

ISSN 2312-6701 (online)

СОВРЕМЕННОЕ САДОВОДСТВО – CONTEMPORARY HORTICULTURE

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

2024, №3



АРАПКА (*Ribes nigrum* L.)

Князев С.Д., Николаев А.В., Огольцова Т.П.

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, 2024

СОВРЕМЕННОЕ САДОВОДСТВО – CONTEMPORARY HORTICULTURE

2024, № 3

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»

Назирова Хикматилло 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****2024, Issue 3**

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

- Гузеева А.А., Капитова И.А., Сазонов Ф.Ф.** Сравнительный анализ способов выделения ДНК из замороженных листьев смородины черной 6
- Гуляева А.А., Берлова Т.Н., Галькова А.А., Макаркина М.А., Ефремов И.Н.** Наставница – новый высокоурожайный перспективный сорт вишни селекции ВНИИСПК 16
- Арифова З.И.** Оценка сортов и отборных форм малины *Rubus idaeus* L. по хозяйственно ценным признакам для селекционного процесса 25

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА

- Бурак Л.Ч., Овсянникова Н.Л.** Современные способы хранения и упаковки земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) (обзор) 34

ДЕКОРАТИВНОЕ САДОВОДСТВО

- Найманова Е.Д., Трусов Н.А., Яценко И.О., Михеева С.В., Ноздрина Т.Д.** Всхожесть семян *Acer saccharum* Marshall в условиях Московского региона и их морфологическое строение 55

CONTENTS

GENETICS, BREEDING, STUDY OF VARIETIES

- Guzeeva A.A., Kapitova I.A., Sazonov F.F.** Comparative analysis of DNA extraction methods from frozen black currant leaves 6
- Gulyaeva A.A., Berlova T.N., Galkova A.A., Makarkina M.A., Efremov I.N.** 'Nastavnit'sa' – a new high-yielding promising sour cherry variety bred by VNIISPK 16
- Arifova Z.I.** Evaluation of varieties and selected forms of raspberry *Rubus idaeus* L. according to economically valuable characteristics for the breeding process 25

STORAGE AND PROCESSING

- Burak L.Ch., Ovsyannikova N.L.** Modern methods of storage and packaging of garden strawberries (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) (review) 34

ORNAMENTAL HORTICULTURE

- Naymanova E.D., Trusov N.A., Yatsenko I.O., Mikheeva S.V., Nozdrina T.D.** Seed germination rate of *Acer saccharum* Marshall in Moscow region and their morphological structure 55

УДК 634.721:577.21

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ДНК ИЗ ЗАМОРОЖЕННЫХ ЛИСТЬЕВ СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ

А.А. Гузеева¹ , И.А. Капитова¹, Ф.Ф. Сазонов¹

¹ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», 115598, Россия, г. Москва, ул. Загорьевская, д. 4, fncsad@fncsad.ru

Аннотация

В статье представлены результаты сравнительного анализа различных способов выделения ДНК из замороженных листьев смородины чёрной для оценки генетического разнообразия сортов с помощью SSR-маркеров. В задачи исследования входило подобрать и оценить эффективность различных способов выделения ДНК для растительного материала с высоким содержанием полифенольных соединений, используя, в том числе готовые коммерческие наборы, а по результатам оценки качества выделенной ДНК и ПЦР анализа при необходимости, провести модификацию метода. В результате исследований была выделена ДНК из замороженных листьев 12 сортов смородины чёрной селекции ФНЦ Садоводства различными способами выделения ДНК на основе детергента СТАВ: по D. Puchooa для растительного материала с высоким содержанием полифенольных соединений с модификациями, способом выделения ДНК из косточковых культур в присутствии СТАВ с модификациями, используемым в ФНЦ Садоводства, коммерческими наборами для выделения растительной ДНК «СОРБ-ГМО-Б» (ЗАО Синтол) и «Plant DNA Isolation Kit» (FOREGENE)). Полученная ДНК исследовалась на спектрофотометре и с помощью ПЦР анализа. В результате оценки качества выделенной ДНК удалось определить наиболее эффективные и нетрудоемкие способы выделения ДНК из замороженных листьев смородины чёрной. Способ выделения ДНК, используемый в ФНЦ Садоводства, показал высокий выход ДНК и достаточную для проведения ПЦР анализа чистоту. Результаты оценки способов выделения ДНК из замороженных листьев смородины чёрной коммерческими наборами показали небольшой выход ДНК (до 30 нг/мл), сравнительно высокую чистоту выделенного образца, но при этом, оказались менее трудоемкими, чем два предыдущих метода. ПЦР анализ с идентификацией SSR-маркеров позволил определить наиболее эффективный способ выделения ДНК из замороженных листьев смородины черной – способ, используемый в ФНЦ Садоводства, который является рентабельным в использовании, благодаря экономии реактивов, а за счёт большого выхода ДНК позволяет проводить оценку генетического разнообразия для большего количества локусов.

Ключевые слова: ДНК, СТАВ, смородина черная, ПЦР

COMPARATIVE ANALYSIS OF DNA EXTRACTION METHODS FROM FROZEN BLACK CURRANT LEAVES

A.A. Guzeeva¹ , I.A. Kapitova¹, F.F. Sazonov¹

¹Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, 115598, Russia Federation, Moscow, Zagor'evskaya st., 4, fncsad@fncsad.ru

Abstract

The article presents the results of a comparative analysis of various methods of DNA extraction from frozen black currant leaves to assess the genetic diversity of varieties using SSR markers.

The objectives of the study included selecting and assessing the effectiveness of various methods for extracting DNA for plant material with a high content of polyphenolic compounds, including using ready-made commercial kits, and, based on the results of assessing the quality of the extracted DNA and PCR analysis, modifying the method if necessary. As a result of the research, DNA was isolated from frozen leaves of 12 blackcurrant varieties bred by the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center of Horticulture using various methods of DNA isolation based on the CTAB detergent: according to D. Puchooa for plant material with a high content of polyphenolic compounds with modifications, a method for DNA isolation from stone fruit crops in the presence of CTAB with modifications used at the Federal Scientific Center of Horticulture, commercial kits for the isolation of plant DNA "SORB-GMO-B" (ZAO Sintol) and "Plant DNA Isolation Kit" (FOREGENE). The obtained DNA was analyzed using a spectrophotometer and PCR analysis. As a result of assessing the quality of the isolated DNA, it was possible to determine the most effective and labor-saving methods for isolating DNA from frozen black currant leaves. The DNA isolation method used in the Federal Scientific Center of Horticulture showed a high DNA yield and sufficient purity for PCR analysis. The results of assessing the methods for isolating DNA from frozen black currant leaves using commercial kits showed a low DNA yield (up to 30 ng/ml), a relatively high purity of the isolated sample, but at the same time, they were less labor-intensive than the two previous methods. PCR analysis with the identification of SSR markers made it possible to determine the most effective method for isolating DNA from frozen black currant leaves – the method used in the Federal Scientific Center of Horticulture, which is cost-effective in use due to the saving of reagents, and due to the high DNA yield, it allows assessing the genetic diversity for a larger number of loci.

Key words: DNA, CTAB, black currant, PCR

Введение

Смородина чёрная (*Ribes nigrum* L.) – урожайная и доходная культура, которая занимает особое место среди широко распространенных ягодных культур садов России. Популярность её объясняется витаминной ценностью плодов, неприхотливостью к условиям возделывания, высокой и стабильной продуктивностью (Жидёхина и др., 2007; Князев и др., 2016; Сазонова, 2017). Урожайность современных сортов смородины чёрной отечественной селекции составляет от 10,5 до 12,5 т/га, максимально до 15,0 т/га (Евдокименко и др., 2022). Смородина чёрная является одним из лидеров среди ягодников по накоплению в плодах витамина С, для обеспечения суточной потребности в аскорбиновой кислоте достаточно всего 15...20 ягод смородины. Кроме аскорбиновой кислоты ягоды содержат каротин, сахара, витамины Р, В, пектиновые вещества, органические кислоты, антоцианы, соли калия, кальция, железа, магния, натрия, марганца и фосфора (Макаркина и др., 2017; Сазонова, 2021). Культивирование смородины чёрной представляет экономический интерес благодаря возможности механизации большинства агротехнических мероприятий при возделывании, включая уборку урожая (Князев и др., 2014; Сазонов, Даньшина, 2016; Panfilova et al., 2021).

Методы молекулярной селекции растений позволяют создавать принципиально новые сорта для решения проблем продовольственной безопасности, повышения уровня жизни и здоровья населения (Куликов и др., 2021). На сегодняшний день для ускорения селекционного процесса большое значение имеют ДНК-технологии для защиты авторских прав оригинаторов сортов. Поэтому, для оценки генетического разнообразия, так важно использовать наиболее эффективные молекулярно-генетические методы, в том числе и метод выделения ДНК. Выделение ДНК является первым этапом оценки генетического разнообразия, от качества проведения которого зависит вся результативность дальнейших

исследований (получение и разделение ПЦР фрагментов по длинам). Разрушение клеточной мембраны в классических методах выделения ДНК обычно проводят механическим путем в водных растворах в присутствии детергентов и хелатирующих агентов, подавляющих нуклеазную активность. Удаление белковых примесей осуществляют в ходе экстракции фенолом или с помощью депротеинизирующего препарата с протеиназой. Процедура последующей очистки весьма разнообразна и в большей степени зависит от целей эксперимента (Edwardsetal., 1991; Pomsetal., 2001; Пикунова и др., 2019).

С целью совершенствования метода выделения ДНК нами была проведена оценка эффективности различных способов экстракции ДНК из замороженных листьев смородины черной коллекции ФНЦ Садоводства для дальнейшей оценки генетического разнообразия с помощью SSR-маркеров. Установление уникальных генетических профилей смородины чёрной на сегодняшний день является актуальной задачей, решение которой позволит в дальнейшем проводить точную идентификацию сорта для его паспортизации. Для решения поставленных задач на первом этапе необходимо было определить наиболее эффективный способ выделения ДНК, осуществив подбор и сравнительный анализ различных вариантов выделения ДНК из замороженных листьев смородины чёрной и модифицировать их при необходимости.

Материалы и методы

Объектами исследования были 12 сортов смородины черной селекции ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Бармалей, Брянский Агат, Дебрянск, Миф, Чародей, Гамаюн, Стрелец, Вера, Кудесник, Фаворит, Каскад, Подарок Ветеранам). Представленные сорта относятся к наиболее перспективным для изучения их генетического разнообразия, так как обладают ценными хозяйственными признаками (зимостойкость, устойчивость к засухе, мучнистой росе, листовым пятнистостям, почковому клещу), но не изучены всесторонне (Сазонов, 2021). Отобранные листья смородины чёрной были заморожены на два месяца в кельвинаторе U535 Innovac температурой ниже минус 70°C. Для оценки эффективности способов выделения ДНК из замороженных листьев смородины черной были выбраны четыре различных способа выделения растительной ДНК из замороженных листьев по методике, предложенной D. Puchooa (2004) для растительного материала с высоким содержанием полифенольных соединений с модификациями; способ выделения ДНК из косточковых культур с модификациями, используемый в ФНЦ Садоводства; коммерческий набор для выделения растительной ДНК «СОРБ-ГМО-Б» (ЗАО Синтол); коммерческий набор для выделения растительной ДНК «Plant DNA Isolation Kit» (FOREGENE) (Наборы реагентов для выделения ДНК; Набор для выделения ДНК, FOREGENE, Китай).

На первом этапе были выделены образцы растительной ДНК из 12 сортов смородины чёрной в двух повторностях от каждого сорта четырьмя разными способами в количестве 96 проб с ДНК. Для выделения ДНК смородины во всех случаях брали по 100 мг замороженных листьев на каждую пробу. Выделение ДНК по D. Puchooa (2004) выполнялось в следующем порядке: измельчили пробы в присутствии лизирующего раствора (100mM Tris pH=8.0, 20mM EDTA pH=8.0, 2M NaCl, 2% поливинилпироллидон, 5% меркаптоэтанол, 2% СТАВ, 10 mM AcNH₄); после нагревания при 60°C осадили клеточный дербис с помощью хлороформа; отобрали и перенесли в верхнюю фазу в новую пробирку; повторно добавили хлороформ и повторили процедуру; осадили осадок с помощью изопропанола и слили жидкость; промыли осадок буфером TE, 75% этанолом, 10mM AcNH₄, а затем удалили жидкость; осадок подсушили до исчезновения блеска, затем растворили в TE; повторно осадили ДНК с помощью изопропанола и слили жидкость; повторили отмывку с 70% и 80% растворами этанола; просушили осадок и растворили в воде высокой степени очистки (mQ).

Способ выделения ДНК из косточковых культур с модификациями проводили в следующем порядке: гомогенизировали образцы замороженных листьев в лизирующем СТАВ-буфере (1М Трис, 0,5М ЭДТА, 5М NaCl, 2% ЦТАБ, 1,5% ПВП, 5% меркаптоэтанол); после инкубирования при 65°C в течение 60 минут, осадили клеточный дербис с помощью смеси хлороформа с изоамилового спирта (24 : 1); в отобранную и перенесенную в чистую пробирку надосадочную жидкость добавили чистый изопропиловый спирт охлаждённый до минус 20°C и оставили осаждаться при минус 20°C в течение 30...60 минут; осадили ДНК с помощью центрифугирования; провели многократную очистку с помощью 70% раствора этилового спирта и подсушили; растворили ДНК в дистиллированной автоклавированной воде.

