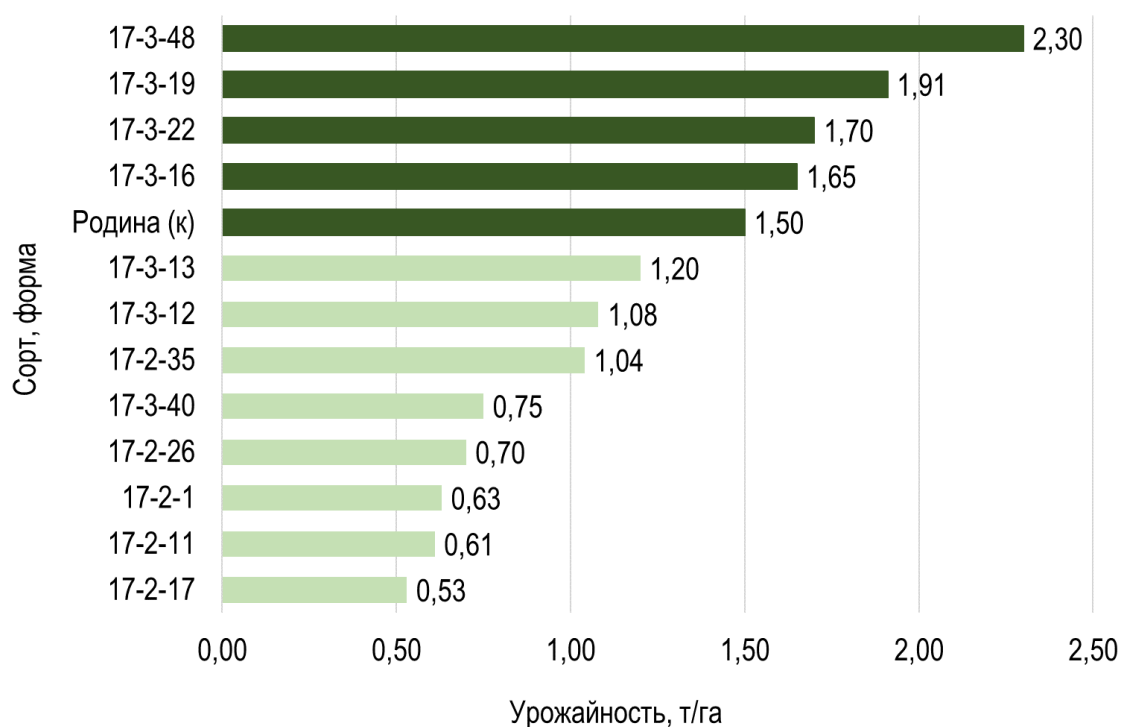


Рисунок 1 – Средняя урожайность гибридных форм ореха грецкого с 2020 по 2024 годы

К высокоурожайным генотипам, имеющим урожайность от 1,50 т/га (Родина) до 2,30 т/га (17-3-48), нами отнесены, наряду с контрольным образцом Родина, 17-3-16, 17-3-22, 17-3-19 и 17-3-48.

Во вторую группу, со средней урожайностью в пределах от 1,04 т/га до 1,20 т/га, вошли три образца: 17-2-35, 17-3-12 и 17-3-13. В группу с низкой урожайностью (от 0,53 т/га до 0,75 т/га) включены генотипы: 17-2-17, 17-2-11, 17-2-1, 17-2-26 и 17-3-40. По результатам 5-летних наблюдений было установлено, что урожайные среди изученных образцов гибриды составляют 39 %, среднеурожайные – 38 %, а низкоурожайные – 23 % (рисунок 2).

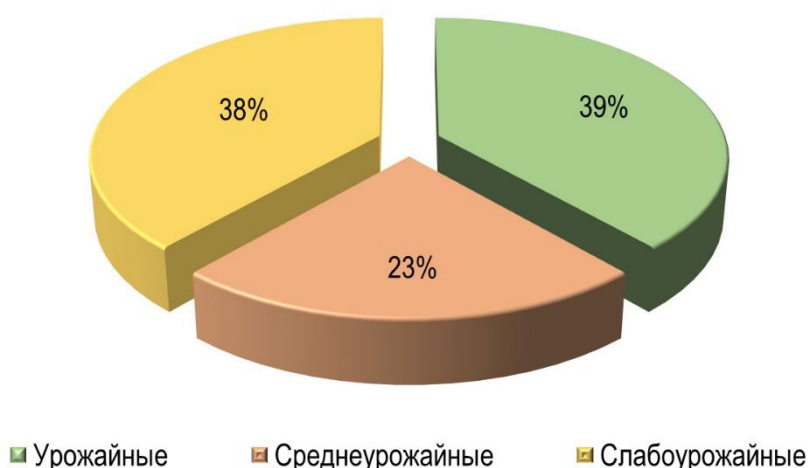


Рисунок 2 – Распределение изученных гибридов ореха грецкого на группы по признаку «урожайность», %

Год вступления в плодоношение у гибридов варьировал от 4 до 6 лет. Большая часть форм: 17-2-17, 17-2-26, 17-2-35, 17-3-16, 17-3-22, 17-3-19, 17-3-48 была отнесена в категорию

вступивших в плодоношение на четвертый год. Примечательно, что большинство выделенных нами скороплодных форм имеют в качестве материнской формы сорт Идеал или созданный на его основе сорт Дачный, а также материнскую форму Я-Б-84. В пятилетнем возрасте плодоношение отмечено у сеянцев: 17-2-1, 17-3-12, 17-3-13. На шестой год плодоношение было зафиксировано у образцов: 17-2-11, 17-3-40, включая контроль Родина (рисунок 3).

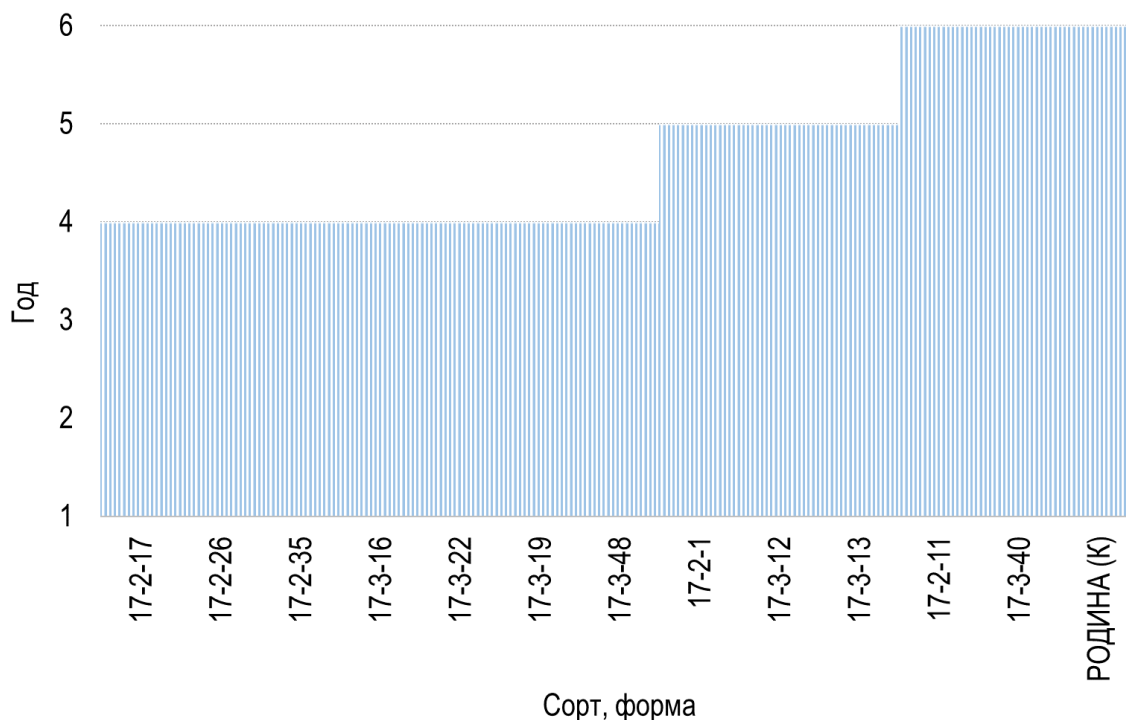


Рисунок 3 – Вступление в плодоношение у гибридных форм ореха грецкого, год

В ходе исследования выделены группы грецкого ореха по типу плодоношения: с верхушечно-боковым, верхушечно-приверхушечным и боковым (рисунок 4).

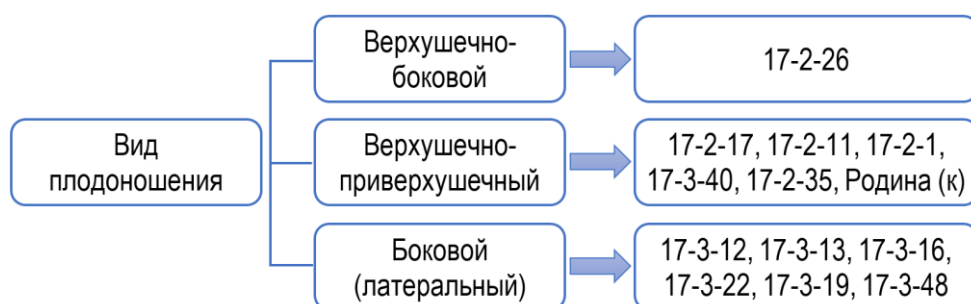


Рисунок 4 – Варианты формирования плодов у грецкого ореха (тип плодоношения)

Верхушечно-боковое плодоношение наблюдалось у формы 17-2-26. Верхушечно-приверхушечное плодоношение было выявлено у гибридов: 17-2-17, 17-2-11, 17-2-1, 17-3-40, 17-2-35 и у контрольного образца Родина. Большинство гибридов: 17-3-12, 17-3-13, 17-3-16, 17-3-22, 17-3-19, 17-3-48 имеют боковой или латеральный тип плодоношения. Все вышеперечисленные выделенные гибриды получены на основе формы Я-Б-84, созданной с

участием сорта Бостандыкский, за исключением гибрида 17-3-48, полученного на основе сорта Дачный.

Количественная оценка влияния фактора «год исследования» на урожайность форм ореха грецкого с помощью дисперсионного анализа позволила установить, что условия года статистически достоверно влияют на урожайность и вносят 42,9 % в общую изменчивость этого признака. В то же время оценка влияния фактора «тип плодоношения» на урожайность гибридных форм выявила значительно меньший, практически в 2 раза, вклад в общую изменчивость признака «урожайность», составляющий 23,5 %. Сравнение средних значений урожайности множественным ранговым тестом выявило, что урожайность форм ореха грецкого с латеральным типом плодоношения статистически достоверно выше, чем у форм, обладающих другим типом плодоношения.

Заключение

Исследование показало, что гибридные формы грецкого ореха обладают разной степенью скороплодности, урожайности и типом плодоношения. Формы с высокой урожайностью, такие как: 17-3-16, 17-3-22, 17-3-19, 17-3-48, обладают также набором положительных селекционно значимых признаков, среди которых стоит отметить скороплодность – вступление в плодоношение уже с четвертого года жизни и латеральным типом плодоношения. Данные гибридные формы представляют большой интерес для селекции и производства.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0498-2022-0001 ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Funding

The research was part of State Assignment No 0498-2022-0001 FSBSI NCF SCHVW.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of the interests: the authors declare that there is no conflict of interest.

Литература

1. Биганова С.Г., Сухоруких Ю.И., Луговской А.П. Современные тенденции селекции ореха грецкого в России // Современные проблемы науки и образования. 2015. 2-1. 531-531. <https://elibrary.ru/uhxemx>
2. Заремук Р.Ш., Артюхова Л.В., Балапанов И.М. Селекционная оценка гибридных форм ореха грецкого // Плодоводство и виноградарство юга России. 2020. 66. 28-38. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-6-66-28-38>
3. Луговской А.П., Артюхова Л.В., Балапанов И.М. Оценка индекса урожайности перспективных селекционных форм ореха грецкого с выраженным латеральным плодоношением в условиях Северного Кавказа // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2019. 6, 1. 67-69. <https://elibrary.ru/nulprq>
4. Луговской А.П., Балапанов И.М., Артюхова Л.В. Латеральное плодоношение в селекции ореха грецкого // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2019. 23. 77-79. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2019-23-77-79>

5. Мамаджанов Д.К. О скороплодных формах ореха грецкого // Вестник Кыргызского национального аграрного университета. 2011. 2. 9-13. <http://centralasia.biodiversityinternational.org/fileadmin/templates/centralasia.net/upload/Resources/CW/2174-0006.pdf#page=14>
6. Луговской А.П., Махно В.Г., Денисов В.П. Орехоплодные культуры // Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 493-534. <https://elibrary.ru/yhaqjd>
7. Луговской А.П., Сухоруких Ю.И. Орех грецкий // Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве: монография. Краснодар: СКЗНИИСИВ, 2012. 378-398. <https://elibrary.ru/pychdd>
8. Calvo F.E., Trentacoste E.R., Silvente S.T. Vegetative growth, yield, and crop water productivity response to different irrigation regimes in high density walnut orchards (*Juglans regia* L.) in a semi-arid environment in Argentina // Agricultural Water Management. 2022. 274. 107969. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107969>
9. Cosmulescu S., Ionescu M. Phenological and pomological properties of promising walnut (*Juglans regia* L.) genotype with cluster fruiting from selected native population in Oltenia, Romania // Genetic Resources and Crop Evolution. 2021. 68. 6. 2289-2297. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01209-1>
10. Fallah M., Vahdati K., Hasani D., Rasouli M., Sarikhani S. Breeding of Persian walnut: Aiming to introduce late-leaving and early-harvesting varieties by targeted hybridization // Scientia Horticulturae. 2022. 295. 110885. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110885>
11. Hakimi Y., Taheri Z., Rahmani A. Morphological, pomological, and biochemical evaluation of several superior walnut (*Juglans regia* L.) genotypes // Genetic Resources and Crop Evolution. 2024. 71. 3361-3381. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01836-w>
12. Inobatov A., Ziyadullaev I. Improving the methodology for predicting the yield of walnuts in farms based on econometric models // E3S Web of Conferences. 2023. 376. 02001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337602001>
13. Janković S., Stanković J., Janković D., Milatović D. Morphology and morphogenesis of female reproductive organs in some walnut (*Juglans regia* L.) genotypes // Scientia Horticulturae. 2021. 289. 110471. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110471>
14. Kumar P., Sharma S., Sharma S., Verma P., Irfan M. Hormonal, biochemical, and genetic regulations of walnut fruit development and ripening: an integrated perspective // Acta Physiologiae Plantarum. 2024. 46. 100. <https://doi.org/10.1007/s11738-024-03730-z>
15. Manthos I., Rouskas D., Sotiropoulos T., Botu M. Description of two promising walnut (*Juglans regia* L.) selections with lateral bud fruitfulness and large nuts // Horticulturae. 2023. 9. 7. 820. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070820>
16. Mir M.M., Parveze M.U., Iqbal U., Rehman M.U., Kumar A., Simnani S.A., Bhat M.A. Development and Selection of Rootstocks // Temperate Nuts. Singapore: Springer. 2023. 45-78. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9497-5_3
17. Pramanick K.K., Shukla A.K., Watpade S., Patial M., Kumar J. Selection of walnut (*Juglans regia* L.) for lateral bearing and cluster bearing habit // International Journal of Tropical Agriculture. 2021. 39, 4. 387-391. https://serialsjournals.com/abstract/81986_30_kk_pramanik.pdf
18. Wang Y.T., Bailey B.N., Fu K., Shackel K. Topological and spatial analysis of within-tree fruiting characteristics for walnut trees // Scientia Horticulturae. 2023. 318. 112127. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112127>
19. Žalac H., Burgess P., Graves A., Giannitsopoulos M., Paponja I., Popović B., Ivezić, V. Modelling the yield and profitability of intercropped walnut systems in Croatia // Agroforestry systems. 2021. 97. 297-290. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00611-z>