Выделение ДНК двумя коммерческими наборами проводились в строгом соответствии с инструкцией к набору. Оценку эффективности выделения ДНК и её качества проводили вначале с помощью изменения концентрации ДНК на спектрофотометре BioSpectrometer Eppendorf fluorescence, а затем провели ПЦР-анализ для определения SSR-маркеров. Оценка результатов измерения на спектрофотометре проводилась по следующим параметрам: общее количество ДНК (нг/мл); отношение поглощения на длинах волн 260 и 280 нм ($A_{260}/280$) для оценки чистоты препарата оптимальный показатель – 1,8...1,9; отношение поглощения на длинах волн 260 и 230 нм ($A_{260}/230$), для оценки чистоты препарата оптимальный показатель около 1,8.

ПЦР-анализ проводился с помощью 12 пар специфичных праймеров к 12 SSR-маркеров (e1-021, g2-H21, g2-L17, e4-D03, g1-E03, g2-B20, g1-M07, e3-B02, e1-001, g1-K04, g2-J08, g2-G12) (Межнина, Урбанович 2017). Выполнен классический метод ПЦР с отдельной амплификацией с каждой парой праймеров на амплификаторе Gene Explorer (BIOER). Реакцию амплификации проводили в реакционной смеси объемом 20 мкл, содержащей 2,5 мкл 0,2 мМ dNTP; 2,5 мкл 10хПЦР буфер; 0,5 мкл 0,3Е Taq ДНК-полимераза; 2,5 мкл 25мМ $MgCl_2$, 1мкл 0,5 мкМ праймера и 100 нг геномной ДНК на реакцию, в термоциклере Gene Explorer (BIOER) в режиме: предварительная денатурация – 15 мин. при 94°C, 35 циклов повторяется: денатурация – 30 сек. при 94°C; отжиг праймеров – 45 сек. 50...56°C в зависимости от температуры плавления праймеров; синтез ДНК – 1 мин. при 72°C; элонгация – 5 мин. при 72°C.

Детекция ПЦР продуктов проводилась при помощи электрофореза в 2% агарозном геле в режиме постоянного напряжения 100 V.

Результаты и их обсуждение

Оценка выбранных способов выделения ДНК проводилась в три этапа. На первом этапе были выделены образцы растительной ДНК из 12 сортов чёрной смородины в двух повторностях от каждого сорта четырьмя разными способами. Повторно провели выделение ДНК способом по D. Puchooa и используемым в ФНЦ Садоводства способом выделения ДНК из косточковых культур с модификациями, позволяющими увеличить выход ДНК из смородины черной высокого качества. Оба апробированных способа выделения ДНК достаточно трудоёмки и занимают в среднем от 6 до 7 часов. На втором этапе все выделенные образцы были проанализированы на спектрофотометре. По результатам измерения концентрации выделенной растительной ДНК были отобраны образцы ДНК из нескольких повторов, наиболее высокого качества для дальнейшего ПЦР анализа (таблица 1).

После выделения растительной ДНК из листьев 12 сортов смородины чёрной различными методами полученные образцы ДНК были протестированы на пригодность к проведению ПЦР анализа. Оценка эффективности ПЦР проводилась посредством сопоставления полученных результатов ПЦР выделенной ДНК четырьмя указанными способами. ПЦР продукты

предварительно визуализировали на агарозном геле для подтверждения успешной амплификации нужных участков ДНК смородины черной (рисунок 1).

Таблица 1 – Результаты измерения концентрации ДНК в образцах смородины чёрной с вычислением поглощения на длинах волн 260/280 и 260/230 нм

Сорт	Способ выделения ДНК (по D. Puchooa, 2004)*			Способ выделения ДНК (используемый в ФНЦ Садоводства)*			Набор для выделения растительной ДНК «СОРБ-ГМО-Б» (ЗАО Синтол)			Набор для выделения растительной ДНК «Plant DNA Isolation Kit» (FOREGENE)		
	нг/мл	A260/A280	A260/A230	нг/мл	A260/A280	A260/A230	нг/мл	A260/A280	A260/A230	нг/мл	A260/A280	A260/A230
Бармалей	151,1	1,41	1,77	297,5	2,03	1,79	36,1	1,96	1,81	70,1	1,91	1,88
Брянский Агат	148,3	1,56	1,81	310,1	2,02	1,86	55,9	1,95	1,88	65,8	1,94	1,91
Дебрянск	170,6	1,62	1,85	384,9	1,99	1,89	44,2	2,08	1,91	76,5	2,08	1,82
Миф	210,2	1,76	1,56	567,9	1,93	1,86	52,3	1,97	1,93	33,1	1,96	1,81
Чародей	225,3	1,26	1,62	259,9	2,03	1,89	60,9	1,94	2,3	59,9	1,96	1,88
Гамаюн	162,4	1,78	1,73	326,4	2,01	1,92	93,5	2,01	1,84	44,2	2,13	1,90
Стрелец	136,6	1,92	1,79	335,3	1,99	1,91	40,9	2,01	1,88	67,6	1,97	1,84
Вера	159,6	1,59	2,61	297	2,02	1,86	55,5	2,06	1,92	72,9	2,03	1,79
Кудесник	125,8	1,88	1,46	239,1	1,93	1,94	39,6	1,96	1,84	46,4	2,06	1,87
Фаворит	110,3	2,01	2,52	173,0	2,07	1,94	73,6	1,99	1,93	58,1	1,96	1,88
Каскад	126,7	1,89	2,01	208,2	2,00	1,85	55,7	1,78	1,88	63,8	2,09	1,91
Подарок Ветеранам	134,1	1,72	1,86	189,4	1,99	1,87	56,0	1,82	1,97	48,6	1,97	1,79

Примечание: звездочкой отмечены методы выделения ДНК с модификацией

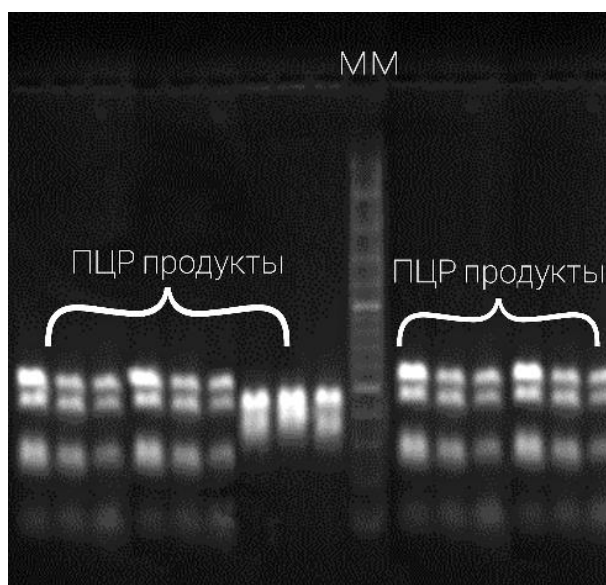


Рисунок 1 – Электрофореграмма продуктов амплификации с SSR праймерами на 12 сортах смородины черной (2% агарозный гель, окрашенный бромистым этидием; ММ-маркер молекулярного веса)

ПЦР-анализ с помощью 12 SSR-маркеров выполненный классическим методом ПЦР позволил визуализировать каждый локус отдельно и оценить возможность его дальнейшего разделения на генетическом анализаторе (рисунок 2).



Рисунок 2 – Электрофореграмма продуктов амплификации с праймерами 25G1-K04

Параметрами оценки являлись уровень чувствительности ПЦР и воспроизводимость результатов ПЦР в процентах, рассчитанных на каждый метод отдельно, с учетом наличия/отсутствия фоновой амплификации (шмеры на электрофореграмме) (таблица 2).

Таблица 2 – Оценка эффективности выделения растительной ДНК из листьев смородины чёрной по результатам обнаружения продукта ПЦР после электрофоретической детекции в 2% агарозном геле

Сорт	Способ выделения ДНК (по D. Pichooa, 2004)*		Способ выделения ДНК (используемый в ФНЦ Садоводства)*		Набор для выделения растительной ДНК «СОРБ-ГМО-Б» (ЗАО Синтол)		Набор для выделения растительной ДНК «Plant DNA Isolation Kit» (FOREGENE)	
	Проба1	Проба2	Проба1	Проба2	Проба1	Проба2	Проба1	Проба2
Бармалей	+	+	+	+	+	+	+	+/-
Брянский Агат	-	+	+	+	+	+	+	+
Дебрянск	+	+	+	+	+	+	+	+
Миф	+	+	+	+	+	+	+	+
Чародей	+	+	+	+	+	+	+	+
Гамаюн	+	+	+	+/-	+/-	-	+	+
Стрелец	+/-	-	+	+	+	+	+/-	+
Вера	+	+/-	+	+	+	+	+	+
Кудесник	+	+	+	+	+	+	+	+
Фаворит	+	+/-	+	+	+	+	+	+
Каскад	+	+	+	+	+	+	+	+
Подарок Ветеранам	+	+	+	+	+	+	+	+/-
Чувствительность ПЦР, %	0,5		0,1		0,1		0,1	
Воспроизводимость результатов ПЦР, %	81		99		92		88	
Наличие фоновой амплификации	+		-		-		+	

Примечания: звездочкой выделены методы выделения ДНК с модификацией; плюс (+) – обнаружены продукты ПЦР; минус (-) – не обнаружены продукты ПЦР; плюс/минус (+/-) – сомнительный результат.

Чувствительность ПЦР анализировали после разведения полученных продуктов ПЦР и визуализации их посредством электрофореза. В первой пробирке концентрация раствора составила 1 : 10, во второй – 1 : 100, в третьей – 1 : 1000, и так далее. Вместе с

чувствительностью ПЦР также параллельно оценивалась воспроизводимость результатов ПЦР, путем постановки каждого из разведенного образца ПЦР в двух повторностях (проба 1 и проба 2) для подсчета процента обнаружения/отсутствия продуктов ПЦР.

Результат ПЦР анализа показал, что наилучшие показатели эффективности метода (чувствительность – 0,1%, воспроизводимость – 99%, отсутствие фоновой амплификации) были получены у образцов, выделенных способом используемым в ФНЦ Садоводства. На втором месте по эффективности оказался коммерческий набор «СОРБ-ГМО-Б» (ЗАО Синтол), чувствительность которого составила 0,1%, воспроизводимость 92% и также отсутствовала фоновая амплификация. На третьем месте по эффективности оказался коммерческий набор для выделения растительной ДНК «Plant DNA Isolation Kit» (FOREGENE). Его чувствительность составила 0,1%, воспроизводимость 88%, при этом были обнаружены шмеры на электрофореграмме. Метод выделения растительной ДНК по D. Puchooa (2004), показал среднюю чувствительность (0,5%), невысокую воспроизводимость результатов ПЦР (81%), а также выявлены фоновые продукты амплификации.

Заключение

По результатам оценки эффективности выделения ДНК из замороженных листьев 12 сортов смородины черной селекции ФГБНУ ФНЦ Садоводства удалось выделить наиболее эффективные и нетрудоемкие способы выделения ДНК. Результаты оценки эффективности способов выделения ДНК из замороженных листьев смородины чёрной готовыми коммерческими наборами показали небольшой выход ДНК (в среднем 30 нг/мл), сравнительно высокую чистоту выделенного образца, что подтверждено результатами эффективности ПЦР анализа, при этом оказались менее трудоемкими, чем два других способа.

Полученные результаты исследований позволяют рекомендовать для выделения ДНК из замороженных листьев смородины чёрной для оценки генетического разнообразия культуры с помощью SSR-маркеров способ выделения ДНК из косточковых культур с модификацией, используемый в ФНЦ Садоводства, так как он, несмотря на свою трудоемкость в исполнении, является эффективным и даёт высокий выход ДНК (170...380 нг/мл), которой хватает на большое количество ПЦР реакций.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «FGUW-0432-2022-0001 Воспроизводство и сохранение ценных генотипов плодовых и ягодных культур методами новых биотехнологий».

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Евдокименко С.Н., Сазонов Ф.Ф., Андропова Н.В., Козак Н.В., Имамкулова З.А., Подгаецкий М.А. Ягодные культуры: биологические особенности, сорта и технологии возделывания: монография // под науч. ред. акад. РАН И.М. Куликова. М.: ФНЦ Садоводства, 2022. 368.
2. Жидехина Т.В., Родюкова О.С., Магомедова С.А., Бочарова Т.Е. Оценка новых сортов смородины чёрной // Садоводство и виноградарство. 2007. 5. 15-16. <https://www.elibrary.ru/ibitcb>
3. Куликов И.М., Евдокименко С.Н., Тумаева Т.А., Келина А.В., Сазонов Ф.Ф., Андропова Н.В., Подгаецкий М.А. Научное обеспечение ягодоводства России и перспективы его

- развития // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. 25, 4. 414-419. <https://doi.org/10.18699/VJ21.046>
4. Князев С.Д., Левгерова Н.С., Макаркина М.А., Пикунова А.В., Салина Е.С., Чекалин Е.И., Янчук Т.В., Шавыркина М.А. Селекция чёрной смородины: методы, достижения, направления. Орёл: ВНИИСПК, 2016. 328. <https://www.elibrary.ru/vwpjyb>
 5. Князев С.Д., Пикунова А.В., Бахотская А.Ю., Чекалин Е.И., Шавыркина М.А. Инновационные направления селекционных исследований смородины чёрной // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2014. 1. 192-211. <https://www.elibrary.ru/uqezep>
 6. Макаркина М.А., Янчук Т.В., Князев С.Д. Оценка и отбор исходного материала для селекции смородины черной на улучшение химического состава ягод. Орел: ВНИИСПК, 2017. 168. <https://www.elibrary.ru/yrewxu>
 7. Межнина О.А., Урбанович О.Ю. Генетическое разнообразие сортов смородины черной (*Ribes nigrum*) в Беларуси // Вестник Национальной академии наук Белоруссии. Серия биологических наук, 2017. 1. 62-69. <https://www.elibrary.ru/ygsmjz>
 8. Пикунова А.В., Князев С.Д., Голяева О.Д., Бахотская А.Ю., Калинина О.В. Исследование генома с применением ДНК-маркеров у смородины // Генетика. 2019. 55, 9. 998-1010. <https://doi.org/10.1134/S001667581909011X>
 9. Сазонов Ф.Ф. Формирование отечественного сортимента смородины чёрной в условиях Нечерноземного региона России // Садоводство и виноградарство. 2021. 1. 23-31. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-1-23-31>
 10. Сазонов Ф.Ф., Даньшина О.В. Селекционные возможности создания сортов и форм смородины чёрной для машинной уборки урожая // Садоводство и виноградарство. 2016. 2. 22-27. <https://doi.org/10.18454/VSTISP.2016.2.1091>
 11. Сазонова И.Д. Оценка новых сортов смородины чёрной Кокинского опорного пункта ВСТИСП для технической переработки // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития. Иваново: Ивановская ГСХА, 2017. 1. 175-180. <https://www.elibrary.ru/yquvrl>
 12. Сазонова И.Д. Биохимическая оценка плодов малины и смородины в условиях юго-западной части Нечерноземья России // Вестник Брянской ГСХА. 2021. 5. 36-44. <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2021-87-5-36-44>
 13. Edwards K., Johnstone C., Thomson C. A simple and rapid method for the preparation of plant genomic DNA for PCR analysis // Nucleic Acids Research. 1991. 19, 6. 1349. <https://doi.org/10.1093/nar/19.6.1349>
 14. Panfilova O., Tsoy M., Golyaeva O. Currant growing technology and mechanized harvesting-review // E3S Web of Conferences. 2021. 254. 07002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125407002>
 15. Poms R.E., Glossl J., Foissy H. Increased sensitivity for detection of specific target DNA in milk by concentration in milk fat // European Food Research and Technology. 2001. 213. 361-365. <https://doi.org/10.1007/s002170100383>
 16. Puchooa D., A simple, rapid and efficient method for the extraction of genomic DNA from lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) // African Journal of Biotechnology. 2004. 3, 4. 253-255. <https://doi.org/10.5897/AJB2004.000-2046>

References

1. Evdokimenko, S.N., Sazonov, F.F., Andronova, N.V., Kozak, N.V., Imamkulova, Z.A., & Podgaetsky, M.A. (2022). *Economic, biological features, varieties and cultivation technologies*:

- monograph*. Scientific Institution Federal Scientific Center for Horticulture. (In Russian, English abstract).
2. Zhidekhina, T.V., Rodyukova, O.S., Magomedova, S.A., & Bocharova, T.E. (2007). Assessment of new varieties of black currants. *Horticulture and Viticulture*, 5, 15-16. <https://www.elibrary.ru/ibitcb>. (In Russian).
 3. Kulikov, I.M., Evdokimenko, S.N., Tumaeva, T.A., Kelina, A.V., Sazonov, F.F., Andronova, N.V., & Podgaetsky, M.A. (2021). Scientific support of small fruit growing in Russia and prospects for its development. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 25(4), 414-419. <https://doi.org/10.18699/VJ21.046>. (In Russian, English abstract).
 4. Knyazev, S.D., Levgerova, N.S., Makarkina, M.A., Pikunova, A.V., Salina, E.S., Chekalin, E.I., Yanchuk, T.V., & Shavyrkina, M.A. (2016). *Black Currant Selection: Methods, Achievements, Directions*. VNIISPK. <https://www.elibrary.ru/vwpjyb>. (In Russian).
 5. Knyazev, S.D., Pikunova, A.V., Bakhotskaya, A.Yu., Chekalin, E.I., & Shavyrkina, M.A. (2014). Innovational directions in black currant breeding. In E.N. Sedov (Ed.) *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*, (Vol. 1, pp. 192-211). VNIISPK. <https://www.elibrary.ru/uqezep>. (In Russian, English abstract).
 6. Makarkina, M.A., Yanchuk, T.V., & Knyazev, S.D. (2017). *The Assessment and Selection of the Initial Material for Black Currant Breeding for Berry Chemical Composition Improvement*. VNIISPK. <https://www.elibrary.ru/yrewxu>. (In Russian, English abstract).
 7. Mezhnina, O.A., & Urbanovich, O.Yu. (2017). Genetic variability of blackcurrant varieties (*Ribes nigrum*) in Belarus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series*, 1, 62-69. <https://www.elibrary.ru/ygsmjz>. (In Russian, English abstract).
 8. Pikunova, A.V., Knyazev, S.D., Golyaeva, O.D., Bakhotskaya, A.Yu., & Kalinina, O.V. (2019). Genome studies by means of DNA markers of the blackcurrant. *Russian Journal of Genetics*, 55(9), 1061-1071. <https://doi.org/10.1134/S1022795419090102>
 9. Sazonov, F.F. (2021). Forming of domestic blackcurrant stock in Non-Chernozem Region of Russia. *Horticulture and Viticulture*, 1, 23-31. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-1-23-31>. (In Russian, English abstract).
 10. Sazonov, F.F., & Danshina, O.V. (2016). Breeding possibilities of creation varieties and forms of blackcurrant for machine harvesting. *Horticulture and Viticulture*, 2, 22-27. <https://doi.org/10.18454/VSTISP.2016.2.1091>. (In Russian, English abstract).
 11. Sazonova, I.D. (2017). Assessment of new varieties of black currants of the Kokinsky stronghold of VSTISP for technical processing. In *Agricultural Science in Conditions of Modernization and Innovative Development*, (pp. 175-180). Ivanovskaya GSHA. <https://www.elibrary.ru/yquvrl>. (In Russian).
 12. Sazonova, I.D. (2021). Biochemical assessment of raspberry and currant berries in the South-Western part of the Non-Black Earth Region of Russia. *Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*, 5 (87), 36-44. <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2021-87-5-36-44>. (In Russian, English abstract).
 13. Edwards, K., Johnstone, C., & Thomson, C. (1991). A simple and rapid method for the preparation of plant genomic DNA for PCR analysis. *Nucleic Acids Research*, 19, 1349. <https://doi.org/10.1093/nar/19.6.1349>
 14. Panfilova, O., Tsoy, M., & Golyaeva, O. (2021). Currant growing technology and mechanized harvesting-review. *E3S Web of Conferences*, 254, 07002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125407002>
 15. Poms, R.E., Glossl, J., & Foissy, H. (2001). Increased sensitivity for detection of specific target DNA in milk by concentration in milk fat. *European Food Research and Technology*, 213, 361-365. <https://doi.org/10.1007/s002170100383>

16. Puchooa, D. (2004). A simple, rapid and efficient method for the extraction of genomic DNA from lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). *African Journal of Biotechnology*, 3(4), 253-255. <https://doi.org/10.5897/AJB2004.000-2046>

Авторы:

Алла Андреевна Гузеева, аспирант, отдел репродуктивной биотехнологии ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства» (ФГБНУ ФНЦ Садоводства), alla1988.88@mail.ru

Ирина Александровна Капитова, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, отдел репродуктивной биотехнологии ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства» (ФГБНУ ФНЦ Садоводства), kiastandart@gmail.com
ORCID 0000-0003-3629-4461
SPIN 1040-1331

Фёдор Фёдорович Сазонов, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела генетики и селекции садовых культур ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства» (ФГБНУ ФНЦ Садоводства), sazon-f@yandex.ru
SPIN 1494-7253

Authors details:

Alla A. Guzeeva, PhD student, Department of Reproductive Biotechnology, Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, alla1988.88@mail.ru

Irina A. Kapitova, Candidate in Chemistry Sciences, Senior Researcher in Department of Reproductive Biotechnology of Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, kiastandart@gmail.com
ORCID 0000-0003-3629-4461
SPIN 1040-1331

Fedor F. Sazonov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher in Department of Genetics and Selection Horticultural Crops of Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, sazon-f@yandex.ru
SPIN 1494-7253

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 634.23 (470.32)

НАСТАВНИЦА – НОВЫЙ ВЫСОКОУРОЖАЙНЫЙ ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СОРТ ВИШНИ СЕЛЕКЦИИ ВНИИСПК

А.А. Гуляева¹, Т.Н. Берлова¹, А.А. Галькова¹, М.А. Макаркина¹, И.Н. Ефремов¹ 

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур», 302530, Россия, Орловская область, Орловский МО, д. Жилина, ВНИИСПК, info@vniispk.ru

Аннотация

В статье приводится подробное описание нового сорта вишни обыкновенной, созданного на базе Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур (ВНИИСПК). Этот сорт, получивший название Наставница, был выведен в лаборатории селекции и сортоизучения косточковых культур. Авторами сорта являются Гуляева Александра Алексеевна, Джигадло Елизавета Николаевна, Колесникова Аделина Фроловна, Макаркина Маргарита Алексеевна и Ефремов Игорь Николаевич. Сорт Наставница был получен в 1984 году путём целенаправленного искусственного скрещивания двух сортов вишни обыкновенной – Антрацитовая и Превосходная Веняминова. В 1990 году отмечено начало плодоношения сорта, а в 1998 году он был выделен в категорию элитных сеянцев. Станционные испытания нового сортообразца проводились с 2013 по 2023 годы в садах отдела селекции и сортоизучения косточковых культур ВНИИСПК. Растения были высажены по стандартной для нашего региона схеме для вишни – 5,0 × 3,0 метра. В качестве подвоя использовался клоновый подвой вишни В-2-180, созданный во ВНИИСПК. В ходе изучения сорта применялась стандартная система мероприятий по защите растений от повреждений болезнями (коккомикозом и монилиозом) и вредителями. Изучение основных хозяйственно-биологических показателей проводилось в соответствии с основными методическими рекомендациями. Технологическая и биохимическая оценка плодов сорта Наставница была проведена в лаборатории технологической и биохимической оценки сортов и хранения ВНИИСПК. Данный сорт является перспективным для возделывания в Центрально-Чернозёмном регионе России и может быть рекомендован как для промышленного возделывания, так и для использования в дальнейших селекционных исследованиях на комплекс хозяйственно-ценных признаков.

Ключевые слова: зимостойкость, урожайность, устойчивость к грибным болезням, биохимическая оценка, технологическая оценка

'NASTAVNITSA' – A NEW HIGH-YIELDING PROMISING SOUR CHERRY VARIETY BREED BY VNIISP

A.A. Gulyaeva¹, T.N. Berlova¹, A.A. Galkova¹, M.A. Makarkina¹, I.N. Efremov¹ 

¹Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISP), 302530, Russia, Orel region, Orel MO, Zhilina, VNIISP, info@vniispk.ru

Abstract

The article provides a detailed description of a new variety of common cherry, created on the basis of the All-Russian Research Institute for Breeding Fruit Crops (VNIISP). This variety is called Nastavnitsa and was bred in the laboratory for breeding and variety study of stone fruit crops. The authors of the variety are Gulyaeva Alexandra Alekseevna, Dzhigadlo Elizaveta Nikolaevna, Kolesnikova Adelina Frolovna, Makarkina Margarita Alekseevna and Efremov Igor Nikolaevich.

The Nastavnitza variety was obtained in 1984 as a result of targeted artificial crossing of two varieties of sour cherries – Antratsitovaya and Prevoskhodnaya Veniaminova. In 1990, the variety entered the period of fruiting, and after another 8 years it was allocated to the category of elite seedlings. Station tests of the new variety sample were carried out from 2013 to 2023 in the gardens of the department of selection and variety study of stone fruit crops of the VNIISPK. The plants were planted according to the standard pattern for cherries for our region – 5.0 × 3.0 meters. The clonal cherry rootstock created at VNIISPK and called V-2-180 was used as a rootstock. During each year, a standard system of measures was used to protect plants from damage by diseases (coccomycosis and moniliosis) and pests. The study of the main economic and biological indicators was carried out in accordance with the main methodological recommendations. Technological and biochemical assessment of fruits of the Nastavnitza variety was carried out in the laboratory of technological and biochemical assessment of varieties and storage of VNIISPK. This variety is promising for cultivation in the Central Black Earth region of Russia and can be recommended both for industrial cultivation and for use in further breeding research for a set of economically valuable traits.