References

1. Biganova, S.G., Sukhoruki, Yu.I., & Lugovskaya, A.P. (2015). Modern selection trends of walnut in Russia. *Modern problems of science and education*, 2-1, 531-531. <https://elibrary.ru/uhxemx>. (In Russian, English abstract).
2. Zaremuks, R.Sh., Artyukhova, L.V., & Balapanov, I.M. (2020). Selective evaluation of hybrid forms of Persian walnut. *Fruit Growing and Viticulture in the South of Russia*, 66(6), 28-38. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-6-66-28-38>. (In Russian, English abstract).
3. Lugovskoy, A.P., Artyukhova, L.V., & Balapanov, I.M. (2019). Yield estimation of promising lateral fruiting walnut genotypes from the North Caucasus. *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*, 6(1), 67-69. <https://elibrary.ru/nulprq>. (In Russian, English abstract).
4. Lugovskoy, A.P., Balapanov, I.M., & Artyukhova, L.V. (2019). Lateral fruiting in the Persian walnut breeding. *Scientific Works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking*, 23, 77-79. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2019-23-77-79>. (In Russian, English abstract).
5. Mamadzhaynov, D.K. (2011). About the urgent forms of walnuts of walnut. *Vestnik of the Kyrgyz National Agrarian University*, 2, 9-13. <http://centralasia.biodiversityinternational.org/fileadmin/templates/centralasia.net/upload/Resources/CW/2174-0006.pdf#page=14> (In Russian, English abstract).
6. Lugovskoy, A.P., Makhno, V.G., & Denisov, V.P. (1999). Nut crops. In E.N. Sedov, T.P. Ogoltsova (Eds.), *Program and Methods of Variety Investigation of Fruit, Berry and Nut Crops* (pp. 493-534). VNIISP. <https://elibrary.ru/yhaqjd>. (In Russian).
7. Lugovskoy, A.P., & Sukhorukikh, Yu.I. (2012). Persian walnut. In *Modern Methodological Aspects of the Organization of the Breeding Process in Horticulture and Viticulture*. (pp. 378-398). <https://elibrary.ru/psychdd>. (In Russian).
8. Calvo, F.E., Trentacoste, E.R., & Silvente, S.T. (2022). Vegetative growth, yield, and crop water productivity response to different irrigation regimes in high density walnut orchards (*Juglans regia* L.) in a semi-arid environment in Argentina. *Agricultural Water Management*, 274, 107969. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107969>
9. Cosmulescu, S., & Ionescu, M. (2021). Phenological and pomological properties of promising walnut (*Juglans regia* L.) genotype with cluster fruiting from selected native population in Oltenia, Romania. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(6), 2289-2297. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01209-1>
10. Fallah, M., Vahdati, K., Hasani, D., Rasouli, M., & Sarikhani, S. (2022). Breeding of Persian walnut: Aiming to introduce late-leaving and early-harvesting varieties by targeted hybridization. *Scientia Horticulturae*, 295, 110885. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110885>
11. Hakimi, Y., Taheri, Z., & Rahmani, A. (2024). Morphological, pomological, and biochemical evaluation of several superior walnut (*Juglans regia* L.) genotypes. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71, 3361-3381. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01836-w>
12. Inobatov, A., & Ziyadullaev, I. (2023). Improving the methodology for predicting the yield of walnuts in farms based on econometric models. *E3S Web of Conferences*, 376, 02001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337602001>
13. Janković, S., Stanković, J., Janković, D., & Milatović, D. (2021). Morphology and morphogenesis of female reproductive organs in some walnut (*Juglans regia* L.) genotypes. *Scientia Horticulturae*, 289, 110471. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110471>
14. Kumar, P., Sharma, S., Sharma, S., Verma, P., & Irfan, M. (2024). Hormonal, biochemical, and genetic regulations of walnut fruit development and ripening: an integrated perspective. *Acta Physiologiae Plantarum*, 46, 100. <https://doi.org/10.1007/s11738-024-03730-z>

15. Manthos, I., Rouskas, D., Sotiropoulos, T., & Botu, M. (2023). Description of two promising walnut (*Juglans regia* L.) selections with lateral bud fruitfulness and large nuts. *Horticulturae*, 9(7), 820. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070820>
16. Mir, M.M., Parveze, M.U., Iqbal, U., Rehman, M.U., Kumar, A., Simnani, S.A., & Bhat, M.A. (2023). Development and Selection of Rootstocks. In *Temperate Nuts* (pp. 45-78). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9497-5_3
17. Pramanick, K. K., Shukla, A. K., Watpade, S., Patial, M., & Kumar, J. (2021). Selection of walnut (*Juglans regia* L.) for lateral bearing and cluster bearing habit. *International Journal of Tropical Agriculture*, 39(4), 387-391. https://serialsjournals.com/abstract/81986_30_kk_pramanik.pdf
18. Wang, Y.T., Bailey, B.N., Fu, K., & Shackel, K. (2023). Topological and spatial analysis of within-tree fruiting characteristics for walnut trees. *Scientia Horticulturae*, 318, 112127. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112127>
19. Žalac, H., Burgess, P., Graves, A., Giannitsopoulos, M., Paponja, I., Popović, B., & Ivezić, V. (2021). Modelling the yield and profitability of intercropped walnut systems in Croatia. *Agroforestry Systems*, 97, 297-290. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00611-z>

Авторы:

Лариса Викторовна Артюхова, младший научный сотрудник, лаборатории сортоизучения и селекции садовых культур, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Larisa.Artyuhova@yandex.ru
SPIN: 7124-9854
ORCID: 0009-0008-5392-4377

Елена Владимировна Ульяновская, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией сортоизучения и селекции садовых культур, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», ulyanovskaya_e@mail.ru
SPIN: 5577-5173
ORCID: 0000-0003-3987-7363

Authors details:

Larisa Viktorovna Artyukhova, junior researcher, laboratories varietalization and selection of garden crops, FSBNU "North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking", Larisa.Artyuhova@yandex.ru
SPIN: 7124-9854
ORCID: 0009-0008-5392-4377

Elena Vladimirovna Ulyanovskaya, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Varietalization and Selection of Garden Cultures, FGBNU " North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking ", ulyanovskaya_e@mail.ru
SPIN: 5577-5173
ORCID: 0000-0003-3987-7363

Отказ от ответственности: заявления, мнения и данные, содержащиеся в публикации, принадлежат исключительно авторам и соавторам. ФГБНУ ВНИИСПК и редакция журнала снимают с себя ответственность за любой ущерб людям и/или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.

УДК 634.25

Сравнительная оценка плодов сибирского персика

Г.В. Барайщук¹ , М.А. Соколова¹, А.Ю. Бендова¹, А.И. Дегтярев¹

¹ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 644008, г. Омск, ул. Институтская площадь, 1, Россия, adm@omgau.org

Аннотация

В условиях импортозамещения актуален вопрос обеспечения Сибири отечественной плодово-ягодной продукцией. Плодовая продукция, выращенная на юге Российской Федерации, не всегда может быть доставлена в отдаленные районы страны с полным сохранением её товарных качеств. В этих условиях изучение местных и стародавних сортов имеет значительный интерес. Рассматривается возможность культивирования местной формы персика Бубновский, который выращивается в любительских садах Омского Прииртышья уже более пятидесяти лет. Плоды этого сорта обладают высокими вкусовыми качествами. По содержанию растворимых сухих веществ в его плодах он схож с сортом американской селекции Collins и сортом отечественной селекции Память Симиренко. По размерам плодов сорт Бубновский также приближается к этим сортам, а также сорту Красный Пижон московской селекции. Изучение проводилось впервые. Научных работ по культивированию плодовой культуры персик в Омской области не обнаружено, поэтому использовался сравнительный анализ с южными сортами и формами московской селекции. Возможности выращивания местной формы персика Бубновский изучаются с 2020 года и только в 2024 году было зарегистрировано массовое проявление монилиоиза. Как следствие болезни – снижение урожая на 60%. В условиях Западной Сибири урожай созревает с начала августа по первую декаду сентября. Свежие плоды доступны для питания в течение трех-четырёх недель. Полученные результаты определяют перспективу разработки технологии размножения сибирского сорта для обеспечения возможности получения свежих фруктов в условиях Западной Сибири.

Ключевые слова: персик, сухие вещества, размеры плодов, вес плодов, Западная Сибирь

Comparative evaluation of Siberian peach fruits

G.V. Barayschuk¹ , M.A. Sokolova¹, A.Yu. Bendova¹, A.I. Degtyarev¹

¹Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 644008, Omsk, Institutskaia Square st., 1, Russia, adm@omgau.org

Abstract

In the context of import substitution, the issue of providing Siberia with domestic fruit and berry products is relevant. Fruit products grown in the south of the Russian Federation cannot always be delivered to remote areas of the country with full preservation of their commercial qualities. Under these conditions, the study of local and old varieties is of considerable interest. The possibility of cultivating a local form of peach 'Bubnovsky', which has been grown in amateur gardens in the Omsk Irtysh region for over fifty years, is being considered. The fruits of this variety have high taste qualities. In terms of the content of soluble solids in its fruits, it is similar to 'Collins' of American breeding and 'Pamyat Simirenko' of domestic breeding. In terms of fruit size, 'Bubnovsky' is also similar to these varieties, as well as to 'Krasniy Pizhon' of Moscow breeding. The study was conducted for the first time. No scientific works on the peach cultivation in the Omsk region were found, therefore a comparative analysis with southern varieties and forms of Moscow breeding was

used. The possibility of 'Bubnovsky' cultivation has been studied since 2020. Only in 2024, a mass outbreak of moniliosis was recorded. As a result of the disease, the yield decreased by 60%. In Western Siberia, the harvest ripens from early August to the first ten days of September. Fresh fruits are available for eating for three to four weeks. The results show the prospects for developing a technology for propagating the Siberian peach variety to ensure the possibility of obtaining fresh fruits in the conditions of Western Siberia.

Key words: peach, dry matter, fruit size, fruit weight, Western Siberia

Введение

В настоящее время в условиях импортозамещения продукции остро стоит вопрос продовольственного обеспечения России отечественной продукцией. Это является ключевой задачей для укрепления не только экономической, но и национальной безопасности страны. Весьма актуален переход на собственные ресурсы и развитие внутреннего агропромышленного комплекса. Плодовая продукция, выращенная на юге Российской Федерации, не может быть одномоментно доставлена в отдаленные районы страны. Этому сопутствует вопрос и сохранности её товарных качеств. Поэтому проблема расширения ассортимента плодово-ягодных культур Сибири остается актуальной. Поскольку лучшим источником генофонда для пополнения плодовых растений являются местные и стародавние сорта, то использование местных форм в качестве источника генетического материала имеет неоспоримые преимущества. Рассматривается возможность культивации местной формы персика, в народе называемой персик Бубновский, который садоводы-любители выращивают в любительских садах Омского Прииртышья уже 50 лет (Бендова и др., 2024а).

В систематическом отношении плодовая культура персик это *Prunus persica* (L.) Batsch или *Persica vulgaris* Mill., *Rosaceae* (Куклина и др., 2024). Персик издавна известен в Китае, позже появился в культуре в Иране, Средней Азии и Закавказье. В настоящее время лидерами производства плодов персика являются страны США, Китай, Италия, Греция, Россия (Смыков и др., 2017). Проникновение персиков в Европу символизировало позитивное значение культурных и торговых обменов, одновременно являясь катализатором дальнейшего распространения плодовой культуры (<https://7flamme.com...-of>). Вскоре после появления в Испании персики начали покорять сердца людей во Франции и Англии, где они стали важным элементом обеденных столов аристократии. Французские короли, известные своим изысканным вкусом, очень ценили персики за их сочность и сладость. Вскоре фрукт снискал популярность и среди местных садоводов, стремившихся адаптировать его к условиям французского климата (<https://old.bigenc.ru...73>).

В России благоприятные почвенно-климатические условия для этой теплолюбивой культуры сосредоточены в южных регионах, точнее в Северо-Кавказском. Наиболее благоприятными районами для выращивания персика в этом регионе являются: Краснодарский край, Адыгея, Ставропольский край, Карачаево-Черкесская Республика, Дагестан, Северная Осетия, Кабардино-Балкарская Республика. Также персик популярен и у садоводов-любителей во всех областях Российской Федерации (Куклина и др., 2024). Однако культивированию деревьев персика мешают морозы, что делает их выращивание в открытом грунте практически невозможным. Поэтому в суровых условиях климата персик выращивают в защищённом грунте в крупных теплицах или оранжереях, которые обогреваются в зимние месяцы. Использование кадочной культуры позволяет переносить растения в более благоприятные условия в период холодов, сохраняя тем самым их жизнеспособность и плодоношение. С другой стороны, выращивание персика в открытом грунте в стланцевой форме требует постоянного ухода и формирования: ветви деревьев

регулярно укладывают и укрывают на зиму, чтобы защитить их от воздействия низких температур (Ефремова, Рябушкин, 2020). Этот метод, несмотря на трудоемкость, позволяет садоводам-энтузиастам добиваться результатов даже в регионах с суровым климатом.

Интродукция *Persica vulgaris* (Mill.) в регионах с суровыми климатическими условиями стала значительным прорывом в агробиологии и садоводстве. Исследование, начатое Л.А. Крамаренко, показало высокую жизнеспособность и приспособляемость данной культуры. Благодаря тщательному отбору и адаптации к низким температурам, была выведена новая генерация *Persica vulgaris*, способная не только выживать, но и зацветать в условиях, которые ранее считались неподходящими для этой культуры (Крамаренко, 2018).

Сорта Пижон и Вратарь, включенные в Государственный реестр селекционных достижений в 2022 г. (<https://gossortrf.ru...Y>), стали эталоном высокого качества и урожайности для Европейской части России. Эти сорта не только выдержали экстремальные морозы, но и продемонстрировали отличные вкусовые качества и обильные урожаи, что является результатом многолетней работы специалистов из Государственного ботанического сада РАН (Куклина и др., 2024).

Для характеристики плодов персика используют их биохимический состав, период формирования урожая, размеры и масса плодов. Одним из значимых показателей, характеризующих качество плодов персика, является уровень содержания сухого вещества. Сухие вещества в плодах – все вещества, которые имеются в плоде кроме воды. Содержание сухих веществ подразделяют на две группы:

1. Нерастворимые сухие вещества, такие как целлюлоза и гемицеллюлоза, служат структурной основой, создающей прочность клеточных стенок. Они ответственны за устойчивость плодов к механическим повреждениям. Протопектин в сочетании с другими нерастворимыми соединениями влияет на процесс созревания, переходя в растворимые формы и изменяя текстуру. Содержание нерастворимых сухих веществ в плодах может быть 2...5%.

2. Растворимые сухие вещества оказывают влияние на органолептические качества. Углеводы, такие как сахара, придают сладость и усиливают вкус, в то время как кислоты, находящиеся в клеточном соке, обеспечивают свежесть и способствуют сохранности плодов. Фенольные соединения и дубильные вещества добавляют нотки горечи и терпкости. Минеральные соли и витамины, будучи растворимыми компонентами, не только обогащают плоды питательными веществами, но и влияют на биохимические процессы, происходящие в плодах при их хранении и созревании. Ферменты, присутствующие в плодах, активно участвуют в преобразовании соединений, регулируют метаболические пути и способствуют изменению вкусовых характеристик. Количество растворимых сухих веществ в плодах колеблется от 5 до 18% (Бурова, 2014).

Материалы и методы

Цель исследования – оценка плодов Омского сорта персика по сравнению с южными сортами и зимостойкими сортами *Persica vulgaris* (Mill.) московской селекции.

Наблюдения ведутся с 2020 года за двумя плодоносящими деревьями 10-летнего возраста. Каждый год замеряются размеры плодов, определяется их вес и урожайность дерева в соответствии с «Программой и методикой сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур (Джигадло и др., 1999).

Содержание сухих веществ может составлять 10...20%. Этот показатель оказывает значительное влияние на вкусовые качества плодов, их текстуру, а также на условия и длительность хранения. Сухие вещества включают в себя сахараиды, органические кислоты, пектиновые вещества, витамины и минералы, каждый из которых играет свою уникальную

роль. Уровень содержания растворимого сухого вещества в плодах местной сибирской формы персика Бубновский определялся по методике ГОСТ 28562-90 «Продукты переработки плодов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ» с помощью рефрактометра RM 50 производства международной компании Mettler Toledo. Измерения проводились в трехкратной повторности. Каждая повторность формировалась из 20 плодов персика формы Бубновский.

Результаты и их обсуждение

Содержание сухого вещества в плодах персика может варьировать в зависимости от сорта и региона выращивания. Проведен сравнительный анализ уровня содержания растворимого сухого вещества Омской формы персика Бубновский с южными сортами и гибридами, персиками московской селекции (таблица 1). Так, в районе города Сочи плоды персика содержат от 10,44 до 16,73% сухих веществ (Смагин, Абилюфазова, 2017; Абилюфазова, 2018). В Краснодарском крае Северо-Кавказского федерального округа от 8,7 до 13,2% (Дрофичева, 2020). Плоды сортов и гибридов крымской селекции содержат от 11,6 до 17,7% сухих веществ (Смыков и др., 2013). В Московском регионе уровень содержания сухого вещества находится в пределах 10,7...14,9% (Куклина и др., 2024). В Омском сорте Бубновский содержание сухих веществ $8,7 \pm 0,79\%$. Сибирские плоды имели pH $3,65 \pm 0,03$. Кислотность на титраторе (лимонная кислота) была $0,652 \pm 0,05$. Сходную кислотность также имел сорт Память Симиренко и гибридные Ялтинские формы.