Key words: winter hardiness, productivity, resistance to fungal diseases, biochemical assessment, technological assessment

Введение

Вишня обыкновенная (*Prunus cerasus* L.) – один из самых значимых видов плодовых деревьев в мире. Этот вид является аллотетраплоидом, то есть имеет четыре набора хромосом. Он появился в результате естественного скрещивания между вишней степной (*Prunus fruticosa* L.) и черешней (*Prunus avium* L.). Вишня – ценная плодовая культура, которая отличается высокой урожайностью, быстрым вступлением в плодоношение и другими важными хозяйственными и биологическими особенностями (Ожерельева, 2001).

В плодах вишни содержится от 9,6 до 29,7% растворимых сухих веществ, от 7 до 13,7% сахаров, от 0,7 до 2,2% органических кислот. Также в них есть до 30 мг витамина С на 100 г и до 1200 мг фенольных (Р-активных) веществ на 100 г (Макаркина и др., 2011; 2012). Вишня богата витаминами В₂ и В₉, а также амигдалином и кумаринами. В ней также содержится больше железа, чем в яблоках (Колесникова, 2003). Кроме того, в составе вишни есть кобальт и железо, что делает её полезной при анемиях (Пастушкова и др., 2016).

Плоды этой культуры богаты биологически активными веществами, и их удачное сочетание делает их не только вкусными, но и полезными для здоровья. Вишню и продукты её переработки можно использовать в лечебных и профилактических целях (Вышинская и др., 2014). При оценке экономической ценности сорта вишни особенно важны такие характеристики, как наличие антиоксидантов, сахаров, витаминов, а также хорошая технологичность переработки (Hallmann et. al., 2017).

Сорта, используемые в современном садоводстве, должны отвечать всем предъявляемым к ним требованиям. Для этого важно провести всестороннее изучение этих сортов и подвоев в каждом регионе, учитывая его уникальные почвенно-климатические особенности и условия (Усейнов и др., 2022).

Один из самых действенных способов увеличить урожайность вишни – создание новых сортов, которые будут давать больше плодов и при этом обладать полезными свойствами. Такие сорта должны быть устойчивы к вредителям и болезням, переносить морозы и жару, хорошо переносить засуху, иметь приятный вкус и привлекательный внешний вид. Также важно, чтобы плоды были пригодны для переработки и имели оптимальный биохимический состав (Гуляева и др., 2019).

Материалы и методика

Исследования проводились в садовых насаждениях отдела селекции и сортоизучения косточковых культур ВНИИСПК в 2013...2023 гг. Опытные растения были высажены в сад в 2013 году в количестве 12 растений в трёх повторностях. Схема размещения – 5,0 × 3,0 м. В качестве подвоя использовался клоновый вишнёвый подвой селекции ВНИИСПК В-2-180. Ежегодно применялась стандартная система мероприятий по защите растений от заболеваний и вредителей. Изучение основных хозяйственно-биологических показателей (урожайность, качество плодов, зимостойкость, устойчивость к грибным болезням) было проведено в соответствии с «Программой и методикой сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» (Джигадло и др., 1999). Технологическая и биохимическая оценка плодов сорта проводилась на базе лаборатории технологической и биохимической оценки сортов и хранения ВНИИСПК.

Результаты и их обсуждение

Происхождение

Сорт вишни Наставница (селекционный номер 66865) был получен в результате скрещивания в 1984 г. сортов вишни Антрацитовая и Превосходная Веньяминова. После скрещивания были получены семена, которые были высеяны в селекционную школку в 1985 г. Полноценное плодоношение началось в 1990 г. В 1998 г. сортообразец был выделен в качестве элитной формы. По результатам многолетних исследований за высокие вкусовые и товарные качества плодов и относительную устойчивость к грибным болезням элитный сеянец 66865 в 2023 г. был передан на Государственное сортоиспытание под названием Наставница.

Морфологическое описание сорта

Дерево сорта вишни Наставница среднерастущее, обладает средней величиной. Крона среднезагущенная, округло-овальная. Привитое дерево вступает в пору плодоношения на 3-ий год после высадки в сад. Наставница характеризуется регулярным плодоношением.

Плодовые образования преимущественно располагаются на плодовых прутиках и букетных веточках. Кора на основных сучьях и на штамбе тёмно-коричневая, гладкая. Побеги прямые, средние, голые, тёмно-коричневые. Почка средняя по размерам, ширококоническая, отклонена от побега. Листья средней величины, обратнояйцевидной формы, короткозаострённые, зелёные. Листовая пластинка плоская, без опушённости. Листовая вершина постепеннозаострённая, его основание – клиновидное, края – дваждыпильчатые. Прилистники короткие, опадают рано. Черешок средней длины и толщины, голый, пигментированный. Соцветие зонтик, цветки тройные, средние, белые. Количество лепестков равняется пяти, они обладают яйцевидной формой, соприкасаются. Плоды крупных размеров, одномерные. Средняя масса зрелого плода 7,0 г, максимальная достигает 9,0 г.

Плоды сорта Наставница по форме широкоокруглые, вершина плоская, вдавлена слабо, воронка широкая и мелкая. Брюшного шва нет. Плодоножка средняя, хорошо отделяется от ветки, непрочно крепится к косточке. Плод окрашен в тёмно-красный цвет, подкожные точки отсутствуют.

Кожица средняя, голая, без опушения, от плода отделяется с трудом. Мякоть тёмно-красного цвета, средняя по плотности, сочная. Окраска полости одноцветная с мякотью, сок тёмно-красный. Характер вкуса кисло-сладкий. Косточка располагается свободно, отделяется от мякоти хорошо, средняя, круглая, тупая, гладкая (рисунк 1).



Рисунок 1 – Сорт вишни Наставница

Урожайность и свойства плодов

Урожайность – один из ключевых факторов, влияющих на выбор сортов для закладки садов. В процессе изучения сортов крайне важно анализировать все показатели продуктивности образцов вишни. Полученные данные могут быть использованы как для дальнейших селекционных исследований, так и для практического применения (Ефремов и др., 2023). Привитые деревья сорта Наставница вступают в плодоношение на 3-ий год. Плодоношение происходит ежегодно, периодичность за годы изучения выявлена не была. В молодом возрасте средняя урожайность составила 5,6 кг/дерева (37,3 ц/га), что превышает аналогичный показатель контрольного сорта Тургеневка (таблица 1). В период полного плодоношения урожайность составила 13,2 кг/дерева (87,6 ц/га). Оба этих показателя превышают контроль. Дата начала плодоношения у сортов Наставница и Тургеневка приходится на 10...15 июля, что соответствует среднему сроку созревания.

Масса имеет особое значение среди товарно-потребительских качеств плодов, во многом определяя привлекательность их внешнего вида, а как следствие – и ценность того или иного сорта (Галькова и др., 2023). Средняя масса плода сорта Наставница составляет 7,0 г, максимально возможная достигает 9,0 г, что выше, чем у сорта Тургеневка. Плоды выделяются привлекательным внешним видом, оцениваемым в 5,0 баллов. Средняя масса косточки равна 0,53 г, а отношение мякоти к общей массе плода – 93,4%. Большинство указанных показателей выше аналогичных значений у контроля – сорта Тургеневка (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели урожайности и качеств плодов сорта вишни Наставница (2016...2023 гг.)

Показатели урожайности и свойств плодов	Наставница	Тургеневка (контроль)
Год вступления в плодоношение	3	3
Урожай с дерева в полном плодоношении, кг	13,2	9,9
Урожай с гектара в полном плодоношении, ц	87,6	65,6
Дата созревания плодов	10...15 июля	10...15 июля
Средняя масса плода, грамм	7,0	5,0
Максимальная масса плода, грамм	9,0	6,5
Привлекательность внешнего вида, балл	5,0	4,6
Соотношение массы косточки к плоду, %	6,6	6,8
Отношение мякоти к общей массе плода, %	93,4	93,2

Устойчивость к болезням

Наиболее распространёнными грибными заболеваниями вишни являются коккомикоз и монилиоз (Гуляева и др., 2017). Сорт Наставница выделяется средней степенью резистентности к грибным болезням. В эпифитотийные годы сорт проявил более высокую устойчивость к коккомикозу и монилиозу, чем контрольный сорт Тургеневка (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели устойчивости к грибным болезням сорта вишни Наставница, балл

Показатели устойчивости к грибным заболеваниям	Наставница	Тургеневка (контроль)
Коккомикоз	1,3	3,0
Монилиоз	0,0	2,5

Зимостойкость, жаро- и засухоустойчивость

Во многом решить проблему устойчивости вишни к неблагоприятным погодным условиям может помочь селекция. Для этого необходимо использовать устойчивые исходные формы вишни, чтобы получить гибридное потомство. Из этого потомства можно будет выделить новые сорта, которые будут соответствовать требованиям современного адаптивного садоводства (Ожерельева и др., 2020). Сорт Наставница обладает достаточным уровнем зимостойкости. Ранее, зимой 2009...2010 гг., растения сорта перенесли температурный минимум, при котором температура воздуха упала до минус 32°C. В полевых условиях древесина была повреждена на 2,0 балла, а процент погибших цветковых почек составил 27,6%. Оба показателя были лучше, чем аналогичные показатели у контроля (таблица 3).

Таблица 3 – Показатели зимостойкости, жаростойкости и засухоустойчивости сорта вишни Наставница

Показатели	Наставница	Тургеневка (контроль)
Зимостойкость в критическую зиму 2009...2010 гг. (-32°C)		
Подмерзание дерева, балл	2,0	2,5
Гибель цветковых почек, %	27,6	37,0
Повреждения сорта заморозками во время цветения и начала роста завязи в 2023 г. (-1,5°C)		
Гибель бутонов, цветков и завязей от заморозка, %	2,0	3,0
Уровень жаростойкости	средний	средний
Уровень устойчивости к засухе	средний	средний

В 2023 году во время цветения и начала роста завязи температура воздуха упала до минус 2,0°C, и это минимальный показатель за весь период изучения сорта. Цветки, бутоны и завязи погибли в объёме 2,0%, что меньше, чем у контрольного сорта Тургеневка. Сорт Наставница выделяется средней степенью жаростойкости и засухоустойчивости, как и контрольный сорт Тургеневка.

Технологическая и биохимическая оценка плодов

Вкусовые свойства имеют колоссальное значение при оценке хозяйственно-биологических свойств плода, поэтому в селекции плодовых, в т.ч. и вишни, им уделяют особое значение. Плоды сорта Наставница выделяются высокими вкусовыми качествами (таблица 4). Оценка вкуса в свежем состоянии равна 5,0 баллов, что выше показателя у контрольного сорта. Сорт является универсальным, пригодным как для потребления в свежем состоянии, так и для переработки. Сорт может использоваться, в частности, для

приготовления варенья и компотов. Сорт Наставница обладает достаточным уровнем содержания веществ, которыми оценивается биохимический состав.

Таблица 4 – Технологические и биохимические показатели плодов сорта вишни Наставница

Показатели	Наставница	Тургеневка (контроль)
Дегустационная оценка свежих плодов, балл	5,0	3,8
Для каких видов переработки пригоден	Варенье, компот	Варенье, компот
Биохимический состав:		
Сухие вещества, %	16,1	15,9
Сахара, %	11,21	11,03
Кислоты, %	1,38	1,76
Витамин С, мг%	6,7	9,2

Сорт подходит для производственной технологии возделывания. Лучшие опылители для него – Владимирская, Шоколадница. Сорт рекомендуется для включения в Государственный реестр селекционных достижений по 5-му региону.

Заключение

Урожайность нового сорта вишни Наставница составляет 13,2 кг/дерева или 87,6 т/га. Средняя масса плода равна 7,0 г, максимальная достигает 9,0 г. В эпифитотийные годы Наставница поражалась коккомикозом и монилиозом не более чем на 1,3 балла. Сорт выделяется высоким уровнем устойчивости древесины и цветковых почек к отрицательным температурам, а также средней засухоустойчивостью и жаростойкостью. Сорт Наставница превосходит контроль по ряду показателей биохимического состава плодов. Оценка вкуса её плодов в свежем виде равна 5,0 баллов. Сорт универсален, его плоды пригодны как для употребления в свежем виде, так и для технологической переработки.

Конфликт интересов: авторы статьи Гуляева А.А., Макарина М.А., Ефремов И.Н. являются соавторами сорта Наставница.