Таблица 1 – Содержание сухого вещества в плодах персика из разных регионов культивирования

Сорт	Регион культивирования	Сухое вещество, %	Кислотность (лимонная кислота), %
Ранняя заря	Сочи	11,8...14,0	0,97
Лариса	Сочи	14,83...16,73	0,98
Осенний румянец	Сочи	11,48...15,04	0,99
Антон Чехов	Сочи	10,44...14,62	0,95
Золотой юбилей	Краснодарский край	11,2	0,87
Collins (Коллинз)	Краснодарский край	8,7	1,24
Память Симиренко	Краснодарский край	8,8	0,69
Лайка	Краснодарский край	11,3	1,18
Red Heaven (Ред хавен)	Краснодарский край	12,1	0,80
Память Мотовилова	Краснодарский край	13,2	0,76
Пушистый ранний	Ялта	13,0	0,4
Валиант × Фаворита Мореттини 80-438	Ялта	12,4	0,7
Мирянин × Невеста 83-912	Ялта	14,2	0,7
Red Heaven × Кудесник 84-497	Ялта	13,3	0,5
Ветеран × Кардинал 81-1008	Ялта	17,7	0,5
№ 241	Ялта	11,6	0,4
Вратарь	Москва	13,5	средняя
Толстяк	Москва	14,9	наименьшая
Перервинский	Москва	11,9	–
Красный Пижон	Москва	12,8	1,5
Розовый	Москва	10,7	–
Бубновский	Омск	8,7	0,65

Приведенные данные свидетельствуют о высоком качестве плодов южной селекции, хотя сорт Бубновский имеет схожее содержание сухих веществ с выращиваемыми сортами в Северо-Кавказском регионе американской селекции Collins и отечественной селекции Память Симиренко (таблица 1).

Плоды сорта Бубновский характеризуются яркой окраской и хорошими вкусовыми качествами (Бендова и др., 2024б; Лукьянченко и др., 2022). Цвет плодов насыщенно-желтый с румяной щекой на солнечной стороне (рисунок 1).



Рисунок 1 – Омский сорт персика Бубновский

В зависимости от погодных условий сроки наступления фенофаз варьируют (таблица 2) (Бендова и др., 2024в).

Таблица 2 – Фенологические наблюдения персика обыкновенного в условиях южной лесостепи Западной Сибири, 2022...2024 гг.

Основные фенодаты	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Начало сокодвижения	7 апреля	9 апреля	15 апреля
Набухание почек	9 апреля	21 апреля	23 апреля
Распускание листовых почек	11 мая	1 мая	11 мая
Распускание цветковых почек	8...16 мая	7...24 мая	8...18 мая
Развертывание листьев	17 мая	25 мая	21 мая
Налив плодов	с 21 июня	с 3 июля	с 10 июня
Созревание плодов	5 августа – 10 сентября	10 августа – 3 сентября	18 августа – 15 сентября
Начало листопада	10 октября	5 октября	8 октября
Окончание листопада	25 октября	13 октября	23 октября

Так начало созревания плодов из-за дождливого лета в 2024 сдвинулось с 5 августа на 18 августа. Обильные осадки, выпавшие в 2024 году, превысили норму в два раза и способствовали развитию монилиоза на персике, что снизило урожай на 60%. Значительная часть урожая уже на дереве имела признаки плодовой гнили и мумифицированных плодов (рисунок 2). Преодолеть развития заболевания не представлялось возможным, так как такое обилие дождей для южной лесостепи Западной Сибири — аномальное явление. Применять фунгициды в процессе плодообразования нецелесообразно. Рекомендуемые фунгициды Свитч, ВДГ и Хорус, ВДГ имеют периоды ожидания от 14 до 28 дней.

Для снижения запаса инфекционного начала проводили профилактические мероприятия: собирали и удаляли поврежденные плоды, осенью обработали ветви и стволы деревьев 3% бордоской жидкостью.

Южные сорта персика плодоносят с середины июня по сентябрь, что дает возможность населению Черноморского побережья и его посетителям потреблять свежие плоды на протяжении трех с половиной месяцев (Абильфазова, 2024). Сорт Бубновский дает урожай плодов в течение трех-четырех недель.



Рисунок 2 – Поражение монилиозом: здоровые, больные и мумифицированные плоды

По морфологическим параметрам южные сорта превосходят омский сорт Бубновский (таблица 3). Однако, размеры его плодов приближаются к сорту Красный Пижон московской селекции, сорту американской селекции Collins, а также сорту отечественной селекции Память Симиренко, произрастающих в Краснодарском крае Северо-Кавказского региона. Для сорта Бубновский характерно значительное варьирование в размерах плодов (рисунок 3).

Таблица 3 – Морфологическая характеристика плодов персика обыкновенного

Сорт	Размер плода, мм		Средняя масса плода, г
	Длина	Диаметр	
Бубновский (Омск)	50...70	38...55	38...90
Вратарь (Москва)	54...62	47...68	100...180
Красный Пижон (Москва)	39...43	45...51	80...100
Толстяк (Москва)	79...90	75...80	200...320
Ранняя Заря (Сочи)	-	-	130
Лариса (Сочи)	-	-	140...160
Антон Чехов (Сочи)	-	-	100...160
Collins, Память Симиренко (Краснодарский край)	-	-	80...130

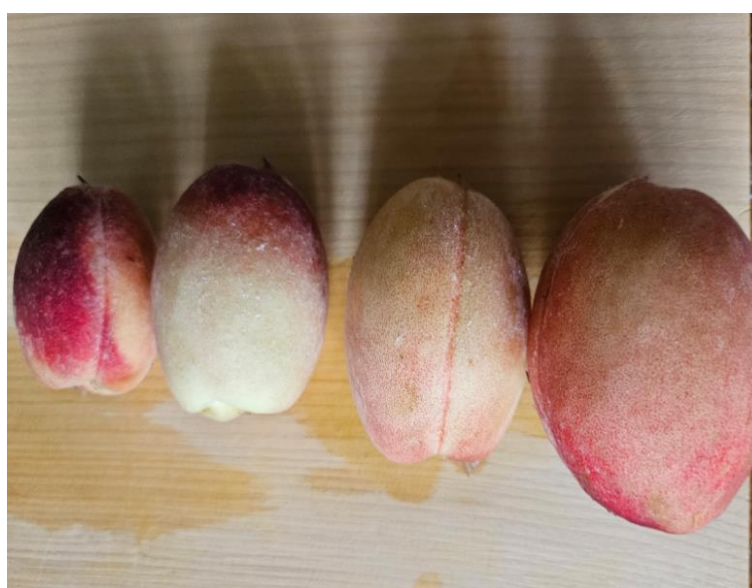


Рисунок 3 – Варьирование размеров плодов персика Бубновский

Заключение

Настоящим констатируем, что в Западной Сибири успешно выращивается сибирский сорт Бубновский. Вкусовые качества его плодов сходны с сортами, выращиваемыми на Северном Кавказе сортом американской селекции Collins и сортом отечественной селекции Память Симиренко, в частности, по уровню содержания сухих веществ. По размерам плодов сорт Бубновский также приближается к этим сортам и сорту Красный Пижон московской селекции. Данные факты определяют перспективу в направлении разработки технологии его размножения для обеспечения возможности получения свежих фруктов на месте произрастания.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Абиляфазова Ю.С. Биохимическая характеристика некоторых сортов персика и нектарина, произрастающих в условиях Сочи // Новые технологии. 2024. 20, 3. 94-102. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2024-20-3-94-102>
2. Абиляфазова Ю.С. Оценка качества плодов разных сортов персика в условиях Сочи // Субтропическое и декоративное садоводство. 2018. 67. 137-141. <https://www.elibrary.ru/yswzgp>
3. Бендова А.Ю., Барайщук Г.В., Дегтярев А.И. Размножение персика в условиях южной лесостепной зоны Омской области // Вестник ОмГАУ, 2024а. 1. 16-25. <https://www.elibrary.ru/tenpba>
4. Бендова А.Ю., Барайщук Г.В., Дегтярёв А.И. Происхождение сибирской формы персика «Бубновский» // Сибирское садоводство: современное состояние и перспективы развития: материалы конференции. Омск: ОмГАУ, 2024б. 7-10. <https://www.elibrary.ru/uqlqvww>
5. Бендова А.Ю., Барайщук Г.В., Дегтярев А.И. Изучение продуктивности персика обыкновенного в условиях южной лесостепи Омской области // Селекция и сортоизучение плодовых и ягодных культур: сборник научных трудов – Кинель: ИБЦ Самарский ГАУ, 2024в. – С. 11-17. <https://www.elibrary.ru/qmrpzsk>
6. Бурова Т.Е. Основы технологии пищевых продуктов. Лабораторный практикум / Под ред. А.Л. Ишевского. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 53.
7. Дрофичева Н.В. Особенности химического состава и технологические свойства плодов косточковых культур Краснодарского края // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2020. 29. 33-39. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2020-29-33-39>
8. Ефремова Н.А., Рябушкин Ю.Б. К вопросу о культуре персика и абрикоса в Нижнем Поволжье // Аграрный вестник Юго-Востока. 2020. 2. 10-13. <https://www.elibrary.ru/qboobs>
9. Крамаренко Л.А. Опыт интродукции *Persica vulgaris* L. в Московском регионе // Бюллетень Главного ботанического сада. 2018. 204, 1. 27-32. <https://www.elibrary.ru/fktxta>
10. Куклина А.Г., Цыбулько Н.С., Мясникова С.Б. Биохимический состав плодов персика *Prunus persica* (Rosaceae) московской селекции // Вестник КрасГАУ. 2024. 9. 11-18. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-9-11-18>
11. Лукьянченко А.Ю., Дегтярев А.И., Барайщук Г.В. Продуктивность персика обыкновенного в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Инновационные решения и тренды развития технологий продуктов здорового питания: материалы конференции. Омск: ОмГАУ, 2022. 73-76. <https://www.elibrary.ru/kgjjmb>

12. Джигадло Е.Н., Колесникова А.Ф., Еремин Г.В., Морозова Т.В., Дебискаева С.Ю., Каньшина М.В., Медведева Н.И., Симагин В.С. Косточковые культуры // Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 300-351. <https://www.elibrary.ru/yhaqhp>
13. Смагин Н.Е., Абиляфазова Ю.С. Лучшие по продуктивности и устойчивые к болезням сорта персика для влажных субтропиков г. Сочи // Новые технологии. 2017. 3. 117-125. <https://www.elibrary.ru/zsjfcf>
14. Смыков А.В., Рихтер А.А.; Федорова О.С., Шишова Т.В. Химический состав плодов гибридных форм персика // Бюллетень государственного Никитского ботанического сада. 2013. 108. 32-39. <https://www.elibrary.ru/udjsbn>
15. Смыков А.В., Иващенко Ю.А., Федорова О.С., Шишова Т.В., Марчук Н.Ю. Биохимическая и технологическая оценка плодов интродуцированных сортов персика коллекции Никитинского ботанического сада // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада, 2017. 144-2. 156-161. <https://www.elibrary.ru/zfdfsn>

References

1. Abilfazova, Yu.S. (2024). Biochemical characteristics of some varieties of peach and nectarine grown in Sochi. *New Technologies*, 20(3), 94-102. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2024-20-3-94-102>. (In Russian, English abstract).
2. Abilfazova, Yu.S. (2018). Assessment of fruits quality in various peach cultivars within Sochi conditions. *Subtropical and Ornamental Gardening*, 67, 137-141. <https://www.elibrary.ru/yswzgp> (In Russian, English abstract).
3. Bendova, A.Yu., Barayshchuk, G.V., & Degtyarev, A.I. (2024a). Reproduction of peach in the conditions of the southern forest-steppe zone of the Omsk region. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*, 1, 16-25. <https://www.elibrary.ru/tenpba>. (In Russian, English abstract).
4. Bendova, A.Yu., Barayshchuk, G.V., Degtyarev, A.I. (2024b). Origin of the Siberian form of the peach "Bubnovsky". In *Siberian Gardening: Current State and Development Prospects: Proc. Sci. Conf.* (pp. 7-10). Omsk State Agrarian University. <https://www.elibrary.ru/uqlqvww>. (In Russian, English abstract).
5. Bendova, A.Yu., Barayshchuk, G.V., & Degtyarev, A.I. (2024b). The study of the productivity of the common peach in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk region. In *Breeding and Variety Study of Fruit and Berry Crops* (pp. 11-17). Samara State Agrarian University. <https://www.elibrary.ru/qmrpzsk>. (In Russian, English abstract).
6. Burova, T.E. (2014). Fundamentals of food technology. Laboratory practical training / A.L. Ishevsky (Ed.). National Research University ITMO; Institute of Chemical Technology and Biotechnology. (In Russian).
7. Droficheva, N.V. (2020). Features of the chemical composition and technological properties of the fruits of stone fruit crops of the Krasnodar territory. *Scientific works of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking*, 29, 33-39. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2020-29-33-39>. (In Russian, English abstract).
8. Efremova, N.A., & Ryabushkin, Yu.B. (2020). To the question about the peach and apricot culture in the Lower Volga region. *Agrarian Bulletin of the South-East*, 2, 10-13. <https://www.elibrary.ru/qboobs>. (In Russian, English abstract).
9. Kramarenko, L.A. (2018). Introduction of *Persica vulgaris* L. in Moscow region. *Bulletin of the Main Botanical Garden*, 204(1), 27-32. <https://www.elibrary.ru/fktxta>. (In Russian, English abstract).
10. Kuklina, A.G., Tsybulko, N.S., & Myasnikova, S.B. (2024). Biochemical composition of *Prunus persica* (Rosaceae) peach fruits of Moscow selection. *Bulletin of KSAU*, 9, 11-18. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-9-11-18>. (In Russian, English abstract).

11. Lukyanchenko, A.Yu., Degtyarev, A.I., & Barayschuk, G.V. (2022). Productivity of common peach in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. In *Innovative solutions and trends in the development of healthy food technologies: Proc. Sci. Conf.* (pp. 73-76). Omsk State Agrarian University. <https://www.elibrary.ru/kgjjmb>. (In Russian, English abstract).
12. Dzhigadlo, E.N., Kolesnikova, A.F., Eremin, G.V., Morozova, T.V., Debiskaeva, S.Y., Kanshina, M.V., Kanshina, M.V., Medvedeva, N.I., & Simagin, V.S. (1999). Stone fruit crops. In E.N. Sedov & T.P. Ogoltsova (Eds.), *Program and Methods of Variety Investigation of Fruit, Berry and Nut Crops* (pp. 300-350). VNIISP. <https://www.elibrary.ru/yhaqhp>. (In Russian).
13. Smagin, N.E., Abilfazova, Yu.S. (2017). The most productive and disease resistable peach varieties for the wet subtropics in Sochi. *New technologies*, 3, 117-125. <https://www.elibrary.ru/zsjfcf>. (In Russian, English abstract).
14. Smykov, A.V., Richter, A.A., Fedorova, O.S., Shishova, T.V. (2013). The chemical composition of the fruits of peach hybrid forms. *Bulletin of the Nikitsky State Botanical Garden*, 108, 32-39. <https://www.elibrary.ru/udjsbn>. (In Russian, English abstract).
15. Smykov, A.V., Ivaschenko, Yu.A., Fedorova, O.S., Shishova, T.V., & Marchuk, N.Yu. (2017). Biochemical and technological assessment of fruits of introduced peach varieties from the collection of the Nikitinsky Botanical Garden. *Works of the State Nikita Botanical Gardens*, 144-2, 156-161. <https://www.elibrary.ru/zfdfsn>. (In Russian, English abstract).

Авторы:

Галина Васильевна Барайшук, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры садоводства, защиты растений агротехнологического факультета ФГБОУ ВО Омский ГАУ, gv.barayschuk@omgau.org
SPIN: 3725-0670
ORCID: 0000-0003-4529-0411

Мария Александровна Соколова, ассистент кафедры продуктов питания и пищевой биотехнологии агротехнологического факультета ФГБОУ ВО Омский ГАУ, ma.sokolova06.01@omgau.org
SPIN: 6848-7426

Ангелина Юрьевна Бендова, аспирант кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений агротехнологического факультета ФГБОУ ВО Омский ГАУ, ayu.lukyanchenko2133@omgau.org
SPIN: 7178-3059
ORCID: 0000-0002-6844-501X

Артем Игоревич Дегтярёв, аспирант кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений агротехнологического факультета ФГБОУ ВО Омский ГАУ, ai.degtyarjov@omgau.org
SPIN: 7255-5697
ORCID: 0000-0002-2334-2113

Authors details:

Galina V. Barayschuk, D.Sc. (Biology), Professor, Professor of the Department of Horticulture, Plant Protection, Agrotechnology Faculty, Omsk State Agrarian University, gv.barayschuk@omgau.org
SPIN: 3725-0670
ORCID: 0000-0003-4529-0411

Maria A. Sokolova, Assistant of the Department of Food Products and Food Biotechnology, Agrotechnology Faculty, Omsk State Agrarian University, ma.sokolova06.06.01@omgau.org
SPIN: 6848-7426

Angelina Yu. Bendova, Postgraduate Student of the Department of Horticulture, Forestry and Plant Protection, Agrotechnology Faculty, Omsk State Agrarian University, ayu.lukyanchenko2133@omgau.org
SPIN: 7178-3059
ORCID: 0000-0002-6844-501X

Artem I. Degtyarev, postgraduate student of the Department of Horticulture, Forestry and Plant Protection of the Agrotechnological Faculty of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Omsk State Agrarian University, ai.degtyarjov@omgau.org
SPIN: 7255-5697
ORCID: 0000-0002-2334-2113

Отказ от ответственности: заявления, мнения и данные, содержащиеся в публикации, принадлежат исключительно авторам и соавторам. ФГБНУ ВНИИСПК и редакция журнала снимают с себя ответственность за любой ущерб людям и/или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.

УДК 635.71+615.322

Изучение состава фенольных соединений листьев инвазивного вида *Reynoutria sachalinensis*

Т.А. Кроль¹ , Д.Н. Балеев¹, В.И. Осипов¹

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», 117216, ул. Грина, д. 7, стр. 1, г. Москва, Россия, vilamii@mail.ru

Аннотация

Reynoutria sachalinensis представляет собой инвазивное многолетнее травянистое растение, относящиеся к семейству Polygonaceae. Данное растение богато фенольными соединениями, однако их состав в надземной части растения изучен недостаточно. Целью работы было изучение качественного состава фенольных соединений листьев *R. sachalinensis* методом ультра-эффективной жидкостной хроматографии в комбинации с фотодиодной и масс-спектрометрической регистрацией (УЭЖХ-ДД-МС). Образцы листьев собирали в начале июля с растений, ранее интродуцированных в Ботанический сад Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений (ФГБНУ ВИЛАР). В результате исследования в листьях *R. sachalinensis* были обнаружены 47 фенольных соединений, 38 из которых были идентифицированы. Гидролизуемые танины представлены только моногаллоил-глюкозой, тогда как состав конденсированных танинов был более разнообразным. Обнаружены димеры, тримеры и тетрамеры процианидина В-типа, димеры дигаллата процианидина В-типа, а также тримеры и тетрамер процианидина А-типа. Кроме того, идентифицированы мономеры флаван-3-ола: катехин, эпикатехин и катехин-галлат, а также изомеры кумароилгексозы, кофеоилхинной, кумароилхинной и кафтаровой кислот. Флавоноиды были представлены в листьях в основном гликозидами кверцетина и апигенина. Обнаружены также стильбены: изомеры ресвератролозида или полидатына.

Ключевые слова: фенольные соединения, ультра-эффективная жидкостная хроматография, масс-спектрометрия, *Reynoutria sachalinensis*

Study of the composition of phenolic compounds in the leaves of an invasive species *Reynoutria sachalinensis*

T.A. Krol¹ , D.N. Baleev¹, V.I. Ossipov¹

¹All-Russian Institute of medicinal and aromatic plants, 117216, Grina street, 7, Moscow, Russia, vilamii@mail.ru

Abstract

Reynoutria sachalinensis is an invasive perennial herbaceous plant belonging to the Polygonaceae family. This plant is rich in phenolic compounds, but their composition in the above-ground part of the plant has not yet been sufficiently studied. The objective of this study was to examine the qualitative composition of phenolic compounds in the leaves of *R. sachalinensis* with application of ultra-performance liquid chromatography in combination with photodiode and mass spectrometric detectors (UPLC-PDA-MS). Leaf samples were collected in early July from plants previously introduced to the Botanical Garden of the All-Russian Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR). As a result, 47 phenolic compounds were detected in the leaves of *R. sachalinensis*, with 38 of which being identified. Hydrolyzable tannins were represented only by monogalloyl-glucose, whereas while the composition of condensed tannins was more diverse.

Dimers, trimers and tetramers of B-type procyanidin, dimers of B-type procyanidin digallate, and trimer and tetramer of A-type procyanidin were found. In addition, the flavan-3-ol monomers catechin, epicatechin, and catechin-gallate, as well as isomers of coumaroylhexose, caffeoylquinic acid, coumaroylquinic acid, and caftaric acid were identified. Flavonoids in the leaves were mainly represented in the leaves by quercetin and apigenin glycosides. Two stilbenes were also detected: isomers of resveratrol or polydatin.

Key words: phenolic compounds, ultra-performance liquid chromatography, mass-spectrometry, *Reynoutria sachalinensis*

Введение

В настоящее время все больше внимания уделяется вопросам, связанным с инвазией видов. Это обусловлено тем, что появление в фитоценозах инвазионных видов растений представляет угрозу не только экологии, но и наносит экономический вред гидроэнергетике, сельскому, лесному и рыбному хозяйству (Сенатор и др., 2017; Šerá et al., 2024).

Инвазивные виды растений способны образовывать почти монодоминантные заросли (Гусев, 2017), в результате чего происходит резкое сокращение видового разнообразия растений (Stefanowicz et al., 2021). Такая способность некоторых видов обусловлена высокой адаптивной способностью к условиям окружающей среды, особенностями расселения вида, наличием активного вегетативного роста и размножения. Кроме того, некоторые виды инвазивных растений синтезируют большие количества фенольных соединений, которые попадая в почву могут оказывать ингибирующее действие на почвенные организмы и на местные растения в пределах захваченных сообществ (Lavoie, 2017; Stefanowicz et al., 2021). В связи с этим, необходим поиск как мер борьбы с распространением этих растений, так и возможности их использования как источников биологически активных соединений.

Reynoutria sachalinensis (F. Schmidt) Nakai (Polygonaceae) является инвазивным растением как в России, так и в ряде европейских стран (Békési-Kallenberger et al., 2016; Vinogradova et al., 2021; Кадетов, Шамонова, 2024). Естественный ареал данного вида находится в Восточной Азии (Park et al., 2018).

Reynoutria sachalinensis – это многолетнее травянистое растение с мощным ветвистым корневищем. Данный вид демонстрирует высокую скорость роста (около 4...5 см/день), а высота побегов может достигать 3...4 метров (Marigo, Pautou, 1998). В центральном регионе России данный вид размножается преимущественно вегетативно с помощью корневищ, цветение начинается очень поздно (конец сентября – октябрь) и семена не успевают созреть (Vinogradova et al., 2021). *R. sachalinensis* часто произрастает на низкорасположенных аллювиальных равнинах (Marigo, Pautou, 1998). Местами может образовывать массивные заросли по берегам рек (Lavoie, 2017). Данный вид встречается на высоте до 1000 м (Sukopp, Starfinger, 1995).

R. sachalinensis выращивают как декоративное, пищевое и нетрадиционное кормовое растение (Cirlig et al., 2023). Исследуют возможности использования растения в качестве фиторемедиаторов (Lu et al., 2021, Kim et al., 2024). На основе экстракта из данного вида разработан биопестицид (EFSA, 2015), который используют в борьбе с *Podosphaera xanthii* огурцов (*Cucumis sativus*), цуккини (*Cucurbita pepo*), а также с *Leveillula taurica* на томатах (*Lycopersicon esculentum*) (Konstantinidou-Doltsinis, Schmit, 1998; Petsikos-Panayotarou et al., 2002; Konstantinidou-Doltsinis et al., 2006; Margaritopoulou et al., 2020).

R. sachalinensis известна в странах Азии как лекарственное растение, применяемое в традиционной медицине в качестве противовоспалительного, жаропонижающего средства, для профилактики высокого кровяного давления (Lachowicz, Oszmiański, 2019; Kim et al.,

2024). Данное растение содержит такие фенольные соединения, как антрахиноны, стильбены, конденсированные танины, фенольные кислоты и флавоноиды (Lachowicz, Oszmiański, 2019). Большинство исследований посвящено изучению состава и содержания биологически активных веществ, накапливающихся в корневище. Фитохимический состав надземной части изучен недостаточно. В связи с этим целью нашего исследования было изучение качественного состава фенольных соединений листьев *R. sachalinensis* методом ультра-эффективной жидкостной хроматографии.

Материалы и методы

Объектом исследования были листья растений *R. sachalinensis*, произрастающих на территории Ботанического сада Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений (ФГБНУ ВИЛАР). Образцы листьев собирали в начале июля 2020 года.

Лиофильно высушенные (Labconco FreeZone 2.5 L, США) и измельченные листья массой 15 мг (CPA 225D, Sartorius, Германия) экстрагировали трехкратно 80% ацетоном (для хроматографии, Компонент-Реактив, Россия) (Кроль и др., 2023).

Для анализа использовали ультра-эффективную жидкостную хроматографическую систему (УЭЖХ, Acquity UPLC® 2.9.0, Waters Corporation, Милфорд, США), которая включала фотодиодный детектор (190-500 нм) и тройной квадрупольный масс-спектрометр Xevo TQ (Waters Corporation, Милфорд, США). Хроматографическая колонка ACQUITY UPLC® BEH Phenyl (100 × 2,1 мм, 1,7 µm, Waters, Ирландия). В градиентной программе применяли 0,1% муравьиную кислоту (А) и ацетонитрил (Б): 0,0...0,5 мин, 0,1% Б в А, 0,5...5,0 мин, 0,1...30,0% Б в А (линейный градиент), 5,0...6,0 мин, 30...35% Б в А (линейный градиент). Скорость потока элюента составляла 0,5 мл/мин, объем введенного образца – 5 мкл (Engstrom et al., 2015). Масс-спектрометр работал в отрицательном режиме ионизации. Условия ESI: скорость потока газа осушителя (N₂) 1000 л/ч, расход газа распылителя (аргон) 100 л/ч, напряжение распыления при 2,4 кВ, температура линии десольватации 650°C; температура источника 150°C. Масс-спектрометрические данные анализировали с использованием программы DataAnalysis 4.0.

Идентификацию фенольных соединений проводили путем сравнения результатов УФ- и МС-анализа с результатами из доступной базы масс-спектрометрических данных «The Human Metabolome Database» (HMDB) (Wishart et al., 2018), а также с результатами других исследователей (Zhang et al., 2005; Park et al., 2011; Lachowicz, Oszmiański, 2019).

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного анализа, в экстракте из листьев *R. sachalinensis* были обнаружены 47 фенольных соединений, 38 из которых были предварительно идентифицированы (рисунок 1, таблица 1).

Анализ масс-спектра соединения 1 показал наличие основного депротонированного иона [M-H]⁻ с m/z 191, что соответствует хинной кислоте.

В листьях *R. sachalinensis* гидролизуемые танины были представлены только одним соединением – моногаллоил-глюкозой (соединение 2).

Соединения 5, 6, 7, 11, 13 и 20 имели УФ-спектр, характерный для кофейной кислоты с максимумами поглощения в области 241...249, 295...300 плечо, 324...327 нм. В масс-спектре соединений 5 и 6 присутствовал депротонированный ион [M-H]⁻ m/z 311 и его димер m/z 623 [2M-H]⁻, а также характерный фрагмент с m/z 179, соответствующий иону [Кофейная кислота-H]⁻. Это позволило идентифицировать данные соединения как изомеры кафтаровой кислоты. Ранее было установлено, что эта кислота присутствует в листьях данного вида и в небольших количествах в стеблях (около 0,02 мг/г) (Lachowicz, Oszmiański, 2019).

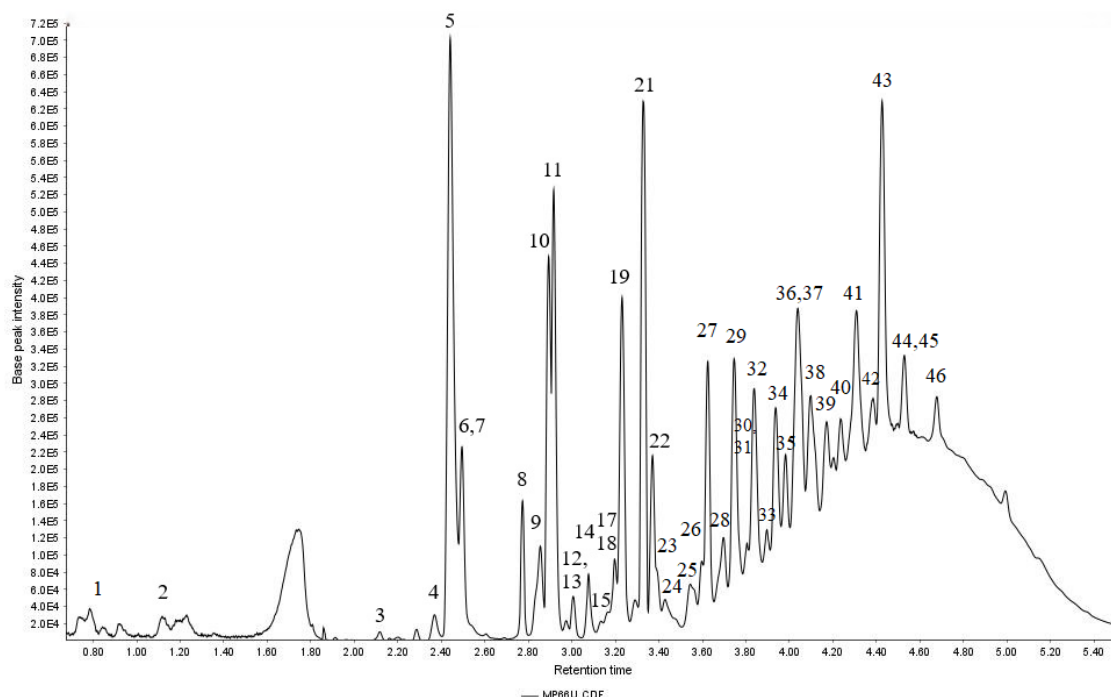


Рисунок 1 – УЭЖХ-УФ (280 нм) профиль фенольных соединений экстракта листьев *R. sachalinensis*

Таблица 1 – Результаты УЭЖХ-УФ-МС идентификации фенольных соединений листьев *R. sachalinensis*

№	Время (мин)	УФ макс. (нм)	Масс-спектр		Фрагменты (m/z)	Фенольное соединение
			[M-H] ⁻ (m/z)	[2M-H] ⁻ (m/z)		
1	2	3	4	5	6	7
Галлоилглюкозы						
2	1,24	218, 279	331	–	169	Моногаллоил-глюкоза, изомер 1
Фенольные кислоты						
5	2,44	249, 300 пл, 327	311	623	177, 179	Кафтаровая кислота, изомер 1
6	2,49	243, 295 пл, 324	311	623	177, 179	Кафтаровая кислота, изомер 2
7			353	707	179, 191	Кофеилхинная кислота, изомер 1
9	2,85	230, 295 пл, 311	337	675	163, 191	Кумароилхинная кислота, изомер 1
11	2,92	241, 295 пл, 325	353	707	177, 179, 191	Кофеилхинная кислота, изомер 2
12	3,01	235, 316	325	–	163, 173	Кумароилгексозид, изомер 1
13			353	707	179, 191	Кофеилхинная кислота, изомер 3
15	3,13	235, 282, 314	325	–	163	Кумароилгексозид, изомер 2
16	3,16	234, 283, 325	325	–	163	Кумароилгексозид, изомер 3
20	3,29	233, 286, 313	353	707	191, 179, 163	Кофеилхинная кислота, изомер 4
22	3,37	229, 298 пл, 311	337	675	191, 163	Кумароилхинная кислота, изомер 2
28	3,70	227, 287, 307	337	675	191, 163	Кумароилхинная кислота, изомер 3
Мономеры флаван-3-ола						
3	2,12	230, 279	441	–	289	Катехин-галлат
10	2,90	202, 225, 280	289	579	245	Катехин
21	3,33	201, 279	289	579	245	Эпикатехин
Олигомеры флаван-3-ола						
8	2,76	200, 279	577	1155	245, 289, 425, 451	Димер процианидина В-типа, изомер 1
14	3,08	227, 279	865	–	577, 451	Тример процианидина В-типа, изомер 1
17	3,19	224, 284, 299, 325	881	–	289, 576, 691	Дигаллат димера процианидина В-типа, изомер 1

продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
18	3,20	227, 280	863	–	289, 423, 425, 449, 451, 575	Тример процианидина А-типа, изомер 1
19	3,23	201, 279	577	1155	245, 289, 425, 451, 865	Димер процианидина В-типа, изомер 2
23	3,39	229, 283, 313	–	–	287, 289, 575, 863	Процианидин
24	3,43	232, 280	–	–	289, 1153	Процианидин
27	3,62	200, 279	865	–	289, 425, 563, 577	Тример процианидина В-типа, изомер 2
29	3,75	217, 278	1153	–	289, 425, 451, 577, 865	Тетрамер процианидина В-типа, изомер 1
31	3,80	230, 279	1153	–	289, 425, 451, 576, 865	Тетрамер процианидина В-типа, изомер 2
32	3,84	219, 279	863	–	287, 289, 575	Тример процианидина А-типа, изомер 2
38	4,10	223, 279	1153	–	451, 575, 865	Тетрамер процианидина В-типа, изомер 3
39	4,17	223, 279	–	–	289, 451, 575, 865, 1152	Процианидин
42	4,38	223, 279	1153	–	289, 425, 576, 577, 865	Тетрамер процианидина В-типа, изомер 4
46	4,68	227, 280	1151	–	833, 865	Тетрамер процианидина А-типа, изомер
Флавоноид-гликозиды						
25	3,56	230, 274, 334	563	–	269	Производное апигенина
26	3,60	228, 270, 347	447	895	–	Флавоноид-гексозид
30	3,79	227, 271, 349	447	895	–	Флавоноид-гексозид
33	3,89	201, 225, 279, 351	609	–	301	Кверцетин-рамно-глюкозид, изомер 1
34	3,92	223, 279, 352	609	–	–	Кверцетин-рутинозид, изомер 1
40	4,20	268, 353	433	867	301	Кверцетин-пентозид, изомер 1
41	4,31	264, 352	433	867	301	Кверцетин-пентозид, изомер 2
43	4,43	254, 349	447	895	301	Кверцетин-рамнозид
35	3,98	223, 271, 337	431	–	269	Апигенин-глюкозид
Производные стильбена						
36	4,04	295, 319	389	779	227	Производное ресвератрола (изомер ресвератролозида или полидатына)
47	4,70	–	389	–	227	Производное ресвератрола (изомер ресвератролозида или полидатына)
Прочие соединения						
1	0,81	208, 261	191	–	–	Хинная кислота
Не идентифицированные соединения						
4	2,36	250, 303, 403	177	–	–	Не идентифицировано
37	4,04	268, 325	431	863	269	Не идентифицировано
44	4,53	223, 283, 319, 339	475	951	299, 285	Не идентифицировано
45			227	–	–	Не идентифицировано

Примечание: пл – плечо

Анализ масс-спектров соединений 7, 11, 13 и 20 показал наличие основного депротонированного иона $[M-H]^-$ с m/z 353, иона $[2M-H]^-$ с m/z 707 и фрагмента исходного иона с m/z 191, соответствующего иону $[Хинная\ кислота-H]^-$ и фрагмента с m/z 179, соответствующего иону $[Кофейная\ кислота-H]^-$. Данные соединения идентифицированы как изомеры кофеилхинной кислоты. Ранее ее изомеры были обнаружены в многих видах семейства Polygonaceae (Lachowicz, Oszmiański, 2019).

Соединения 9, 15, 16, 22 и 28 имели УФ-спектр, характерный для *p*-кумаровой кислоты с максимумами поглощения в области 227...235 и 307...314 нм. В масс-спектре соединений 9, 22 и 28 присутствовал депротонированный ион $[M-H]^-$ m/z 337 и его димер m/z 675 $[2M-H]^-$, а также характерный фрагмент с m/z 163, соответствующий иону $[p\text{-Кумаровая кислота-H}]^-$ и фрагмента исходного иона с m/z 191, соответствующий иону $[Хинная кислота-H]^-$. Все это позволило идентифицировать соединения как изомеры *p*-кумароилхинной кислоты, обнаруженные в растении ранее (Lachowicz, Oszmiański, 2019).

Анализ масс-спектров соединений 12, 15 и 16 показал наличие основного депротонированного иона $[M-H]^-$ с m/z 325 и фрагмента исходного иона с m/z 163, соответствующего иону $[p\text{-Кумаровая кислота-H}]^-$. Данные соединения были предварительно идентифицированы как изомеры *p*-кумароилгексозида, которые были обнаружены в *R. sachalinensis* впервые. Для предварительной идентификации использовали базу МС данных HMDB.

Восемнадцать соединений имели УФ-спектр характерный для флаван-3-олов (рисунок 2). Анализ масс-спектра соединения 3 показал наличие основного иона с m/z 441, а также характерный фрагмент с m/z 289 соответствующий катехину. В результате оно было идентифицировано как катехин-галлат.

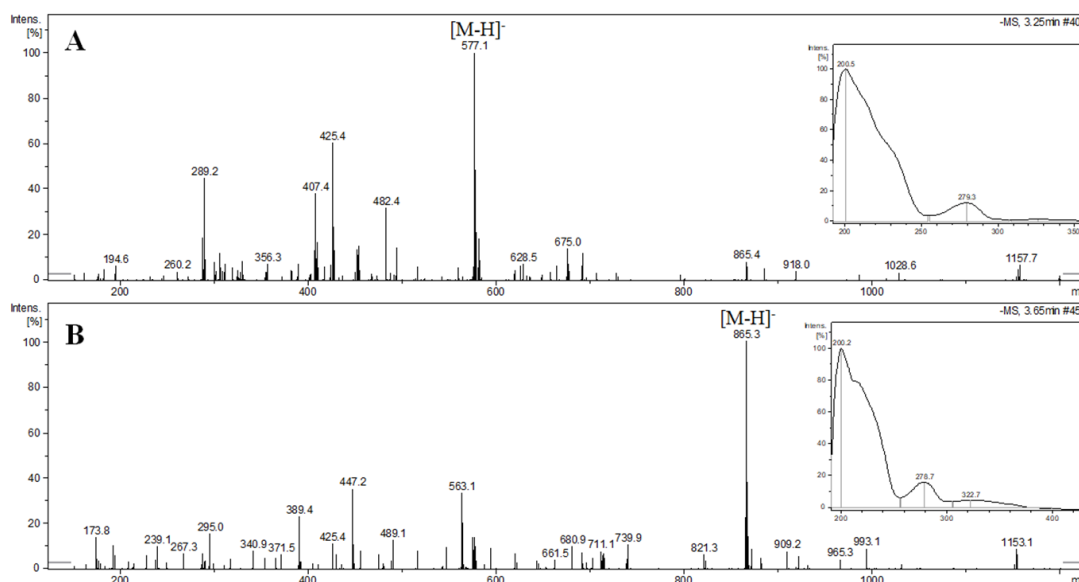


Рисунок 2 – Примеры МС- и УФ-спектров конденсированных танинов экстракта листьев *R. sachalinensis*: А – димер процианидина В-типа, В – тример процианидина В-типа

Изучение масс-спектра соединений 10 и 21 показало присутствие депротонированного иона с m/z 289 $[M-H]^-$ и его димера с m/z 579 $[2M-H]^-$ m/z , а также характерного фрагмента с m/z 245 (Bai et al., 2024). Данные соединения были идентифицированы, соответственно, как катехин и эпикатехин. Идентификация подтверждается литературными данными (Nawrot-Hadzik et al., 2019; Lachowicz, Oszmiański, 2019).

Соединения 8 и 19 были идентифицированы как изомеры димера процианидина В-типа. Данные соединения показали депротонированный ион с m/z 577 $[M-H]^-$ и 1155 $[2M-H]^-$ и фрагменты с m/z 245, 289, 425, 451 (рисунок 2).

Анализ масс-спектра соединения 17 показал наличие основного иона с m/z 881, а также характерных фрагментов с m/z 289, 576, 691, и было идентифицировано как изомер дигаллата димера процианидина В-типа. Также в листьях были обнаружены изомеры

тримера процианидина А-типа (соединения 14 и 27) и В-типа (соединения 18 и 32) (рисунок 2). Анализ масс-спектра соединений 29, 31, 38 и 42 показал наличие основного депротонированного иона $[M-H]^-$ с m/z 1153 и характерных фрагментов исходного. Данные соединения были идентифицированы как тетрамеры процианидина В-типа. Соединения 46 было предварительно идентифицировано как изомер тетрамера процианидина А-типа (m/z 1051 $[M-H]^-$). Ранее сообщалось о наличии в *R. sachalinensis* и *R. japonica* только процианидинов В-типа, поэтому мы с осторожностью говорим о присутствии в листьях процианидинов А-типа. Для подтверждения предварительно полученных данных необходимы дальнейшие исследования.

Анализ масс-спектров соединений 23, 24 и 39 не позволил определить m/z значение исходного иона $[M-H]^-$. Однако в масс-спектре данных соединений присутствуют фрагменты, характерные для процианидинов (таблица). УФ-спектр также типичен для флаван-3-олов.

Анализ опубликованных ранее данных о составе и содержании конденсированных танинов в *R. sachalinensis* показал, что эта группа фенольных соединений характерна не только для *R. sachalinensis*, но для других видов семейства Polygonaceae (Lachowicz, Oszmiański, 2019; Li et al., 2021). В *R. sachalinensis* они содержатся в листьях, стеблях и корневищах (Lachowicz, Oszmiański, 2019). М. Bensa с соавторами (2020) сообщают, что содержание димерных процианидинов в листьях достигает 206 мг/100 г сухого вещества. По данным N. Vrchotová с соавторами (2007) содержание катехина и эпикатехина в весенних побегах может составлять 0,17 мг/г и 0,67 мг/г соответственно.

Кроме того, в листьях *R. sachalinensis* обнаружен ряд флавоноидов.

Масс-спектр соединений 26 и 30 содержал депротонированный ион с m/z 447 $[M-H]^-$ и его димер с m/z 895 $[2M-H]^-$. Наблюдали УФ-спектр с максимумами поглощения в области 227...228, 270...271 и 347...349 нм. Данные соединения относятся к флавоноидам, однако для их идентификации недостаточно данных.

Соединения 33 и 34 имели депротонированный ион с m/z 609 $[M-H]^-$ и содержали фрагмент с m/z 301, соответствующий иону [Кверцетин-Н] $^-$. УФ-спектр этих соединений соответствовал кверцетину и его производным. Соединения 33 и 34 были идентифицированы, соответственно, как кверцетин-рамно-глюкозид и кверцетин-рутинозид (Lachowicz, Oszmiański, 2019).

Соединения 40, 41 и 43 также имели характерный для кверцетина УФ-спектр с максимумами поглощения в области 254...268 и 349...353 нм. Анализ масс-спектра соединения 40 и 41 показал присутствие депротонированного иона с m/z 433 $[M-H]^-$ и его димера с m/z 867 $[2M-H]^-$, а также характерного фрагмента с m/z 301. На основании полученных данных эти соединения были идентифицированы как изомеры кверцетин-пентозида. Масс-спектр соединения 43 содержал депротонированный ион с m/z 447 $[M-H]^-$, его димер с m/z 895 $[2M-H]^-$ и фрагмент с m/z 301. На основании этого оно идентифицировано как изомер кверцетин-рамнозида (Lachowicz, Oszmiański, 2019).

Соединения 25 и 35 имели УФ-спектр, характерный для производных апигенина, с максимумами поглощения в области 223...230, 271...274 и 334...337 нм. Масс-спектры этих соединений содержали депротонированные ионы $[M-H]^-$ с m/z 563 и 431, а также фрагмент m/z 269 [Апигенин-Н] $^-$. В результате, соединения 25 и 35 были идентифицированы, соответственно, как апигенин-пентозид-гексозид (производное апигенина) и апигенин-глюкозид (Park et al., 2011).

Полученные нами результаты во многом подтверждаются другими исследованиями (Zhang et al., 2005; Park et al., 2011; Lachowicz, Oszmiański, 2019). Ранее в *R. sachalinensis* были обнаружены производные кверцетина, кемпферола, лютеолина и апигенина. При этом, в основном накапливается кверцетин-3-О-галактозид и кверцетин-3-О-глюкозид (Park et al.,

2011). Содержание флавоноидов в вегетативных органах *R. sachalinensis* составляет около 2,76% (Куклина, Цыбулько, 2019). В цветках общее содержание кверцетина достигает 19,5 мг/г (Vrchotová et al., 2010). Стилбены были представлены производными ресвератрола: изомерами ресвератролозида или полидатына (Lachowicz, Oszmiański, 2019).

Соединения 4, 37, 44 и 45 не удалось идентифицировать.

Таким образом, *R. sachalinensis* является богатым источником фенольных соединений, которые необходимы растению для защиты от различных видов биотического и абиотического стресса (Kumar et al., 2019). Кроме того, обнаруженные фенольные соединения обладают противовоспалительной, противоопухолевой, противовирусной и антибактериальной активностью и широко используются в традиционной медицине (Dołowska-Jóźwiak et al., 2021; Magacz et al., 2021; Zhang et al., 2022).

Заключение

В результате проведенного УЭЖХ-ДД-МС анализа, в листьях *R. sachalinensis* обнаружено 47 фенольных соединений, 38 из которых были идентифицированы. Гидролизуемые танины были представлены только моногаллоил-глюкозой, тогда как состав конденсированных танинов был более разнообразным. Обнаружены димеры, тримеры и тетрамеры процианидина В-типа, димеры дигаллата процианидина В-типа, а также тримеры и тетрамер процианидина А-типа. Кроме того, идентифицированы мономеры флаван-3-ола: катехин, эпикатехин и катехин-галлат, а также изомеры кумароилгексозы, кофеоилхинной, кумароилхинной и кафтаровой кислот. Флавоноиды были представлены в листьях в основном гликозидами кверцетина и апигенина. Обнаружены также стилбены: изомеры ресвератролозида или полидатына.

Благодарности

Мы выражаем благодарность проф. Ю.-П. Салминен, Университет Турку (Финляндия), за предоставленную возможность использовать УЭЖХ-ДД-МС систему.

Acknowledgment

We express our gratitude to Prof. Juha-Pekka Salminen, University of Turku (Finland), for the opportunity to use the UPLC-PDA-MS system.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках НИР FGUU-2025-0005.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Гусев А.П. Задержка восстановительной сукцессии инвазивными видами растений (на примере юго-востока Белоруссии) // Экология. 2017. 4. 261-266. <https://doi.org/10.7868/S0367059717040084>
2. Кадетов Н.Г., Шамонова М.А. Трансформация компонентов биогеоценозов видами рода рейнуртия (*Reynoutria* Houtt.) на примере Московской агломерации // Антропогенная трансформация природной среды. 2024. 10, 1. 6-17. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-1-6-17>
3. Кроль Т.А., Балеев Д.Н., Осипов В.И. Состав и содержание гидролизуемых танинов в листьях фейхоа, *Acca sellowiana* // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2023. 12, 3. 89-95. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-3-89-95>

4. Куклина А.Г., Цыбулько Н.С. Биологически активные метаболиты в растительном сырье *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai и *R. × bohemica* Chreyek & Chrtkova (Polygonaceae) // Роль метаболомики в совершенствовании биотехнологических средств производства: материалы конференции. М.: ВИЛАР, 2019. 118-122. <https://elibrary.ru/glrclf>
5. Сенатор С.А., Саксонов С.В., Васюков В.М., Раков Н.С. Инвазионные и потенциально инвазионные растения Среднего Поволжья // Российский журнал биологических инвазий. 2017. 10, 1. 57-69. <https://elibrary.ru/ytkdmj>
6. Bai J., Zou Q., Su H., Liao B., Wang P., Huang J., Zhang D., Gong L., Xu E., Zhang J., Huang Z., Qiu X. Processing of *Reynoutria multiflora*: transformation of catechin and gallic acid derivatives and their identification // Frontiers in Pharmacology. 2024. 15. 1356876. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1356876>
7. Békési-Kallenberger H., Horváth G., Bencsik T., Balázs V.L., Filep R., Papp N. Comparative histological and phytochemical study of *Fallopia* species // Natural Product Communications. 2016. 11, 2. 251-254. <https://doi.org/10.1177/1934578X1601100229>
8. Bensa M., Glavnik V., Vovk I. Leaves of invasive plants—Japanese, Bohemian and giant knotweed—the promising new source of flavan-3-ols and proanthocyanidins // Plants. 2020. 9, 1. 118. <https://doi.org/10.3390/plants9010118>
9. Cirlig N., Iurcu-Straistaru E., ȚiȚei V., Cozari S., Gutu A., Teleu Ța A., Bivol A. Assessment of the specific diseases in *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai under the influence of environmental conditions of the Republic of Moldova // Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2023. 66, 1. 279-285. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/279-285_13.pdf
10. Dołowska-Jóźwiak A., Matkowski A., Nawrot-Hadzik I. Antglycoxidative Properties of Extracts and Fractions from *Reynoutria* Rhizomes // Nutrients. 2021. 13, 11. 4066. <https://doi.org/10.3390/nu13114066>
11. Engstrom M.T., Palijarvi M., Salminen J.P. Rapid fingerprint analysis of plant extracts for ellagitannins, gallic acid, and quinic acid derivatives and quercetin-, kaempferol- and myricetin-based flavonol glycosides by UPLC-QqQ-MS/MS // Journal of agricultural and food chemistry. 2015. 63, 16. 4068-4079. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00595>
12. European Food Safety Authority (EFSA). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance *Reynoutria sachalinensis* extract // EFSA Journal. 2015. 13, 9. 4221. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4221>
13. Kim Y.J., Park K., Jang B.K., Kwon S.P., Cho J.S.. Classification of dormancy types and breakout conditions in *Reynoutria sachalinensis* exhibiting seed dormancy polymorphism // Horticulture, Environment, and Biotechnology. 2024. 65. 997-1007. <https://doi.org/10.1007/s13580-024-00626-2>
14. Konstantinidou-Doltsinis S., Markellou E., Kasselaki A.M., Fanouraki M.N., Koumaki C.M., Schmitt M.A., Liopa-Tsakalidis A., Malathrakis N.E. Efficacy of Milsana®, a formulated plant extract from *Reynoutria sachalinensis*, against powdery mildew of tomato (*Leveillula taurica*) // Biocontrol. 2006. 51. 375-392. <https://doi.org/10.1007/s10526-005-5247-1>
15. Konstantinidou-Doltsinis S., Schmit A. Impact of treatment with plant extracts from *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai on intensity of powdery mildew severity and yield in cucumber under high disease pressure // Crop Protection. 1998. 17, 8. 649-656 [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(98\)00066-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)00066-0)
16. Kumar S., Abedin M.M., Singh A.K., Das S. Role of phenolic compounds in plant-defensive mechanisms // Plant Phenolics in Sustainable Agriculture. Springer: Singapore. 2020. 517-532. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_22