Литература

1. Вышинская М.И., Таранов А.А., Максименко М.Г. Новый сорт вишни Конфитюр // Плодоводство. 2014. 26. 143-151. <https://www.elibrary.ru/xpkrmt>
2. Галькова А.А., Гуляева А.А., Берлова Т.Н., Ефремов И.Н. Оценка некоторых товарных и вкусовых качеств плодов сортов абрикоса из биоресурсной коллекции ВНИИСПК // Перспективы роста производства и переработки сельскохозяйственной продукции в АПК России. Орел: ФНЦ ЗБК, 2023. 57-60. <https://www.elibrary.ru/izrkyu>
3. Гуляева А.А., Берлова Т.Н., Безлепкина Е.В., Галькова А.А., Ефремов И.Н. Новый сорт вишни селекции ВНИИСПК Купина // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2019. 6, 1. 38-41. <https://www.elibrary.ru/anbynd>
4. Гуляева А.А., Ефремов И.Н., Берлова Т.Н. Адаптивный потенциал сортообразцов черешни в условиях Центрально-Чернозёмного региона России // Современное садоводство. 2017. 4. 25-30. <https://www.elibrary.ru/ywpgpz>
5. 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>

6. Ефремов И.Н., Гуляева А.А., Берлова Т.Н., Галькова А.А., Глинина Ю.Н. Продуктивность сортообразцов вишни биоресурсной коллекции ВНИИСПК в условиях Орловской области // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2023. 10, 1. 49-55. <https://www.elibrary.ru/fwjsvo>
7. Колесникова А.Ф. Вишня. Черешня. Харьков: Фолио-АСТ, 2003. 255.
8. Макаркина М.А., Соколова С.Е. Характеристика сортов вишни селекции ВНИИСПК по некоторым компонентам химического состава плодов // Совершенствование адаптивного потенциала косточковых культур и технологий их возделывания. Орел: ВНИИСПК, 2011. 154-159. <https://www.elibrary.ru/yhaslt>
9. Макаркина М.А., Павел А.Р., Соколова С.Е. Биологически активные вещества в плодах сортов вишни, выращенных в условиях Орловской области // Плоды и овощи – основа структуры здорового питания человека. Мичуринск: ОАО «Мичуринск», 2012. 96-99. <https://www.elibrary.ru/sbfhdf>
10. Ожерельева З.Е. Оценка хозяйственно-биологических признаков сортообразцов вишни и черешни на юге Нечерноземья: дис.... канд. с.-х. наук. Брянск, 2001. 193. <https://www.elibrary.ru/mxmyip>
11. Ожерельева З.Е., Ефремов И.Н. Выделение исходных форм для селекции *Prunus cerasus* L., устойчивых к весенним заморозкам // Вестник аграрной науки. 2020. 5. 59-65. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.5.59>
12. Пастушкова Е.В., Заворохина Н.В., Вяткин А.В. Растительное сырье как источник функционально-пищевых ингредиентов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2016. 4. 105-112. <https://www.elibrary.ru/xcneod>
13. Усейнов Д.Р., Чакалов Т.С. Влияние клоновых подвоев на урожайность и качество плодов черешни сорта Крупноплодная // Современное садоводство. 2022. 2. 42-49. https://doi.org/10.52415/23126701_2022_0205
14. Hallmann E., Rozpara E. The estimation of bioactive compounds content in organic and conventional sweet cherry (*Prunus avium* L.) // Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. 2017. 62, 3. 141-145. <https://bibliotekanauki.pl/articles/336048.pdf>

References

1. Vyshinskaya, M.I., Taranov, A.A., & Maksimenko, M.G. (2014). New sour cherry cultivar Konfityur. *Fruit-Growing*, 26, 143-151. <https://www.elibrary.ru/xpkrmt>. (In Russian, English abstract).
2. Galkova, A.A., Gulyaeva, A.A., Berlova, T.N., & Efremov, I.N. (2023). Assessment of some commercial and taste qualities of fruits of apricot varieties from the bioresource collection of VNIISPK. In *Prospects for the Growth of Production and Processing of Agricultural Products in the Agro-Industrial Complex of Russia* (pp. 57-60). FNC ZBK. <https://www.elibrary.ru/izrkyu>. (In Russian, English abstract).
3. Gulyaeva, A.A., Berlova, T.N., Bezlepina, E.V., Galkova, A.A., & Efremov, I.N. (2019). New sour cherry cultivar of RRIFCB breeding Kupina // *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*, 6(1) 38-41. <https://www.elibrary.ru/anbynd>. (In Russian, English abstract).
4. Gulyaeva, A.A., Efremov, I.N., & Berlova, T.N. (2017). Adaptive potential of sweet cherry genotypes in the Central Chernozem region of Russia. *Contemporary Horticulture*, 4, 25-30. <https://www.elibrary.ru/ywpgpz>. (In Russian, English abstract).
5. 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). VNIISPK. <https://www.elibrary.ru/yhaqhp>. (In Russian).
6. Efremov, I.N., Gulyaeva, A.A., Berlova, T.N., Galkova, A.A., & Glinina, Yu.N. (2023). Productivity of cherry varieties from the VNIISPK bioresource collection under the conditions of the Oryol region. *Breeding and variety cultivation of fruit and berry crops*, 10(1) 49-55. <https://www.elibrary.ru/fwjsvo>. (In Russian, English abstract).
 7. Kolesnikova, A.F. (2003). *Sour Cherry. Sweet Cherry*. Folio-AST. (In Russian, English abstract).
 8. Makarkina, M.A., & Sokolova, S.E. (2011). Characteristics of sour cherry cultivars according to some components of fruit chemical composition. In *Improving the Adaptive Potential of Stone Fruit Crops and Technologies for their Cultivation* (pp. 154-159). VNIISPK. <https://www.elibrary.ru/yhaslt>. (In Russian, English abstract).
 9. Makarkina, M.A., Pavel, A.R., & Sokolova, S.E. (2012). Biologically active substances in the fruits of cherry varieties grown in the Oryol region. In *Fruits and Vegetables – the Basis of the Structure of Healthy Human Nutrition* (pp. 96-99). Michurinsk. <https://www.elibrary.ru/sbfhdf>. (In Russian).
 10. Ozherelieva, Z.E. (2001). *Assessment of Economic and Biological Characteristics of Cherry and Sweet Cherry Varieties in the South of the Non-Black Earth Region* (Agri. Sci. Cand. Thesis). Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia. <https://www.elibrary.ru/mxmyip>. (In Russian).
 11. Ozherelyeva, Z.E., & Efremov, I.N. (2020). Choice of initial forms for selection of *Prunus cerasus* L. resistant to spring frosts. *Bulletin of Agrarian Science*, 5, 59-65. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.5.59>. (In Russian, English abstract).
 12. Pastushkova, E.V., Zavorokhina, N.V., & Vyatkin, A.V. (2016). Plant materials as a source of functional-food ingredients. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology*, 4, 105-112. <https://www.elibrary.ru/xcneod>. (In Russian, English abstract).
 13. Useinov, D.R., & Chakalov, T.S. (2022). The influence of clonal rootstocks on the yield and quality of sweet cherry fruits of the Krupnoplodnaya cultivar. *Contemporary horticulture*, 2, 42-49. https://doi.org/10.52415/23126701_2022_0205. (In Russian, English abstract).
 14. Hallmann, E., & Rozpara, E. (2017). The estimation of bioactive compounds content in organic and conventional sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 62(3), 141-145. <https://bibliotekanauki.pl/articles/336048.pdf>

Авторы:

Александра Алексеевна Гуляева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции и сортоизучения косточковых культур ФГБУ ВНИИСПК, gulyaeva@orel.vniispk.ru
ORCID 0000-0002-5528-0981
SPIN 2792-8826

Татьяна Николаевна Берлова, младший научный сотрудник лаборатории селекции и сортоизучения косточковых культур ФГБУ ВНИИСПК, efremov@orel.vniispk.ru
SPIN 4834-6505

Анна Александровна Галькова, младший научный сотрудник лаборатории селекции и сортоизучения косточковых культур ФГБУ ВНИИСПК, galkova@orel.vniispk.ru
SPIN 5305-1768

Маргарита Алексеевна Макаркина, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией биохимической и технологической оценки сортов и хранения ФГБУ ВНИИСПК, makarkina@orel.vniispk.ru
ORCID 0000-0001-7979-3426

SPIN 6011-7525

Игорь Николаевич Ефремов, научный сотрудник селекции и сортоизучения косточковых культур ФГБНУ ВНИИСПК, efremov@orel.vniispk.ru
ORCID 0000-0001-5912-7952
SPIN 9218-2433

Authors details:

Alexandra A. Gulyaeva, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, Head of the Laboratory of Breeding and Variety Study of Stone Fruit Crops of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPК), gulyaeva@orel.vniispk.ru
ORCID 0000-0002-5528-0981
SPIN 2792-8826

Tatyana N. Berlova, junior researcher at the Laboratory of Breeding and Variety Study of Stone Fruit Crops of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPК), efremov@orel.vniispk.ru
SPIN 4834-6505

Anna A. Galkova, junior researcher at the Laboratory of Breeding and Variety Study of Stone Fruit Crops of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPК), galkova@orel.vniispk.ru
SPIN 5305-1768

Margarita A. Makarkina, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Biochemical and Technological Assessment of Varieties and Storage of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPК), makarkina@orel.vniispk.ru
ORCID 0000-0001-7979-3426
SPIN 6011-7525

Igor N. Efremov, researcher at the Laboratory of Breeding and Variety Study of Stone Fruit Crops of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPК), efremov@orel.vniispk.ru
ORCID 0000-0001-5912-7952
SPIN 9218-2433

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 634.711.3:631.527

ОЦЕНКА СОРТОВ И ОТБОРНЫХ ФОРМ МАЛИНЫ *RUBUS IDAEUS* L. ПО ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫМ ПРИЗНАКАМ ДЛЯ СЕЛЕКЦИОННОГО ПРОЦЕССА

З.И. Арифова¹ 

¹ФГБУН «ОТКЗ Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», 298648, Никитский спуск, 52, пгм. Никита, г. Ялта, Республика Крым, Российская Федерация, priemnaya.nbs-nnc@yandex.ru

Аннотация

Представлены результаты изучения исходных родительских сортов малины отечественного и зарубежного происхождения коллекции Никитского ботанического сада и полученных с их участием отборных гибридных форм. Контролем являлся районированный сорт Бальзам. Основная цель исследований заключалась в поиске источников хозяйственно полезных признаков сортов и форм малины для использования в селекционном процессе. Селекционная работа проводилась в 2015 году методом внутривидовой межсортовой гибридизации в сочетании с отбором. Наиболее удачные комбинации скрещивания: Патриция × Персея, Vicinite × Феномен, Vicinite × Патриция. Среди них были получены перспективные образцы, в которых наибольшее количество сеянцев имели в своем генотипе высокий уровень основных полезных для селекции признаков. Оценка наследственности гибридного потомства подтвердила особую селекционную ценность сортов Патриция, Феномен, как исходных форм для получения крупноплодных (средняя масса более 3,6 г) образцов. Высокие вкусовые достоинства (4,8 балла) передает потомству сорт Персея, высокую степень плодоношения (4,8...5,0 баллов) – сорта Vicinite, Персея, Феномен. Участие в скрещиваниях сорта Персея обеспечивает высокий процент (65) раннеспелых форм. Проведенный гибридологический анализ по наиболее ценным хозяйственно биологическим признакам (масса плода, оценка вкуса, степень плодоношения, засухоустойчивость и устойчивость к болезням) позволил выделить с отдельными показателями полезных признаков перспективные формы 7-15, 28-15, и комплексными – 6-15, 9-15, 11-15. Выделенные гибриды: 9-15 (сорт Сельсепиль) передан в госсортоиспытание; 6-15 (сорт Руслана) и 11-15 (Гармония) прошли испытание и были включены в 2023 году в Государственный Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию по 6-му региону РФ.

Ключевые слова: малина, селекция, сорт, гибридная форма, признак, урожайность, крупноплодность, засухоустойчивость и устойчивость к болезням

EVALUATION OF VARIETIES AND SELECTED FORMS OF RASPBERRY *RUBUS IDAEUS* L. ACCORDING TO ECONOMICALLY VALUABLE CHARACTERISTICS FOR THE BREEDING PROCESS

Z.I. Arifova¹ 

¹Nikita Botanical Gardens - National Scientific Center 52, Nikitsky spusk, vil. Nikita, Yalta 298648, Republic of the Crimea, Russia, priemnaya.nbs-nnc@yandex.ru

Abstract

The results of the study of the initial parent raspberry varieties of domestic and foreign origin from the collection of the Nikitsky Botanical Garden and selected hybrid forms obtained with their participation are presented. The control was the zoned 'Balsam' variety. The main purpose of the

research was to find sources of economically useful characteristics of raspberry varieties and forms for use in the breeding process. Breeding work was carried out in 2015 by the method of intraspecific interspecific hybridization in combination with selection. The most successful crossing combinations were: Patricia × Persea, Vicinite × Phenomenon and Vicinite × Patricia. Among them, promising samples were obtained in which the largest number of seedlings had a high level of the main traits useful for breeding in their genotype. The assessment of the heredity of hybrid offspring confirmed the special breeding value of Patricia varieties, a phenomenon as the initial forms for obtaining large-fruited (average weight more than 3.6 g) samples. High taste qualities (4.8 points) are transmitted to offspring by the 'Persea' variety, a high degree of fruiting (4.8—5.0 points) – by the varieties 'Vicinite', 'Persea' and 'Phenomenon'. The participation in crosses of the 'Perseus' variety provides a high percentage (65) of early-maturing forms. The conducted hybridological analysis of the most valuable economic and biological characteristics (fruit weight, taste assessment, degree of fruiting, drought resistance and disease resistance) allowed us to identify promising forms 7-15, 28-15 with individual indicators of useful traits, and complex forms 6-15, 9-15, 11-15. The selected hybrids: 9-15 ('Selsebil' variety) were submitted to State Export Testing; 6-15 ('Ruslan') and 11-15 ('Harmony') have been tested and included in 2023 in the State Register of Breeding Achievements Approved for Use in the 6th region of the Russian Federation.