17. Lachowicz S., Oszmiański J. Profile of bioactive compounds in the morphological parts of wild *Fallopia japonica* (Houtt) and *Fallopia sachalinensis* (F. Schmidt) and their antioxidative activity // *Molecules*. 2019. 24, 7. 1436. <https://doi.org/10.3390/molecules24071436>
18. Lavoie C. The impact of invasive knotweed species (*Reynoutria* spp.) on the environment: review and research perspectives // *Biological Invasions*. 2017. 19, 8. 2319-2337. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1444-y>
19. Li Y.Q., Kitaoka M., Takayoshi J., Wang Y.F., Matsuo Y., Saito Y., Huang Y.L., Li D.P., Nonaka G., Jiang Z.H., Tanaka T. Ellagitannins and oligomeric proanthocyanidins of three polygonaceous plants // *Molecules*. 2021. 26, 2. 337. <https://doi.org/10.3390/molecules26020337>
20. Lu X., Yamaji K., Haruma T., Yachi M., Doyama K., Tomiyama S. Metal Accumulation and Tolerance in *Artemisia indica* var. *maximowiczii* (Nakai) H. Hara. and *Fallopia sachalinensis* (F. Schmidt) Ronse Decr., a Naturally Growing Plant Species at Mine Site // *Minerals*. 2021. 11, 8. 806. <https://doi.org/10.3390/min11080806>
21. Magacz M., Osajca M., Nawrot-Hadzik I., Drożdż R., Jurczak A., Hadzik J., Smakosz A., Krzyściak W. Phenolic compounds of *Reynoutria* Sp. as modulators of oral cavity Lactoperoxidase system // *Antioxidants*. 2021. 10, 5. 676. <https://doi.org/10.3390/antiox10050676>
22. Marigo G., Pautou G. Phenology, growth and ecophysiological characteristics of *Fallopia sachalinensis* // *Journal of Vegetation Science*. 1998. 9, 3. 379-386. <https://doi.org/10.2307/3237102>
23. Margaritopoulou T., Toufexi E., Kizis D., Balayiannis G., Anagnostopoulos C., Theocharis A., Rempelos L., Troyanos Y., Leifert C., Markellou E. *Reynoutria sachalinensis* extract elicits SA-dependent defense responses in courgette genotypes against powdery mildew caused by *Podosphaera xanthii* // *Scientific Reports*. 2020. 10, 1. 3354. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60148-6>
24. Nawrot-Hadzik I., Ślusarczyk S., Granica S., Hadzik J., Matkowski A. Phytochemical diversity in rhizomes of three *Reynoutria* species and their antioxidant activity correlations elucidated by LC-ESI-MS/MS analysis // *Molecules*. 2019. 24, 6. 1136. <https://doi.org/10.3390/molecules24061136>
25. Park C.W., Bhandari G.S., Won H., Park J.H., Park D.S. Polyploidy and introgression in invasive giant knotweed (*Fallopia sachalinensis*) during the colonization of remote volcanic islands // *Scientific reports*. 2018. 8, 1. 16021. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34025-2>
26. Park J.H., Moon H.K., Park C.W. Flavonoid chemistry of *Fallopia* sect. *Reynoutria* (Polygonaceae) in Korea // *Korean Journal of Plant Taxonomy*. 2011. 41, 1. 10-15. <https://doi.org/10.11110/kjpt.2011.41.1.010>
27. Petsikos-Panayotarou N., Schmitt A., Markellou E., Kalamarakis A.E., Tzempelikou K., Siranidou E., Konstantinidou-Doltsinis S. Management of cucumber powdery mildew by new formulations of *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai extract // *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2002. 19, 5. 478-490. <http://www.jstor.org/stable/43215470>
28. Šerá B., Doshi P., Věchet L. Extracts from the leaves of knotweeds (*Reynoutria* spp.) have a stimulating effect on the germination and initial growth of wheat grains // *The Science of Nature*. 2024. 111, 61. 1-7. <https://doi.org/10.1007/s00114-024-01946-0>
29. Stefanowicz A.M., Kapusta P., Stanek M., Frac M., Oszust K., Woch M.W., Zubek S. Invasive plant *Reynoutria japonica* produces large amounts of phenolic compounds and reduces the biomass but not activity of soil microbial communities // *Science of the Total Environment*. 2021. 767. 145439. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145439>
30. Sukopp H., Starfinger U. *Reynoutria sachalinensis* in Europe and in the Far East: a comparison of the species ecology in its native and adventive distribution range // *Plant Invasions: General Aspects and Special Problems: Proc. Sci. Conf. Amsterdam: SPB Academic Publishing*, 1995. 151-159.

31. Vinogradova Y., Kuklina A., Ryabchenko A. Taxonomic Characteristics of Vegetative Organs for Invasive Species of *Reynoutria* Hook // *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2021. 5, 1. 160-168. <https://doi.org/10.15414/ainhlq.2021.0015>
32. Vrchotová N., Sera B., Triska J. The stilbene and catechin content of the spring sprouts of *Reynoutria* species // *Acta Chromatographica*. 2007. 19. 21-28. https://www.academia.edu/download/45471521/THE_STILBENE_AND_CATECHIN_CONTENT_OF_THE20160509-5542-16qo0ph.pdf
33. Vrchotová N., Seráa B., Dadáková E. HPLC and CE analysis of catechins, stilbens and quercetin in flowers and stems of *Polygonum cuspidatum*, *P. sachalinense* and *P. x bohemicum* // *Journal of the Indian Chemical Society*. 2010. 87. 1-6. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=3ea34986a8dd92ce430504db18d019df4b81cd20>
34. Wishart D.S., Feunang Y.D., Marcu A., Guo A.C., Liang K., Vázquez-Fresno R., Sajed T., Johnson D., Li C., Karu N., Sayeeda Z., Lo E., Assempour N., Berjanskii M., Singhal S., Arndt D., Liang Y., Badran H., Grant J., Serra-Cayuela A., Liu Y., Mandal R., Neveu V., Pon A., Knox C., Wilson M., Manach C., Scalbert A. HMDB 4.0: the human metabolome database for 2018 // *Nucleic acids research*. 2018. 46, D1. D608-D617. <https://doi.org/10.1093/nar/gkx1089>
35. Zhang X., Thuong P.T., Jin W., Su N.D., Sok D.E., Bae K., Kang S.S. Antioxidant activity of anthraquinones and flavonoids from flower of *Reynoutria sachalinensis* // *Archives of pharmacal research*. 2005. 28. 22-27. <https://doi.org/10.1007/BF02975130>
36. Zhang Y., Cai P., Cheng G., Zhang Y. A brief review of phenolic compounds identified from plants: Their extraction, analysis, and biological activity // *Natural product communications*. 2022. 17, 1. 1-14. <https://doi.org/10.1177/1934578X211069721>

References

1. Gusev, A.P. (2017). Inhibition of restorative succession by invasive plant species: examples from southeastern Belarus. *Russian journal of ecology*, 4, 261-266. <https://doi.org/10.7868/S0367059717040084>. (In Russian, English Abstract).
2. Kadetov, N., & Shamonova, M. (2024). Transformation of biogeocenoses components by species of *Reynoutria* houtt. on the example of Moscow agglomeration. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 10(1), 6-17. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-1-6-17>. (In Russian, English Abstract).
3. Krol, T.A., Baleev, D.N., & Ossipov, V.I. Composition and content of hydrolysable tannins in feijoa leaves, *Acca sellowiana*. (2023). *Drug Development & Registration*, 12(3), 89-95. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-3-89-95>
4. Kuklina, A.G., Tsybulko, N.S. (2019) Biologically active metabolites in plant material of *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai и *R. x bohemica* Chreyek & Chrtkova (Polygonaceae). In *The Role of Metabolomics in the Improvement of Biotechnological Means of Production: Proc. Sci. Conf.* (pp. 118-122). All-Russian Institute of medicinal and aromatic plants. <https://elibrary.ru/glrclfp>. (In Russian, English abstract).
5. Senator, S.A., Saksonov, S.V., Vasjukov, V.M., & Rakov, N.S. (2017). Invasive and potentially invasive plants of the Middle Volga region // *Russian Journal of Biological Invasions*, 10(1), 57-69. <https://elibrary.ru/ylkdmj>. (In Russian, English Abstract).
6. Bai, J., Zou, Q., Su, H., Liao, B., Wang, P., Huang, J., Zhang, D., Gong, L., Xu, E., Zhang, J., Huang, Z., & Qiu, X. (2024). Processing of *Reynoutria multiflora*: transformation of catechin and gallic acid derivatives and their identification. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 1356876. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1356876>

7. Békési-Kallenberger, H., Horváth, G., Bencsik, T., Balázs, V. L., Filep, R., & Papp, N. (2016). Comparative histological and phytochemical study of *Fallopia* species. *Natural Product Communications*, 11(2), 251-254. <https://doi.org/10.1177/1934578X1601100229>
8. Bensa, M., Glavnik, V., & Vovk, I. (2020). Leaves of invasive plants—Japanese, Bohemian and giant knotweed—the promising new source of flavan-3-ols and proanthocyanidins. *Plants*, 9(1), 118. <https://doi.org/10.3390/plants9010118>
9. Cirlig, N., Iurcu-Straistaru, E., Ţi Ţei, V., Cozari, S., Gutu, A., Teleu Ţa, A., & Bivol, A. (2023). Assessment of the specific diseases in *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai under the influence of environmental conditions of the Republic of Moldova. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 66(1), 279-285. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/279-285_13.pdf
10. Dołowska-Jóźwiak, A., Matkowski, A., & Nawrot-Hadzik, I. (2021). Antiglycoxidative Properties of Extracts and Fractions from *Reynoutria* Rhizomes. *Nutrients*, 13(11), 4066. <https://doi.org/10.3390/nu13114066>
11. Engstrom, M.T., Palijarvi, M., & Salminen, J.P. (2015). Rapid fingerprint analysis of plant extracts for ellagitannins, gallic acid, and quinic acid derivatives and quercetin-, kaempferol- and myricetin-based flavonol glycosides by UPLC-QqQ-MS/MS. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(16), 4068-4079. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00595>
12. European Food Safety Authority (EFSA). (2015). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance *Reynoutria sachalinensis* extract. *EFSA Journal*, 13(9), 4221. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4221>
13. Kim, Y.J., Park, K., Jang, B.K., Kwon, S. P., & Cho, J.S. (2024). Classification of dormancy types and breakout conditions in *Reynoutria sachalinensis* exhibiting seed dormancy polymorphism. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 65, 997-1007. <https://doi.org/10.1007/s13580-024-00626-2>
14. Konstantinidou-Doltsinis, S., Markellou E., Kasselaki, A.M., Fanouraki, M.N., Koumaki, C.M., Schmitt, M.A., Liopa-Tsakalidis, A., & Malathrakakis, N.E. (2006). Efficacy of Milsana®, a formulated plant extract from *Reynoutria sachalinensis*, against powdery mildew of tomato (*Leveillula taurica*). *Biocontrol*, 51(3), 375-392. <https://doi.org/10.1007/s10526-005-5247-1>
15. Konstantinidou-Doltsinis, S., & Schmit, A. (1998). Impact of treatment with plant extracts from *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai on intensity of powdery mildew severity and yield in cucumber under high disease pressure. *Crop Protection*, 17(8), 649-656. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(98\)00066-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)00066-0)
16. Kumar, S., Abedin, M.M., Singh, A.K., & Das, S. (2020). Role of phenolic compounds in plant-defensive mechanisms. In Lone, R., Shuab, R., Kamili, A. (Eds.) *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture* (Vol. 1, pp 517-532) Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_22
17. Lachowicz, S., & Oszmiański, J. (2019). Profile of bioactive compounds in the morphological parts of wild *Fallopia japonica* (Houtt) and *Fallopia sachalinensis* (F. Schmidt) and their antioxidative activity. *Molecules*, 24(7), 1436. <https://doi.org/10.3390/molecules24071436>
18. Lavoie, C. (2017). The impact of invasive knotweed species (*Reynoutria* spp.) on the environment: review and research perspectives. *Biological Invasions*, 19(8), 2319-2337. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1444-y>
19. Li, Y.Q., Kitaoka, M., Takayoshi, J., Wang, Y.F., Matsuo, Y., Saito, Y., Huang, Y.L., Li, D.P., Nonaka, G., Jiang, Z.H., & Tanaka, T. (2021). Ellagitannins and oligomeric proanthocyanidins of three polygonaceous plants. *Molecules*, 26(2), 337. <https://doi.org/10.3390/molecules26020337>
20. Lu, X., Yamaji, K., Haruma, T., Yachi, M., Doyama, K., & Tomiyama, S. (2021). Metal Accumulation and Tolerance in *Artemisia indica* var. *maximowiczii* (Nakai) H. Hara. and *Fallopia sachalinensis* (F. Schmidt) Ronse Decr., a Naturally Growing Plant Species at Mine Site. *Minerals*, 11(8), 806. <https://doi.org/10.3390/min11080806>

21. Magacz M., Oszejca M., Nawrot-Hadzik I., Drożdż R., Jurczak A., Hadzik J., Smakosz A., & Krzyściak, W. (2021). Phenolic compounds of *Reynoutria* Sp. as modulators of oral cavity Lactoperoxidase system. *Antioxidants*, 10(5), 676. <https://doi.org/10.3390/antiox10050676>
22. Marigo, G., & Pautou, G. (1998). Phenology, growth and ecophysiological characteristics of *Fallopia sachalinensis*. *Journal of Vegetation Science*, 9(3), 379-386. <https://doi.org/10.2307/3237102>
23. Margaritopoulou, T., Toufexi, E., Kizis, D., Balayiannis, G., Anagnostopoulos, C., Theocharis, A., Rempelos, L., Troyanos, Y., Leifert, C., & Markellou, E. (2020). *Reynoutria sachalinensis* extract elicits SA-dependent defense responses in courgette genotypes against powdery mildew caused by *Podosphaera xanthii*. *Scientific Reports*, 10(1), 3354. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60148-6>
24. Nawrot-Hadzik, I., Ślusarczyk, S., Granica, S., Hadzik, J., & Matkowski, A. (2019). Phytochemical diversity in rhizomes of three *Reynoutria* species and their antioxidant activity correlations elucidated by LC-ESI-MS/MS analysis. *Molecules*, 24(6), 1136. <https://doi.org/10.3390/molecules24061136>
25. Park, C.W., Bhandari, G.S., Won, H., Park, J.H., & Park, D.S. (2018). Polyploidy and introgression in invasive giant knotweed (*Fallopia sachalinensis*) during the colonization of remote volcanic islands. *Scientific reports*, 8(1), 16021. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34025-2>
26. Park, J.H., Moon, H.K., & Park, C.W. (2011). Flavonoid chemistry of *Fallopia* sect. *Reynoutria* (Polygonaceae) in Korea. *Korean Journal of Plant Taxonomy*, 41(1), 10-15. <https://doi.org/10.11110/kjpt.2011.41.1.010>. (In Korean, English Abstract).
27. Petsikos-Panayotarou, N., Schmitt, A., Markellou, E., Kalamarakis, A. E., Tzempelikou, K., Siranidou, E., & Konstantinidou-Doltsinis, S. (2002). Management of cucumber powdery mildew by new formulations of *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai extract. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 19(5), 478-490. <http://www.jstor.org/stable/43215470>
28. Šerá, B., Doshi, P., & Věchet, L. (2024). Extracts from the leaves of knotweeds (*Reynoutria* spp.) have a stimulating effect on the germination and initial growth of wheat grains. *The Science of Nature*, 111(61), 1-7. <https://doi.org/10.1007/s00114-024-01946-0>
29. Stefanowicz, A.M., Kapusta, P., Stanek, M., Frąc, M., Oszust, K., Woch, M.W., & Zubek, S. (2021). Invasive plant *Reynoutria japonica* produces large amounts of phenolic compounds and reduces the biomass but not activity of soil microbial communities. *Science of the Total Environment*, 767, 145439. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145439>
30. Sukopp, H., & Starfinger, U. (1995). *Reynoutria sachalinensis* in Europe and in the Far East: a comparison of the species ecology in its native and adventive distribution range. In *Plant Invasions: General Aspects and Special Problems: Proc. Sci. Conf.* (pp. 151-159). SPB Academic Publishing.
31. Vinogradova, Y., Kuklina, A., & Ryabchenko, A. (2021). Taxonomic Characteristics of Vegetative Organs for Invasive Species of *Reynoutria* Hook. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, 5(1), 160-168. <https://doi.org/10.15414/ainhlq.2021.0015>
32. Vrchotová, N., Šerá, B., & Dadáková, E. (2010). HPLC and CE analysis of catechins, stilbens and quercetin in flowers and stems of *Polygonum cuspidatum*, *P. sachalinense* and *P. × bohemicum*. *Journal of the Indian Chemical Society*, 87, 1-6. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=3ea34986a8dd92ce430504db18d019df4b81cd20>
33. Vrchotová, N., Šerá, B., & Triska, J. (2007). The stilbene and catechin content of the spring sprouts of *Reynoutria* species. *Acta Chromatographica*, 19, 21. https://www.academia.edu/download/45471521/THE_STILBENE_AND_CATECHIN_CONTENT_OF_THE20160509-5542-16qo0ph.pdf