Key words: raspberry, breeding, variety, hybrid form, trait, yield, large size of fruits, drought resistance and disease resistance

Введение

Одним из главных качественных факторов промышленного садоводства, имеющим решающее значение в успешном развитии отрасли, является сорт (Подгаецкий, Евдокименко, 2021a; Veljković et al., 2019). От его биологических особенностей, соответствия природным и экономическим условиям, технологии производства в значительной мере зависят продуктивность насаждений и качество товарной продукции, на показатели которой влияют экологические, агрономические и генетические причины. Постоянное улучшение сортимента плодовых культур для современного интенсивного садоводства является актуальным направлением в работе селекционеров и сортоведов. Требования к сортам и, особенно к их общей и специфической адаптивности в настоящее время значительно возросли, предъявляя сочетание высокой потенциальной продуктивности с устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессам (Жидехина и др., 2019; Казаков, Евдокименко, 2007; Hall et al., 2009). Анализируя сорта, внесенные в реестр селекционных достижений, можно отметить, что за последние 20 лет сортимент малины допущенных к использованию по Северо-Кавказскому региону РФ практически не пополнялся. Большинство же имеющихся сортов недостаточно удовлетворяют производителя и потребителя (Евдокименко и др., 2016; Куликов и др., 2021). Еще не в полной мере достигают биологически возможного уровня основные доминирующие признаки, такие как крупноплодность и многоплодность растений с одномерными плодами, не мельчающими от сбора к сбору (Богомолова и др., 2020a; Подгаецкий, Евдокименко 2021b; Богомолова и др., 2020b; Huynh et al., 2019).

Одной из непростых задач практической селекции является правильный подбор родительских пар. Сложность заключается в непосредственной передаче потомству признаков и свойств, которые, образуя различные комбинации, в каждом поколении развиваются заново (Подгаецкий, Евдокименко, 2021a). Детальное изучение в качестве возможных новых сортоформ, имеющих крупный размер ягод, показало, что только немногие из них сочетали крупноплодность с другими обязательными признаками сорта (урожайность, товарные качества ягод, иммунитет). Селекционное увеличение показателя урожайности должно происходить за счет повышения уровня составляющих компонентов

продуктивности, при условии не снижения значений других количественных генеративных образований (Кичина, 2005; Cockerton et al., 2020; Dale, 2020).

Объединить в одном генотипе высокие показатели хозяйственно ценных признаков и адаптивные свойства (устойчивость к болезням, засухе и другим неблагоприятным условиям) является весьма актуальной задачей.

Цель исследований – поиск источников полезных признаков сортов и форм малины для использования в селекционных программах.

Материалы и методы

Селекционная работа с малиной была начата в 2015 году в «НБС-ННЦ» отделении «Крымская опытная станция садоводства». Селекционный фонд получен путем привлечения в гибридизацию перспективных сортов, выделившихся по проявлению отдельных ценных признаков. Методом внутривидовой межсортовой гибридизации в сочетании с отбором проведено 15 комбинаций скрещивания с использованием отечественных и интродуцированных сортов, опылено 1,5 тыс. цветков, получено 26,5 тыс. штук гибридных семян. По мере отбора селекционного материала по хозяйственно ценным и адаптационным признакам наиболее перспективные образцы были размножены для дальнейшего изучения. Объекты исследований – сорта отечественной и зарубежной селекции, отборные и элитные формы малины *Rubus idaeus* L. Контролем являлся районированный сорт Бальзам. Насаждения заложены весной 2017 года. Наблюдения и учеты проводились согласно общепринятым методикам по селекции и сортоизучению (Лобанов, 1973; Кичина и др., 1995; Казаков и др., 1999). Устойчивость к болезням (дидимелла или пурпуровая пятнистость и антракноз) определялась в полевых условиях. Во время отбора гибридные растения, подверженные этим болезням в средней степени и выше, выбраковывались. Определение засухоустойчивости растений проводили по методическим рекомендациям (Еремеев, 1974; 1976). Выносливость сеянцев к засухе определяли в течение вегетационного периода в полевых условиях. Проявление увядания и слабого восстановления тургора листьев при высокой температуре воздуха и его сухости в период отбора служило показателем слабой засухоустойчивости. Погодные условия зимнего периода проведения исследований были благоприятными (мягкая, малоснежная зима). Повреждений морозами насаждений малины зафиксировано не было.

Результаты и их обсуждение

В работе приводятся результаты изучения наиболее перспективного селекционного материала, из числа которого были выделены образцы для передачи на государственное испытание. Сравнительный анализ фенологических данных исходных сортов и их потомства позволил распределить гибридные сеянцы малины по срокам созревания (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение сеянцев малины по срокам созревания

Комбинация скрещивания	Количество сеянцев, шт.	Срок созревания родительских форм		Выход сеянцев со сроком созревания, %			
		материнская	отцовская	ранний	средний	среднепоздний	поздний
Vicinite × Феномен	97	среднепоздний	средний	-	71	26	3
Vicinite × Патриция	128	среднепоздний	среднепоздний	-	29	34	37
Vicinite × Персея	109	среднепоздний	ранний	5	57	22	16
Патриция × Персея	118	среднепоздний	ранний	29	60	6	5
Феномен × Персея	58	средний	ранний	65	35	-	-

Наибольшее количество раннеспелых селекционных форм получено при скрещивании сортов комбинаций «средний × ранний» (65%), средних – в комбинациях «среднепоздний × ранний» (57...60%). Выход среднепоздних и поздних (34...37%) семян отмечен в комбинации «среднепоздний × среднепоздний». В комбинации Феномен × Персея получен значительный процент (65) семян с ранним сроком созревания, а участие в скрещивании сорта Персея со среднепоздними сортами Vicinite и Патриция способствовало получению от 5 до 29% таких семян и 57...60 % растений со средним сроком созревания. Это позволило сделать вывод, что сорт Персея передает потомству признак раннеспелости.

Одним из важных биологических признаков сорта, влияющим на его потенциальную продуктивность, является масса плода. При изучении наследования этого признака в комбинациях скрещиваний мелкоплодных сортов с крупноплодными были выявлены отдельные семена с очень крупными плодами. Это свидетельствует о том, что масса плода у гибридного потомства зависит от комбинации скрещивания. В таблице 2 представлены результаты распределения гибридного материала по группам: мелкоплодные (средняя масса – до 2 г), среднеплодные (от 2,1 до 3,4 г), крупноплодные (от 3,5 до 4 г) и с очень крупными плодами (более 4 г). При скрещивании крупноплодных сортов Патриция и Феномен со среднеплодным сортом Персея количество семян с очень крупными плодами составило 7 и 2% соответственно, крупноплодных – 31 и 40%, со средними плодами оказалось 40 и 29%, 22 и 29 – мелкоплодных. В комбинациях с участием этих же крупноплодных сортов с сортом Vicinite мелкоплодных семян получено 43 и 28%, с плодами средних размеров 42 и 38%, крупноплодных 11 и 27% соответственно, с очень крупными плодами 7% растений оказалось только в комбинации с участием сорта Феномен. При скрещивании двух среднеплодных сортов Vicinite и Персея количество гибридов с мелкими плодами составило 64%, со средними – 31 и с крупными – 5.

Таблица 2 – Распределение семян малины по массе плода

Комбинация скрещивания	Количество семян, шт.	Средняя масса плода родительских форм		Количество семян с плодами, %			
		материнская	отцовская	мелкими (до 2,0 г)	средними (2,1...3,4 г)	крупными (3,5...4,0 г)	очень крупными (более 4,0 г)
Vicinite × Феномен	97	средняя	крупная	28	38	27	7
Vicinite × Патриция	128	средняя	крупная	43	42	15	–
Vicinite × Персея	109	средняя	средняя	64	31	5	–
Патриция × Персея	118	крупная	средняя	22	40	31	7
Феномен × Персея	58	крупная	средняя	29	29	34	8

Анализ данных таблицы показывает, что в семьях растений с участием сорта Феномен наблюдается высокий процент (27...38%) выхода гибридов с крупными плодами.

Оценка вкусовых качеств плодов показала, что сорт Персея устойчиво передает потомству признак высоких вкусовых достоинств. Так, в комбинациях Vicinite × Персея, Патриция × Персея, Феномен × Персея отмечен самый высокий процент (45...75) выхода семян, плоды которых имели оценку вкуса 4,5...4,8 балла.

Урожайность гибридных растений была хорошая, а у многих высокая. Более 50% семян со степенью плодоношения 4...5 баллов оказалось в семьях с участием крупноплодных сортов Феномен, Патриция.

Высокая урожайность и хорошее качество плодов являются показателями устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды, под воздействием которых формируются и

развиваются растения. Все исходные формы, использованные в скрещиваниях, за исключением Vicinite, имели высокую засухоустойчивость. Высокая приспособленность семян к засушливым условиям летнего периода отмечена в семьях с участием сортов Персея и Феномен.

За период исследований наибольшее поражение патогенами (до 2,0 баллов) зафиксировано в 2020 году, когда сумма осадков за вегетационный период в два раза превысила многолетнюю норму, в комбинациях Vicinite × Персея и Vicinite × Патриция. Единичные точечные пятна (0,1...0,5 балла) отмечались у гибридных форм 6-15, 9-15, 11-15. На признак адаптации наиболее перспективны семьи с участием сортов Феномен и Персея.

В результате изучения гибридного фонда малины по хозяйственно ценным признакам были отобраны совмещающие в совокупности высокие показатели перспективные формы 6-15, 9-15, 11-15. В таблице 3 приводятся данные хозяйственно ценных признаков исходных сортов и отобранных гибридных форм.

Таблица 3 – Показатели хозяйственно ценных признаков родительских сортов и перспективных гибридных форм малины 2019...2022 гг.

Сорт, гибридная форма	Происхождение	Средняя масса ягоды, г	Оценка вкуса, балл	Степень плодоношения, балл	Засухоустойчивость	Устойчивость к болезням
Бальзам (к.)	Newburg × Bulgarian Ruby	2,6	4,3	4,0	Средняя	Средняя
Vicinite	Гибридные формы EM6304/36 и EM6330/96	3,2	4,5	4,8	Средняя	Средняя
Патриция	Марсейка × донор М 102	3,6	4,5	4,5	Высокая	Средняя
Персея	Гибридные формы 16-324 × 4-4	3,0	4,8	5,0	Высокая	Высокая
Феномен	Столичная × Одарка	3,7	4,5	5,0	Высокая	Высокая
6-15	Vicinite × Феномен	3,8	4,8	5,0	Высокая	Высокая
7-15	Vicinite × Персея	2,5	4,5	4,8	Высокая	Средняя
9-15	Vicinite × Патриция	3,5	4,9	5,0	Высокая	Высокая
11-15	Патриция × Персея	3,8	4,8	5,0	Высокая	Высокая
28-15	Феномен × Персея	3,1	4,8	4,5	Высокая	Высокая
НСР ₀₅		0,4	0,3	0,4		

Были выделены формы, превосходящие контрольный сорт Бальзам по отдельным признакам: высокие вкусовые качества, устойчивость к болезням – форма 28-15, с высокой урожайностью – 7-15, с высокой засухоустойчивостью – 7-15, 28-15. По комплексу исследуемых признаков выделились гибридные формы 6-15 (сорт Руслана), 9-15 (сорт Сельсепиль), 11-15 (сорт Гармония), которые были переданы на государственное испытание. Сорта Руслана и Гармония в 2023 году внесены в Государственный Реестр селекционных достижений РФ (рисунок 1). Полученные сорта с несколькими хозяйственно полезными признаками являются ценными исходными формами в селекции.



Рисунок 1 – Сорта малины селекции «НБС-ННЦ»

Заключение

Включение в гибридизацию сорта Персея способствовало передаче потомству признака раннеспелости. При скрещивании сортов комбинаций: «средний × ранний» получено 65% раннеспелых селекционных форм; «среднепоздний × ранний» – среднеспелых 57...60%; «среднепоздний × среднепоздний» получено среднепоздних 34 и поздних 37% сеянцев.

В селекции с участием сортов Патриция, Феномен наблюдается высокий процент (27...38%) выхода гибридов с крупными плодами.

Сорт Персея в комбинациях Vicinite × Персея, Патриция × Персея, Феномен × Персея устойчиво передает потомству признак высоких вкусовых достоинств на 4,5...4,8 балла.

Источниками высокой степени плодоношения (5 баллов) являются сорта Vicinite, Персея, Феномен, Гармония, Руслана, Сельсепиль.

Новыми источниками в дальнейшей селекции на адаптивные свойства (засухоустойчивость и устойчивость к болезням) являются Патриция, Персея, Феномен, Гармония, Руслана, Сельсепиль, и формы 7-15, 28-15.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Богомолова Н.И., Резвякова С.В., Lupin M.B. Крупноплодность и многоплодность перспективных генотипов малины красной как основа высокой продуктивности в условиях Центральной России // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020а. 4. 117-123. <https://www.elibrary.ru/mwzdcr>
2. Богомолова Н.И., Резвякова С.В., Lupin M.B. Биологическая продуктивность и фактическая урожайность малины красной как основа высокой экономической эффективности в условиях Центральной России // Вестник аграрной науки. 2020b. 3. 10-16. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.3.10>
3. Евдокименко С.Н., Сазонов Ф.Ф., Андропова Н.В. Селекция ягодных культур на Кокинском опорном пункте ФГБНУ ВСТИСП // Селекция, семеноводство и технология плодово-ягодных культур и картофеля. Сборник научных трудов. Том 18. Челябинск: ЮУНИИСК, 2016. 95-110. <https://www.elibrary.ru/wqupjh>
4. Еремеев Г.Н., Лищук А.И. Отбор засухоустойчивых сортов и подвоев плодовых растений: методические указания. Ялта: ГНБС. 1974. 18.
5. Еремеев Г.Н. Методы оценки устойчивости плодовых культур // Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды. Ленинград: Колос. 1976. 101-115.
6. Жидехина Т.В., Родюкова О.С., Гурьева И.В., Хромов Н.В., Брыксин Д.М. Современные тенденции в обновлении промышленного сортамента ягодных и нетрадиционных

- садовых культур // Достижения науки и техники АПК. 2019. № 2 (33). С. 22-26. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10206>
7. Казаков И.В., Евдокименко С.Н. Малина ремонтантная. М.: ВСТИСП, 2007. 287. <https://elibrary.ru/qkysbf>
 8. Кичина В.В. Крупноплодные малины России. М.: ВСТИСП. 2005. 208.
 9. Куликов И.М., Евдокименко С.Н., Тумаева Т.А., Келина А.В., Сазонов Ф.Ф., Андропова Н.В., Подгаецкий М.А. Научное обеспечение ягодоводства России и перспективы его развития // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. 25, 4. 414-419. <https://doi.org/10.18699/VJ21.046>
 10. Подгаецкий М.А., Евдокименко С.Н. Новый исходный материал для совершенствования сортимента малины в Центральном регионе России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021а. 22, 5. 725-734. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.725-734>
 11. Подгаецкий М.А., Евдокименко С.Н. Селекционная оценка исходных форм малины по крупноплодности // Садоводство и виноградарство. 2021b. 1. 16-22. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-1-16-22>
 12. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Г.А. Лобанова. Мичуринск: ВНИИС, 1973. 198-222.
 13. Кичина В.В., Казаков И.В., Грюнер Л.А. Селекция малины и ежевики // Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК, 1995. 368-386. <https://elibrary.ru/efsxzi>
 14. Казаков И.В., Грюнер Л.А., Кичина В.В. Малина, ежевика и их гибриды // Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 374-395. <https://elibrary.ru/yhapqh>
 15. Cockerton H., Unzueta M.B., Johnson A.W., Dieguez A.V., Fernández F.F. Pathway analysis to determine factors contributing to overall quality scores in four berry crops // Journal of Horticultural Research. 2020. 21, 2. 35-42. <https://doi.org/10.2478/johr-2020-0025>
 16. Dale A. Next steps in breeding for yield in raspberries // Acta Horticulturae. 2020. 1277. 11-16. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.2>
 17. Hall H.K., Hummer K.E., Jamieson A.R., Jennings S.N. Weber, C.A. Raspberry breeding and genetics // Plant Breeding Reviews Vol. 32. New Jersey: Wiley Blackwell. 2009. 39-353. <https://doi.org/10.1002/9780470593806.ch2>
 18. Huynh N.K., Wilson M.D., Eyles A., Stanley R.A. Recent advances in postharvest technologies to extend the shelf life of blueberries (*Vaccinium* sp.), raspberries (*Rubus idaeus* L.) and blackberries (*Rubus* sp.) // Journal of Berry Research. 2019. 9, 4. 687-707. <http://dx.doi.org/10.3233/jbr-190421>
 19. Veljković B., Šoštarić I., Dajić-Stevanović Z., Liber Z., Šatović Z. Genetic structure of wild raspberry populations in the Central Balkans depends on their location and on their relationship to commercial cultivars // Scientia Horticulturae. 2019. 256. 108606. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108606>

References

1. Bogomolova, N.I., Rezvyakova, S.V., & Lupin, M.V. (2020). Large and megaplanet promising genotypes of red raspberry as the foundation of high productivity in conditions of Central Russia. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*, 4, 117-123. <https://www.elibrary.ru/mwzdcr>. (In Russian, English abstract).
2. Bogomolova, N.I., Rezvyakova, S.V., & Lupin, M.V. (2020). Biological productivity and actual yield of red raspberries as the basis for high economic efficiency in the conditions of Central

- Russia. *Bulletin of Agrarian Science*, 3, 10-16. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.3.10>. (In Russian, English abstract).
3. Evdokimenko, S.N., Sazonov, F.F., & Andronova, N.V. (2016). Breeding of berry crops at the Kokinsky support point of the VSTISP. In *Breeding, Seed Production and Technology of Fruit and Berry Crops and Potatoes* (Vol 18, pp 95-110). YUNIISK. <https://www.elibrary.ru/wqupjh>. (In Russian, English abstract).
4. Ereemeev, G.N., & Lishchuk, A.I. (1974). *Selection of Drought-Resistant Varieties and Rootstocks of Fruit Plants*. GNBS. (In Russian).
5. Ereemeev, G.N. (1976). Methods for assessing the resistance of fruit crops. In *Methods for Assessing Plant Resistance to Adverse Environmental Conditions* (pp 101-115). Kolos. (In Russian).
6. Zhidyokhina, T.V., Rodyukova, O.S., Guryeva, I.V., Khromov, N.V., & Bryksin, D.M. (2019). Modern trends in commercial assortment upgrading of berry and non-traditional horticultural crops. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, 2, 22-26 <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10206>. (In Russian, English abstract).
7. Kazakov, I.V., & Evdokimenko, S.N. (2007). *Ever-Bearing (Primocane-Fruiting) Raspberry*. VSTISP. EDN: <https://elibrary.ru/qkysbf>. (In Russian).
8. Kichina, V.V. (2005). *Large-Fruited Raspberries of Russia*. VSTISP. (In Russian).
9. Kulikov, I.M., Evdokimenko, S.N., Tumaeva, T.A., Kelina, A.V., Sazonov, F.F., Andronova, N.V., & Podgaetsky, M.A. (2021). Scientific support of small fruit growing in Russia and prospects for its development. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 25(4), 414-419. <https://doi.org/10.18699/VJ21.046>. (In Russian, English abstract).
10. Podgaetsky, M.A., & Evdokimenko, S.N. (2021). New source material for improving raspberry assortment in the Central region of Russia. *Agricultural Science Euro-North-East*, 22(5), 725-734. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.725-734>. (In Russian, English abstract).
11. Podgaetsky, M.A., & Evdokimenko, S.N. (2021). Evaluation of parental raspberry breeding forms for fruit size. *Horticulture and Viticulture*, 1, 16-22. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-1-16-22>. (In Russian, English abstract).
12. Lobanov, G.A. (Ed.). (1973). *Program and Methods of Variety Investigation of Fruit, Berry and Nut Crops* (pp 198-222). VNIIS. (In Russian).
13. Kichina, V.V., Kazakov, I.V., & Gruner, L.A. (1999). Raspberry and blackberry breeding. In E.N. Sedov (Ed.), *Program and Methods Fruit, Berry and Nut Crop Breeding* (pp. 368-386). VNIISPK. <https://elibrary.ru/efsxzi>. (In Russian).
14. Kazakov, I.V., Gruner, L.A., & Kichina, V.V. (1999). Raspberries, blackberries and their hybrids. In E.N. Sedov & T.P. Ogoltsova (Eds.), *Program and Methods of Variety Investigation of Fruit, Berry and Nut Crops* (pp. 374-395). VNIISPK. <https://elibrary.ru/yhapqh>. (In Russian).
15. Cockerton, H., Unzueta, M.B., Johnson, A.W., Dieguez, A.V., & Fernández, F.F. (2020). Pathway analysis to determine factors contributing to overall quality scores in four berry crops. *Journal of Horticultural Research*, 28(2), 35-42. <https://doi.org/10.2478/johr-2020-0025>
16. Dale, A. (2020). Next steps in breeding for yield in raspberries. *Acta Horticulturae*. 1277, 11-16. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.2>
17. Hall, H.K., Hummer, K.E., Jamieson, A.R., Jennings, S.N., & Weber, C.A. (2009). Raspberry breeding and genetics. In Jules Janick (Ed.). *Plant Breeding Reviews* (Vol. 32, pp 39-353). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470593806.ch2>
18. Huynh, N.K., Wilson, M.D., Eyles, A., & Stanley, R.A. (2019). Recent advances in postharvest technologies to extend the shelf life of blueberries (*Vaccinium* sp.), raspberries (*Rubus idaeus* L.) and blackberries (*Rubus* sp.). *Journal of Berry Research*, 9(4), 687-707. <http://dx.doi.org/10.3233/jbr-190421>

19. Veljković, B., Šoštarić, I., Dajić-Stevanović, Z., Liber, Z., & Šatović, Z. (2019). Genetic structure of wild raspberry populations in the Central Balkans depends on their location and on their relationship to commercial cultivars. *Scientia Horticulturae*, 256, 108606. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108606>

Автор:

Зера Ильмиевна Арифова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и сортоизучения ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», arifova.zera.sanie@mail.ru
ORCID 0000-0002-6023-6221
SPIN 3868-4846

Author details:

Zera I. Arifova, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher in Laboratory of Selection and Variety Study of the Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, arifova.zera.sanie@mail.ru
ORCID 0000-0002-6023-6221
SPIN 3868-4846

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 664.8

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ХРАНЕНИЯ И УПАКОВКИ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*FRAGARIA* × *ANANASSA DUCH.*) (ОБЗОР)

Л.Ч. Бурак¹ , Н.Л. Овсянникова¹

¹ООО «БЕЛПРОСАКВА», ул. Пономаренко, 35А, 220015, Минск, Республика Беларусь info@belrosakva.by

Аннотация

Послеуборочная обработка плодов земляники садовой и разработка эффективных методов хранения имеют решающее значение для увеличения срока годности и сохранения ее качества до момента потребления. Хотя были опубликованы некоторые обзоры по отдельным технологиям обработки, нами не установлено исследований, которые рассматривали и сравнивали традиционные и передовые методы консервирования земляники садовой. Поэтому, цель данного исследования – обзор современных послеуборочных методов хранения земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa Duch.*). В обзор включены статьи, опубликованные на английском и русском языках за период с 2014 по 2024 год. Для поиска, по ключевым словам, были использованы базы данных PubMed, Scopus, Web of Science, Elibrary и Google Scholar. Материалом для исследования послужили 56 научных публикаций. В первой части нашего исследования рассмотрены процессы метаболизма и биохимии, которые лежат в основе процесса созревания земляники садовой, дан анализ факторов, вызывающих порчу плодов земляники садовой, а также представлены современные способы ее обработки. Сохранение земляники садовой с использованием радиационной, световой или тепловой обработки может предотвратить рост микроорганизмов и повысить устойчивость плодов к болезням. Однако эти методы могут оказать негативное влияние на пищевую ценность, цвет и вкус ягод с течением времени. Холодильное хранение является наиболее часто применяемым методом хранения земляники садовой после сбора урожая по всей цепочке поставок. Помимо холодильного хранения, тщательно изучены и индивидуально применены для дальнейшего увеличения срока годности плодов земляники послеуборочные методы обработки, включая термический, холодную плазму и химическую обработку. Эти обработки помогают предотвратить заражение грибками, активируют систему метаболической защиты и улучшают структурную целостность ягод земляники садовой тем самым сохраняя их качество с течением времени, особенно при холодильном хранении. Помимо методов обработки, хранение в условиях модифицированной атмосферы, применение активной упаковки и функциональных покрытий были признаны действенными способами сохранения качества плодов и эффективного предотвращения порчи после сбора урожая. Кроме того, комбинированное использование двух или более из этих методов оказалось наиболее эффективным для улучшения срока годности плодов садовой земляники. Анализ противогрибковой эффективности современных методов консервирования, изучение синергии между различными методами и разработка решений на основе биополимеров представляют собой ключевой путь для будущих исследований.