34. Wishart, D.S., Feunang, Y.D., Marcu, A., Guo, A.C., Liang, K., Vázquez-Fresno, R., Sajed, T., Johnson, D., Li, C., Karu, N., Sayeeda, Z., Lo, E., Assempour, N., Berjanskii, M., Singhal, S., Arndt, D., Liang, Y., Badran, H., Grant, J., Serra-Cayuela, A., Liu, Y., Mandal, R., Neveu, V., Pon, A., Knox, C., Wilson, M., Manach, C., & Scalbert, A. (2018). HMDB 4.0: the human metabolome database for 2018. *Nucleic Acids Research*, 46(D1), D608-D617. <https://doi.org/10.1093/nar/gkx1089>
35. Zhang, X., Thuong, P.T., Jin, W., Su, N.D., Sok, D.E., Bae, K., & Kang, S.S. (2005). Antioxidant activity of anthraquinones and flavonoids from flower of *Reynoutria sachalinensis*. *Archives of Pharmacol Research*, 28, 22-27. <https://doi.org/10.1007/BF02975130>
36. Zhang, Y., Cai, P., Cheng, G., & Zhang, Y. (2022). A brief review of phenolic compounds identified from plants: Their extraction, analysis, and biological activity. *Natural Product Communications*, 17(1), 1-14. <https://doi.org/10.1177/1934578X211069721>

Авторы:

Татьяна Анатольевна Кроль, к.с.-х.н., в.н.с. лаборатории геномики и биохимии лекарственных растений, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», tatianakroll1@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4642-651X
SPIN: 1620-2290

Дмитрий Николаевич Балеев, к.с.-х.н., в.н.с. лаборатории атомарно-молекулярной биорегуляции и селекции, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» dbaleev@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1228-0594
SPIN: 5487-2926

Владимир Ионович Осипов, д.б.н., г.н.с. лаборатории атомарно-молекулярной биорегуляции и селекции, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» ossipov@utu.fi
ORCID: 0000-0002-8383-9965
SPIN: 8784-6445

Authors details:

Tatiana Krol, PhD in Agriculture, leading researcher of All-Russian scientific research Institute of medicinal and aromatic plants (VILAR), tatianakroll1@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4642-651X
SPIN: 1620-2290

Dmitriy Baleev, PhD in Agriculture, leading researcher of All-Russian scientific research Institute of medicinal and aromatic plants (VILAR), dbaleev@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1228-0594
SPIN: 5487-2926

Vladimir Ossipov, Dr. Sc., chief researcher of All-Russian scientific research Institute of medicinal and aromatic plants (VILAR), ossipov@utu.fi
ORCID: 0000-0002-8383-9965
SPIN: 8784-6445

Отказ от ответственности: заявления, мнения и данные, содержащиеся в публикации, принадлежат исключительно авторам и соавторам. ФГБНУ ВНИИСПК и редакция журнала снимают с себя ответственность за любой ущерб людям и/или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.

УДК 634.10: 631.524.85: 581.1.032

Оценка степени повреждения побегов краснолистных и зеленолистных сортов яблони морозом с использованием системы визуализации флуоресцентных изображений их срезов

А.Н. Юшков¹ , Н.В. Борzych¹

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», 393770, ул. Мичурина, 30, г. Мичуринск, Тамбовская область, Россия, info@fnc-mich.ru

Аннотация

При диагностике уровня зимостойкости плодовых растений общепринят метод прямого лабораторного промораживания. Степень повреждения тканей при этом оценивается визуально, по степени их побурения. Оценка краснолистных форм этим методом затруднена, т.к. содержащийся в побегах антоциан маскирует побурение поврежденных тканей. Большую популярность в физиологических исследованиях по оценке функционального состояния растений получил метод визуализации флуоресценции хлорофилла, зарекомендовавший себя как надежный инструмент выявления реакции растений на изменения окружающей среды, в том числе на холодовой стресс. В этой связи целью исследований являлась оптимизация способа оценки повреждений после искусственного промораживания по уровню угнетения фотосинтетической активности тканей однолетних побегов. Работа выполнена на базе Селекционно-генетического центра ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», расположенного в г. Мичуринске Тамбовской области в 2021...2023 годах. Исследования проведены на зеленолистных (Антоновка обыкновенная, Вымпел, Рашида) и краснолистных (Ola, Royalty, 54-118) формах яблони с различной степенью зимостойкости. Методом искусственного промораживания была проведена оценка устойчивости исходных форм яблони по максимальной устойчивости в середине зимы. Параллельно оценивали степень повреждения побегов по флуоресцентным изображениям срезов однолетних побегов, сформированных на основе визуализации квантового выхода нефотохимического тушения. Установлено, что повреждение тканей побега оказывает существенное влияние на параметры флуоресценции хлорофилла. Предложен способ, позволяющий более объективно по сравнению с глазомерной оценкой определять уровень зимостойкости сортов, что особенно актуально для краснолистных генотипов яблони.

Ключевые слова: яблоня, сорта, зимостойкость, флуоресценция хлорофилла, искусственное промораживание, нефотохимическое тушение

The assessment of the degree of frost damage in shoots of red-leaved and green-leaved apple cultivars using a fluorescence imaging system of their cross-sections

A.N. Yushkov¹ , N.V. Borzykh¹

¹I.V. Michurin Federal Scientific Center, 393770, ul. Michurina, 30, Michurinsk, Tambov region, Russia, info@fnc-mich.ru

Abstract

When diagnosing the level of winter hardiness of fruit plants, the method of direct laboratory freezing is generally accepted. The degree of tissue damage is assessed visually according to the degree of browning. The assessment of red-leaved forms by this method is difficult, because the anthocyanin contained in the shoots disguises the browning of damaged tissues. The method of chlorophyll fluorescence visualization, which has proven itself as a reliable tool for detecting plant

reactions to environmental changes, including cold stress, has gained great popularity in physiological studies to assess the functional state of plants. In this regard, the aim of the research was to optimize the method of assessing damage after artificial freezing by the level of inhibition of photosynthetic activity of tissues of annual shoots. The work was carried out on the basis of the Breeding and Genetic Center of the I.V. Michurin Federal Research Center, located in Michurinsk, Tambov region in 2021—2023. The study was carried out on green-leaved (Antonovka Obyknovennaya, Vympel, Rashida) and red-leaved (Ola, Royalty, 54-118) forms of apple trees with varying degrees of winter hardiness. By the method of artificial freezing, the stability of the initial apple forms was assessed for maximum stability in the middle of winter. Simultaneously, the degree of shoot damage was assessed based on fluorescent images of cross-sections of one-year-old shoots formed through visualization of the quantum yield of non-photochemical quenching. It was found that damage to the shoot tissues had a significant effect on the parameters of chlorophyll fluorescence. A method is proposed that makes it possible to determine the level of winter hardiness of apple cultivars more objectively than an eye-measuring assessment, which is especially important for red-leaved genotypes of apple trees.

Key words: apple, cultivars, winter hardiness, chlorophyll fluorescence, artificial freezing, non-photochemical quenching

Введение

Неблагоприятные условия в период перезимовки – один из главных факторов, лимитирующих распространение, продуктивность и долговечность сортов яблони в средней зоне садоводства РФ. Сильные морозы, резкие снижения температуры, особенно после оттепелей, наносят серьезный урон насаждениям плодовых растений. Поэтому подтвержденная зимостойкость – один из ключевых параметров для успешной интеграции нового сорта в технологическую схему производственного процесса. В связи с невозможностью прогнозирования наступления пороговых значений повреждающих факторов и множественностью потенциальных факторов повреждения при диагностике уровня зимостойкости общепринят метод прямого лабораторного промораживания (Тюрина и др., 2002; Кичина, 2011, Ожерельева и др., 2019). Этот метод дает возможность оперативно получить информацию о зимостойкости генотипов по основным ее компонентам. Степень устойчивости тканей при этом оценивается визуально, по степени их побурения после искусственного промораживания и отращивания. При этом глазомерная оценка зеленолистных сортов яблони обычно затруднений не вызывает, но при изучении краснолистных форм, в побегах которых содержится антоциан, маскирующий побурение поврежденных тканей, возникают определенные сложности. Трудно определить, является ли буровато-красный цвет древесины побега следствием воздействия низких температур или же эта окраска характерна для него изначально. Указанная проблема особенно важна в селекции декоративных форм при оценке большого количества гибридов. Поэтому представляется актуальным поиск новых подходов по определению степени повреждения тканей побега морозом.

К настоящему времени большую популярность в физиологических исследованиях по оценке функционального состояния растений получил метод визуализации флуоресценции хлорофилла, зарекомендовавший себя как надежный инструмент выявления реакции растений на изменения окружающей среды (Oxborough, 2004; Woo et al., 2008; Gorbe, Calatayud, 2012; Murchie, Lawson, 2013; Chen et al., 2014; da Silva, 2016; Yao et al., 2018). Данный метод сыграл как важную роль в понимании фундаментальных механизмов фотосинтеза, так и в изучении прикладных его аспектов. Обычно в качестве объекта таких исследований используют листья. Однако в ряде работ отечественных исследователей

(Волгушева и др., 2009; Орехов, Козлов, 2010; Орехов, Калабин, 2013) показана перспективность выявления экологической пластичности хвойных и лиственных пород по флуоресцентным характеристикам одревесневших тканей. Отмечено наличие взаимосвязи между функционированием фотосинтетического аппарата в покое и амплитудно-кинетической характеристикой индукции флуоресценции хлорофилла (Соловченко и др., 2022). В наших исследованиях, проведенных ранее, установлено достоверное снижение фотосинтетической активности в хлорофилл содержащих тканях побегов (максимальный квантовый выход на 14,9...64,4%; скорость электронного транспорта на 3,0...98,0%) у замороженных побегов яблони и груши (Юшков и др., 2012).

В этой связи целью наших исследований являлась оптимизация способа оценки повреждений после искусственного промораживания по уровню угнетения фотосинтетической активности тканей однолетних побегов.

Материалы и методика

Работа выполнена в 2021...2023 годах на базе Селекционно-генетического центра ФГБНУ ФНЦ им. И.В. Мичурина, расположенного в г. Мичуринске Тамбовской области. Исследования проводились на трех зеленолистных (Антоновка обыкновенная, Вымпел, Рашид) и трех краснолистных (Ola, Royalty, 54-118) формах яблони, существенно различающихся по зимостойкости. Изучение устойчивости указанных генотипов к морозу проводилось методом прямого лабораторного промораживания, предложенным М.М. Тюриной, Г.А. Гоголевой (1978), М.М. Тюриной с сотрудниками (2002). Температура промораживания – минус 40°C (второй компонент зимостойкости). Стандартную закалку побегов проводили в климатической камере MLR-350 Sanyo, потенциал зимостойкости определялся в климатической камере тепла и холода CM-60/100-250TX. Уровень повреждений оценивали анатомическим методом по степени естественного побурения тканей с учетом площади повреждений и их интенсивности согласно общепринятой балльной шкале: 0 баллов – признаки повреждения отсутствуют, 5 баллов – ткань полностью погибла. Параллельно с глазомерной оценкой повреждений проводилась диагностика фотосинтетической активности срезов однолетних побегов до и после промораживания. Как и в варианте с глазомерной оценкой по методике М.М. Тюриной, Г.А. Гоголевой (1978) оценивали по пять побегов одного сорта, при этом на каждом побеге выполняли измерения оптических характеристик на трех срезах (верхняя, средняя и нижняя часть побега).

Флуоресцентные исследования осуществляли с помощью системы визуализации флуоресцентных изображений IMAGING-PAM-series и прикладной программы ImagingWin (HeinzWalzGmbH). Использовался метод импульсной амплитудно-модулированной флуориметрии, подробно описанный U. Schreiber (2004). Объекты подвергали воздействию серии насыщающих импульсов (12 импульсов по 60 мс, длительностью 720 мс, интенсивностью 2700 мкмоль/м²с, интервал между вспышками 20 с). Параметры измерительного света – 0,5 мкмоль/м²с, 450 нм, 1 Гц.

Оценку проводили по параметру «квантовый выход нефотохимического тушения флуоресценции», так как в исследованиях, проведенных нами ранее, была подтверждена информативность этого показателя при оценке засухоустойчивости (Юшков и др., 2023).

Результаты и их обсуждение

Методом искусственного промораживания была проведена оценка устойчивости исходных форм яблони по максимальной устойчивости в середине зимы. Кора и камбий в закаленном состоянии обладают высокой устойчивостью и не повреждались у всех изученных форм. Выявлены существенные различия по устойчивости древесины (таблица 1).

Таблица 1 – Степень повреждения тканей исходных форм яблони после искусственного промораживания при температуре минус 40°C

Сорт, форма	Кора	Камбий	Древесина	Сердцевина	Почки	Средний балл повреждения
54-118	0	0	1,8	1,6	1,1	0,85
Антоновка обыкновенная	0	0	0,5	0,2	0,6	0,18
Вымпел	0	0	2,0	0,7	1,7	0,68
Ola (Ола)	0	0	1,7	1,2	1,1	0,73
Рашида	0	0	2,7	1,9	3,2	1,20
Royalty (Роялти)	0	0	1,8	1,6	1,9	0,85
HCP _{0,05}	0	0	0,11	0,09	0,15	0,10

Примечание: статистическая обработка проводилась в соответствии с методикой М.М. Тюриной, Г.А. Гоголевой (1978)

Из данных, представленных в таблице 1 следует, что наибольшей устойчивостью древесины характеризовалась Антоновка обыкновенная – отмечены небольшие повреждения до 0,5 балла). Почки у этого сорта также повреждались незначительно (0,6 балла). Меньшей морозоустойчивостью тканей и почек характеризовались сорта и формы Вымпел, Ola, Royalty, 54-118 (подмерзание древесины 1,7...2,0 балла, почек – 1,7...2,0 балла). Максимальные повреждения отмечены у киргизского сорта Рашида (подмерзание древесины 2,7 балла, почек – 3,2 балла), что представляется вполне закономерным, учитывая его происхождение от незимостойких сортов (Апорт Александр × Jonathan).

Как уже отмечалось, наряду с визуальной оценкой повреждений по их площади и интенсивности побурения тканей проводилось изучение флуоресцентной активности срезов однолетних побегов в сравнении с контрольным вариантом (рисунок 1).

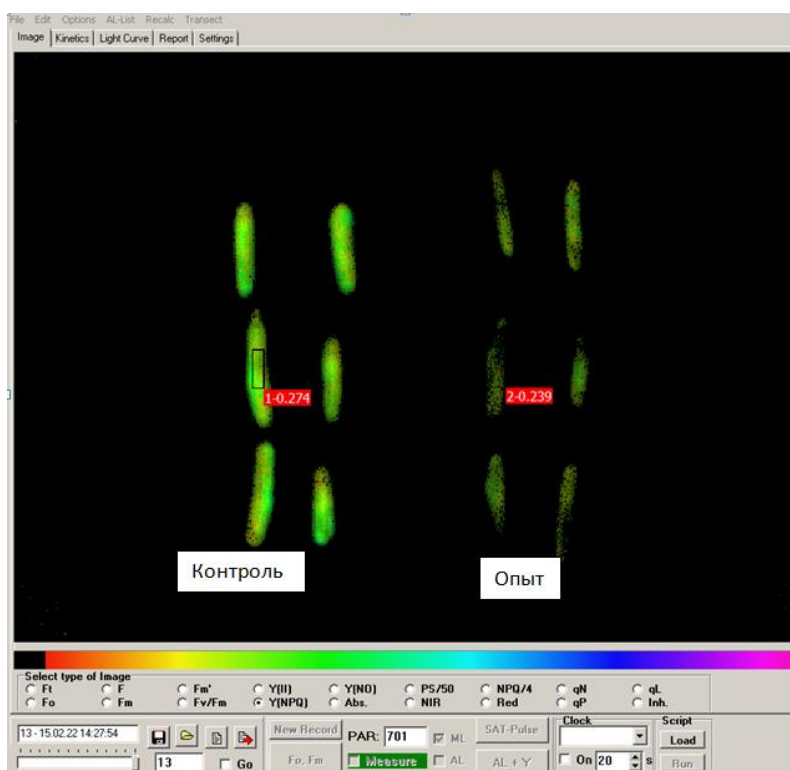


Рисунок 1 – Визуализация квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции яблони Royalty, (метод «световой кривой», после искусственного промораживания при температуре минус 40°C, срезы однолетних побегов, часть выборки)

В результате проведенных исследований установлено, что повреждение тканей побега оказывает существенное влияние на параметры флуоресценции хлорофилла. Так, максимальное снижение квантового выхода, регулируемого нефотохимического тушения флуоресценции отмечено у наиболее чувствительного к морозу сорта из изученных (Рашида), минимальное – у самого зимостойкого (Антоновка обыкновенная) (рисунок 2).

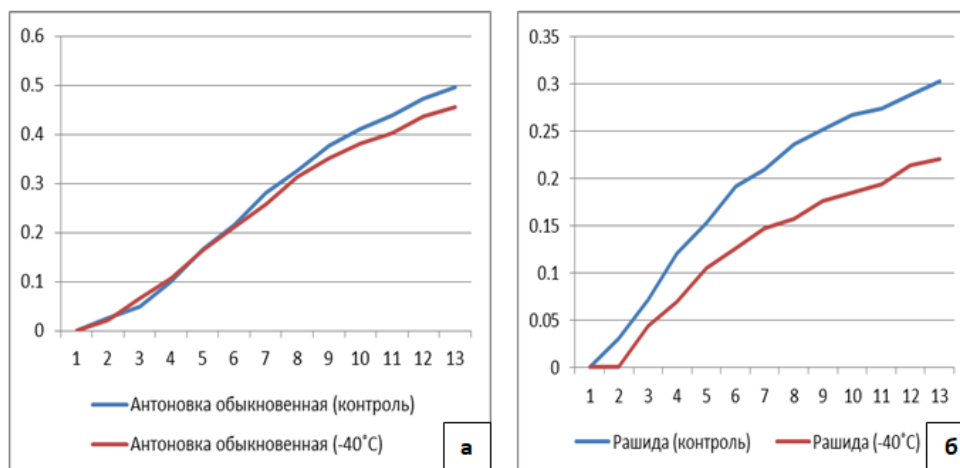


Рисунок 2 – Снижение квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции у зимостойкого (а) и незимостойкого (б) сортов яблони после промораживания при температуре минус 40°C (горизонтальная ось – количество насыщающих вспышек, вертикальная уровень квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции, усредненные данные)

На рисунке 2 представлены кривые, характеризующие динамику квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции фотосистемы II для контрольных и промороженных однолетних побегов. В варианте «а» отсутствие значимых различий между кривыми свидетельствует о минимальном влиянии мороза на фотосинтезирующие ткани, в варианте «б» наглядно видно снижение фотосинтетической активности после воздействия этого повреждающего фактора на побеги незимостойкого сорта.

Для количественной оценки степени снижения квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции поврежденных морозом побегов по сравнению с контролем был проведен кластерный анализ и попарно рассчитаны евклидовы расстояния между световыми кривыми (контрольными и опытными). Это позволило выявить степень угнетения фотосинтетической активности в хлорофиллсодержащих тканях побегов и отразить ее в условных единицах. Данные, полученные на основе сопоставления ковариационной матрицы с результатами промораживания, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние степени повреждения морозом однолетних побегов яблони на квантовый выход нефотохимического тушения флуоресценции

Сорт, форма	Повреждение древесины	Средний балл повреждений по тканям	Евклидово расстояние
54-118	1,8	0,85	0,46
Антоновка обыкновенная	0,5	0,18	0,21
Вымпел	2,0	0,68	0,36
Ola	1,7	0,73	0,61
Рашида	2,7	1,20	2,12
Royalty	1,8	0,85	0,53

Примечание: Евклидово расстояние между «световыми кривыми» контрольного и опытного вариантов, сформированных на основе визуализации квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции

Из данных таблицы 2 видно, что более поврежденным морозом сортам соответствует и больший показатель расстояния, т.е. степень угнетения активности фотосинтетического аппарата. Для подтверждения взаимосвязи между степенью повреждения однолетних побегов и рассчитанным показателем евклидова расстояния были определены коэффициенты ранговой корреляции (таблица 3). Отмечены высокие и статистически достоверные ($P < 0,05$) значения коэффициентов корреляции между квантовым выходом, уровнем повреждения древесины (0,95) и средним баллом повреждения тканей (0,82).

Таблица 3 – Матрица корреляций зависимости между степенью повреждения побегов яблони и квантовым выходом нефотохимического тушения ($Y(NPQ)$) после искусственного промораживания (II компонент зимостойкости, минус 40°C)

	Повреждение древесины	Средний балл повреждений по тканям	$Y(NPQ)$
Повреждение древесины	1		
Средний балл повреждений по тканям	0,87*	1	
NPQ	0,95*	0,82*	1

Примечания: * – достоверно при уровне значимости 0,05 (критическое значение $p_{0,05} = 0,47$)

Таким образом, проведенные исследования показали возможность успешной оценки повреждений побегов яблони морозом по изменению их флуоресцентных характеристик. При этом очевидна необходимость дальнейших исследований для более подробного изучения вопроса взаимосвязи между повреждением тех или иных тканей и показателями флуоресценции хлорофилла.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что повреждение тканей побега оказывает существенное влияние на параметры флуоресценции хлорофилла. Выявлена степень повреждения ряда зеленолистных и краснолистных сортов и форм яблони в условиях искусственного промораживания по флуоресцентным изображениям срезов однолетних побегов, сформированных на основе визуализации квантового выхода нефотохимического тушения. Предложенный способ позволяет более объективно по сравнению с глазомерной оценкой определять уровень зимостойкости сортов и форм, что особенно актуально для краснолистных генотипов яблони.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «FGSU-2022-0001 Провести скрининг генетических ресурсов культурных растений, диких видов и их производных с целью формирования исследовательско-селекционных коллекций садовых культур. Выявить вариативность экономически важных и селекционно-значимых признаков, выделить перспективные для дальнейшего использования генотипы».

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Волгушева А.А., Яковлева О.В., Конюхов И.В., Ризниченко Г.Ю., Кренделева Т.Е., Гун-Аажав Т., Борданова О.С., Баттулга С., Рубин А.Б. Изучение параметров флуоресценции хлорофилла хлоропластов коры деревьев тополя, растущих в разных районах города Улан-Батор // Математика. Компьютер. Образование: материалы конференции. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2009. 2. 180-197. <https://mce.su/archive/doc60858/doc.pdf>

2. Кичина В.В. Принципы улучшения садовых растений. М., 2011. 528. <https://www.elibrary.ru/qcnxzp>
3. Ожерельева З.Е., Галашева А.М., Красова Н.Г. Изучение зимостойкости яблони в контролируемых условиях // Современное садоводство. 2019. 4. 33-41 <https://www.elibrary.ru/ylrmgi>
4. Орехов Д.И., Козлов Ю.П. Изучение параметров флуоресценции хлорофилла в листьях древесных растений, растущих в условиях г. Москвы // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2010. №4. 23-28. <https://www.elibrary.ru/mvuodt>
5. Орехов Д.И., Калабин Г.А. Выбор флуоресцентного фитоиндикатора техногенных загрязнений // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. 4. 51-59. <https://www.elibrary.ru/rleaij>
6. Соловченко А.Е., Ткачев Е.Н., Цуканова Е.М., Шурыгин Б.М., Хрущев С.С., Конюхов И.В., Птушенко В.В. Зимний покой древесных растений и его неинвазивный мониторинг // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. 2022. 77, 2. 51-64. <https://www.elibrary.ru/qrjkhv>
7. Тюрина М.М., Гоголева Г.А. Ускоренная оценка зимостойкости плодовых и ягодных растений. Методические рекомендации. М., 1978. 38.
8. Тюрина М.М., Гоголева Г.А., Ефимова Н.В., Голоулина Л.К., Морозова Н. Г., Эчеди Й.Й., Волков Ф.А., Арсентьев А.П., Матяш Н.А. Определение устойчивости плодовых и ягодных культур к стрессорам холодного времени года в полевых и контролируемых условиях. М.: ВСТИСП, 2002. 120.
9. Юшков А.Н., Чивилёв В.В., Борzych Н.В., Земисов А.С. Оценка степени повреждения плодовых растений морозом с использованием метода определения интенсивности флуоресценции хлорофилла // Плодоводство и ягодоводство России. 2012. 34. 406-411. <https://www.elibrary.ru/paeqtf>
10. Юшков А.Н., Борzych Н.В., Богданов Р.Е. Оценка засухоустойчивости сортов сливы домашней методом индукции флуоресценции хлорофилла // Journal of Agriculture and Environment. 2023. 3. 4. <https://doi.org/10.23649/jae.2023.31.3.004>
11. Chen D., Neumann K., Friedel S., Kilian B., Chen M., Altmann T., Klukas C. Dissecting the phenotypic components of crop plant growth and drought responses based on high-throughput image analysis // The Plant Cell. 2014. 26, 12. 4636-4655. <https://doi.org/10.1105/tpc.114.129601>
12. da Silva J.M. Monitoring photosynthesis by in vivo chlorophyll fluorescence: application to high-throughput plant phenotyping // Applied Photosynthesis – New Progress. InTechOpen, 2016 <http://dx.doi.org/10.5772/62391>
13. Gorbe E., Calatayud A. Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: a review // Scientia Horticulturae. 2012. 138. 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.002>
14. Murchie E.H., Lawson T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications // Journal of Experimental Botany. 2013. 64, 13. 3983-3998. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert208>
15. Oxborough K., Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance // Journal of Experimental Botany. 2004. 55, 400. 1195-1205. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh145>
16. Schreiber, U. Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse method: an overview. // Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration / Eds. G.C. Papageorgiou, Govindjee. Springer. 2004. 19. 279-319. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_11

17. Woo N.S., Badger M.R., Pogson B.J. A rapid, non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence // *Plant Methods*. 2008. 4. 27. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-4-27>
18. Yao J., Sun D., Cen H., Xu H., Weng H., Yuan F., He Y. Phenotyping of arabidopsis drought stress response using kinetic chlorophyll fluorescence and multicolor fluorescence imaging // *Frontiers in Plant Science*. 2018. 9. 603. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00603>

References

1. Volgusheva, A.A., Yakovleva, O.V., Konyukhov, I.V., Riznichenko, G.Yu., Krendeleva, T.E., Gun-Aazhav T., Bordanova O.S., Battulga S., & Rubin A.B. (2009). Analysis of the chlorophyll fluorescence parameters in the bark chloroplasts of poplar from different areas of Ulan Bator. In *Mathematics. Computer. Education: Proc. Sci. Conf.* (Vol. 2, pp. 180-197). Regular and chaotic dynamics. <https://mce.su/archive/doc60858/doc.pdf>. (In Russian, English abstract)
2. Kichina, V.V. (2011). *Principles of improvement of horticultural plants*. Moscow. <https://www.elibrary.ru/qcnxzp>. (In Russian).
3. Ozherelieva, Z.E., Galasheva, A.M., & Krasova, N.G. (2019). Study of apple winter hardiness under controlled conditions. *Contemporary horticulture*, 4, 33-41. <https://www.elibrary.ru/ylrmgi>. (In Russian, English abstract).
4. Orekhov, D.I., & Kozlov, Y.P. (2010). Study parameters of fluorescence chlorophyll in leaves of tree plants in different environmental conditions of Moscow. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 4, 23-28. <https://www.elibrary.ru/mvuodt>. (In Russian, English abstract).
5. Orekhov, D.I., & Kalabin, G.A. (2013). Selection of fluorescence phytoindicator of industrial pollution. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 4, 51-59. <https://www.elibrary.ru/rleaij>. (In Russian, English abstract).
6. Solovchenko, A.E., Tkachev, E.N., Tsukanova, E.M., Shurygin, B.M., Khrushchev, S.S., Konyukhov, I.V., & Ptushenko, V.V. (2022). Winter dormancy of woody plants and its non-invasive monitoring. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 16. Biologiya*, 77(2), 51-64. <https://www.elibrary.ru/qrijkhv>. (In Russian, English abstract).
7. Tyurina, M.M., & Gogoleva, G.A. (1978). *Accelerated assessment of winter hardiness of fruit and berry plants*. (In Russian).
8. Tyurina, M.M., Gogoleva, G.A., Efimova, N.V., Goloulina, L.K., Morozova, N.G., Echedi, Y., Volkov, F.A., Arsentiev, A.P., & Matyash, N.A. (2002). *Determination of the resistance of fruit and berry crops to cold season stressors in field and controlled conditions*. VSTISP. (In Russian).
9. Yushkov, A.N., Chivilev, V.V., Borzykh, N.V., & Zemisov, A.S. (2012). Assessment of the degree of frost damage to fruit plants using the method for determining the chlorophyll fluorescence intensity. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 34, 406-411. <https://www.elibrary.ru/paeqtf>. (In Russian, English abstract).
10. Yushkov, A.N., Borzykh, N.V., & Bogdanov, R.E. (2023). An evaluation of drought resistance of varieties of common plum by the method of chlorophyll fluorescence induction. *Journal of Agriculture and Environment*, 3, 4. <https://doi.org/10.23649/jae.2023.31.3.004>. (In Russian, English abstract).
11. Chen, D., Neumann, K., Friede, I. S., Kilian, B., Chen, M., Altmann, T., & Klukas, C. (2014). Dissecting the phenotypic components of crop plant growth and drought responses based on high-throughput image analysis. *The Plant Cell*, 26(12), 4636-4655. <https://doi.org/10.1105/tpc.114.129601>
12. da Silva, J.M. (2016). Monitoring photosynthesis by in vivo chlorophyll fluorescence: application to high-throughput plant phenotyping. In *Applied Photosynthesis – New Progress*. InTechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/62391>

13. Gorbe, E., & Calatayud, A. (2012). Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: a review. *Scientia Horticulturae*, 138, 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.002>
14. Murchie, E.H., & Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, 64(13), 3983-3998. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert208>
15. Oxborough, K. (2004). Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. *Journal of Experimental Botany*, 55(400), 1195-1205. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh145>
16. Schreiber, U. (2004). Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse method: an overview. In: Papageorgiou, G.C., Govindjee (Eds.) *Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration* (Vol. 19, pp. 279-319). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_11
17. Woo, N.S., Badger, M.R., & Pogson, B.J. (2008). A rapid, non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence. *Plant Methods*, 4, 27. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-4-27>
18. Yao, J., Sun, D., Cen, H., Xu, H., Weng, H., Yuan, F., & He, Y. (2018). Phenotyping of arabidopsis drought stress response using kinetic chlorophyll fluorescence and multicolor fluorescence imaging. *Frontiers in Plant Science*, 9, 603. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00603>

Авторы:

Андрей Николаевич Юшков, д.с.-х.н., зав. лабораторией физиологии устойчивости и геномных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», a89050489146@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2180-0045
SPIN: 2987-1191

Надежда Вячеславовна Борzych, к.с.-х.н., в.н.с. лаборатории физиологии устойчивости и геномных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», n-bor@list.ru
ORCID: 0000-0003-4938-2743
SPIN: 1948-6372

Authors details:

Andrey Yushkov, D.Sc. (Agriculture), Head of the Laboratory of Physiology of Resistance and Genomic Technologies in I.V. Michurin Federal Research Center, a89050489146@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2180-0045
SPIN: 2987-1191

Nadezhda Borzykh, PhD in Agriculture, Leading Researcher of Physiology of Resistance and Genomic Technologies in I.V. Michurin Federal Research Center, n-bor@list.ru
ORCID: 0000-0003-4938-2743
SPIN: 1948-6372

Отказ от ответственности: заявления, мнения и данные, содержащиеся в публикации, принадлежат исключительно авторам и соавторам. ФГБНУ ВНИИСПК и редакция журнала снимают с себя ответственность за любой ущерб людям и/или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.