Ключевые слова: земляника садовая, хранение, порча, срок годности, упаковка, модифицированная среда, умная упаковка, биополимеры, съедобное покрытие

MODERN METHODS OF STORAGE AND PACKAGING OF GARDEN STRAWBERRIES (*FRAGARIA* × *ANANASSA* DUCH.) (REVIEW)

L.Ch. Burak¹ , N.L. Ovsyannikova¹

¹LLC "BELROSAKVA", Ponomarenko str., 35A, 220015, Minsk, Republic of Belarus info@belrosakva.by

Abstract

Postharvest treatment of garden strawberries and the development of effective storage methods are crucial to increase the shelf life and preserve its quality until consumption. Although some reviews on certain treatment technologies have been published, we have not found studies that considered and compared common and advanced methods of storing garden strawberries. Therefore, the goal of this study is to review modern postharvest methods of strawberry storage (*Fragaria* × *ananassa* Duch). The review includes reports published in English and Russian in 2014—2024. PubMed, Scopus, Web of Science, Elibrary and Google Scholar databases were used to search by keywords. 50 scientific publications have been studied. In the first part of our study, the metabolic and biochemistry processes that underlie the ripening process of strawberries are considered, the factors that cause spoilage of strawberry berries are analyzed, and modern methods of strawberry treatment are presented. The preservation of garden strawberries using radiation, light or heat treatment can prevent the development of microorganisms and increase the resistance of berries to diseases. However, these methods can have a negative impact on the nutritional value, color and taste of berries over time. Cold storage is the most commonly used method of storing garden strawberries after harvest throughout the supply chain. In addition to cold storage, post-harvest treatment methods, including thermal, cold plasma and chemical treatments, have been carefully studied and individually applied to further increase of the strawberry shelf life. These treatments help to prevent fungal infection, activate the metabolic protection system and improve the structural integrity of strawberry berries, thereby maintaining their quality over time, especially during cold storage. In addition to treatment methods, storage in a modified atmosphere, the application of active packaging and functional coatings have been recognized as effective ways to preserve the quality of berries and effectively prevent spoilage after harvest. In addition, the combined use of two or more of these methods has proven to be the most effective for improving the shelf life of garden strawberries. The analysis of the antifungal effectiveness of modern storage methods, study of the synergy between different methods and the development of solutions based on biopolymers represent a key path for future research.

Key words: garden strawberries, storage, spoilage, shelf life, packaging, modified environment, smart packaging, biopolymers, edible coating

Введение

Земляника садовая (далее земляника) – скоропортящаяся ягода потери которой в процессе послеуборочного хранения и реализации достигают до 50%. Эти потери не только приводят к значительному экономическому ущербу, но и снижают пищевую ценность ягод земляники, которая богата витаминами, антиоксидантами и минералами. Высокий потенциал микробного заражения ягод земляники и связанные с этим риски для здоровья обуславливают необходимость послеуборочной дезинфекции плодов земляники. Методы послеуборочной обработки и хранения имеют решающее значение для свежих ягод из-за их короткого срока годности, уменьшения порчи и продления свежести (возможно «сроков годности»). Традиционные методы снижения потерь урожая земляники включают физическую, например, охлаждение или облучение, и химическую обработку, например, применение фунгицидов или консервантов. Однако растущая обеспокоенность по поводу

воздействия на окружающую среду и рисков для здоровья, связанных с этими методами, побудила научное сообщество искать более безопасные альтернативы (Акимов, 2020, Бурак, 2024). Было разработано несколько экологически чистых методов физической обработки для дезинфекции свежей продукции после сбора урожая. Широко используются такие методы, как обработка под высоким давлением и обработка интенсивным импульсным светом (Бурак, 2024; Rizky et al., 2024). Помимо этих методов обработки, еще одной стратегией хранения свежих плодов земляники после сбора урожая является упаковка. Упаковка играет важную функцию в сохранении качества свежей продукции после того, как она покидает хранилища, попадает в торговую сеть и в итоге покупается потребителями (Бурак и др., 2023а). Различные методы упаковки, такие как активная упаковка, а также активное покрытие и хранение в модифицированной среде (MAP), использовались для сохранения качества земляники (Błaszczuk et al., 2022). Несмотря на множество положительных результатов научных исследований об этих методах послеуборочного хранения земляники, на момент написания данной статьи нами не установлено обзоров, которые бы всесторонне анализировали все эти методы послеуборочной обработки плодов земляники. Хотя были опубликованы по отдельным послеуборочным обработкам обзорные статьи, но ни одно исследование не рассматривало и не сравнивало традиционные и передовые методы обработки и хранения земляники.

Цель данного исследования – обзор современных методов хранения и упаковки плодов земляники садовой, с целью снижения потерь от микробиологической порчи и продления срока годности.

Объекты и методы исследования

Для анализа применения современных послеуборочных методов хранения и упаковки плодов земляники, с целью снижения потерь от микробиологической порчи и продления срока годности был проведен обзор научных публикаций и электронных ресурсов за период с 2014 по 2024 годы. Поиск релевантной литературы осуществлялся через научные базы данных Scopus, Web of Science и РИНЦ, Google Scholar. Исследование включало работы, опубликованные на английском и русском языках. Систематический обзор результатов исследований был проведен согласно критериям PRISMA 2020. Отбор источников для анализа реализовался по следующим ключевым словам: «strawberry», «storage», «spoilage», «shelf life», «packaging», «modified environment», «smart packaging», «biopolymers», «edible coating», «земляника садовая», «хранение», «порча», «срок годности», «упаковка», «модифицированная среда», «умная упаковка», «биополимеры», «съедобное покрытие», «обеззараживание», упаковка в модифицированной среде», «съедобное покрытие». Критерии включения для статей, подлежащих анализу:

1. Статья опубликована в период с 2014 по 2024 гг.;
2. Статья соответствует теме исследования;
3. Типы анализируемых статей – оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, краткие отчеты.

Критерии исключения для статей, подлежащих анализу: статья не соответствует теме данного обзора; статья написана не на английском языке, статья на русском языке не входит в РИНЦ; содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

1 Способы хранения

Послеуборочная обработка плодов земляники и разработка эффективных методов хранения имеют решающее значение для увеличения срока ее годности и сохранения ее качества до момента потребления. С этой целью были разработаны различные технологические процессы послеуборочной обработки и дезинфекции, включая термическую и химическую обработку; методы хранения, такие как хранение в контролируемой атмосфере (CAS) и холодильное хранение; методы упаковки, такие как MAP (Бурак и др., 2023a).

Наиболее важным фактором минимизации порчи плодов земляники является управление температурой. Высокие температуры во время хранения могут привести к более высокой скорости дыхания и сокращению срока годности (Mahmoudi et al., 2022; Rizky et al., 2024). Колебания температуры в цепочке поставок значительно влияют на срок годности плодов земляники; также температура хранения напрямую влияет на скорость транспирации плодов (Bovi et al., 2019). С увеличением скорости транспирации относительная влажность внутри контейнеров для хранения повышается и влияет на процесс плавления. Плавление, фазовый переход из твердого состояния в жидкое, происходит, когда относительная влажность поднимается выше точки росы из-за поглощения влаги из атмосферы. Точка росы определяется как значение относительной влажности, выше которого кристаллы, присутствующие в плодах, начинают поглощать большое количество воды из атмосферы и растворяться в ней (Bovi et al., 2019). Это растворение фруктозы оказывает серьезное негативное влияние на структурную целостность земляники, что со временем приводит к ее деградации и порче. Следовательно, мониторинг и контроль температуры в цепочке поставок имеют первостепенное значение (Бурак и др., 2023a; Bovi et al., 2019).

В настоящее время основными методами сохранения урожая земляники являются холодильное хранение и MAP. Эти методы направлены на снижение метаболической активности в землянике для продления срока ее хранения (Brizzolara et al., 2020). Однако это может привести к повреждению из-за аноксии и охлаждения, что может отрицательно повлиять на общее качество ягод (Brizzolara, et al., 2020). Сохранение земляники с использованием радиационной, световой или тепловой обработки может предотвратить рост микроорганизмов порчи и повысить устойчивость ягод к болезням. Однако, эти методы могут оказать негативное влияние на пищевую ценность, цвет и вкус ягод с течением времени (Бурак, 2024; Mahmoudi et al., 2022; Rizky et al., 2024; Salazar-Orbea et al., 2021). Кроме того, методы обработки и хранения ограничены складскими помещениями и в основном недоступны после того, как фрукты попадают на полки супермаркетов и к конечному потребителю. На этом этапе важную роль в сохранении качества фруктов принадлежит упаковке, такой как MAP. Однако, следует отметить, что MAP может способствовать продлению срока годности земляники только за счет задержки метаболизма и, следовательно, процесса созревания, не оказывая значительного влияния на их микробную порчу. Кроме того, большинство полимеров, используемых в настоящее время для изготовления MAP, представляют собой неразлагаемые пластики на основе нефти, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду (Бурак, 2024; Paulsen et al., 2024). За последние годы были исследованы различные инновационные виды упаковки и покрытия на основе биополимеров, которые действуют не только за счет задержки метаболических процессов, ограничивая газообмен между фруктами и окружающей средой, но также могут предотвращать микробное загрязнение и окисление питательных веществ. Несмотря на свою многофункциональность, упаковка на основе биополимеров еще не в полной мере получила широкое использование в промышленных условиях из-за ее ограниченной технологичности, что в настоящее время является основной темой многих

научных исследований работающих в этой области ученых во всем мире (Бурак, 2024; Westlake et al., 2023). Тем не менее, в этой области достигнут несомненный прогресс, и упаковочные и материалы покрытия на основе биополимеров демонстрируют большой потенциал для промышленного внедрения в ближайшем будущем. Во второй части нашего научного обзора более подробно рассматриваются различные методы послеуборочной обработки, хранения и упаковки, которые используются для сохранения качества земляники после сбора урожая и увеличения срока ее годности.

1.1 Хранение в контролируемой среде

Несмотря на неоднократные подтверждения, что упаковка в модифицированной атмосфере (MAP) эффективно продлевает срок годности различных свежих продуктов, в полной мере осуществлять контроль условий в упаковке в течение всей цепочки поставок не получилось. Поэтому хранение CAS применялся для дальнейшего продления срока годности свежих продуктов, особенно когда интервалы в цепочке поставок были значительными. CAS подразумевает хранение свежих продуктов в среде с более низким уровнем кислорода и/или более высокой концентрацией углекислого газа при температуре ниже 4°C и относительной влажности более 90% (Fragoso, Mújica-Paz, 2016). Для каждого вида продукта характерны свои оптимальные условия хранения. Параметры устанавливаются в герметичном помещении и постоянно контролируется и поддерживается в течение всего периода хранения (Fragoso, Mújica-Paz, 2016). CAS не только снижает скорость химических и биохимических реакций, но и подавляет рост патогенных микроорганизмов, тем самым сохраняя качество продукта и продлевая срок годности. Как следует из определения, низкие температуры являются неотъемлемыми атрибутами CAS. Таким образом, контролируемая атмосфера (CA) с пониженной температурой могут использоваться в качестве метода консервации для повышения безопасности и продления срока годности минимально обработанных продуктов. Кроме того, CA используют только природные компоненты атмосферы (O_2 , CO_2 и N_2) и получили общественное признание, поскольку не используются синтетические вещества, не оставляя токсичных остатков на продуктах (Méndez-Galarraga et al., 2022). От первоначального признания преимуществ хранения CA по сравнению со стандартным хранением в охлажденном воздухе, произошло несколько значительных достижений в технологиях и стратегиях контроля атмосферы. Эти достижения включают использование методов очистки CO_2 для управления уровнями CO_2 , улучшенные технологии для создания атмосферы с низким содержанием O_2 , разработку систем «оценка и корректирование» для контроля атмосферы и инновации в протоколах контроля атмосферы (Czerwiński et al., 2021). Несмотря на то, что плоды земляники классифицируются как неклиматерические, они выделяют меньше CO_2 (примерно до 129 мг/кг/ч при 23°C) и значительно меньше этилена (Alamar et al., 2017). Изменение состава газа оказывает положительное влияние на сохранность фруктов, снижая дыхательную активность и увеличивая срок годности (Méndez-Galarraga et al., 2022). Однако влияние на присутствующие микроорганизмы может варьироваться в зависимости от природы пищевых продуктов и условий хранения. Было установлено, что высокие уровни CO_2 (5...15 кПа) и низкие уровни O_2 (1...5 кПа) эффективны для продления срока годности свежих фруктов за счет снижения выработки этилена, скорости дыхания и предотвращения роста аэробных микроорганизмов. Однако эти уровни газа могут способствовать росту анаэробных микроорганизмов и ухудшать качество продукта. Альтернативой является использование концентраций O_2 выше атмосферных (более 70 кПа), которые, как было показано, эффективно подавляют ферментативную порчу и рост микробов во фруктах, хранящихся в атмосферах с низким содержанием O_2 (Belay et al. 2017). Кроме того, исследования

показывают, что сочетание высоких уровней CO_2 и O_2 обеспечивает более эффективное подавление роста микроорганизмов, что потенциально обеспечивает условия для продления срока годности свежих продуктов по сравнению с использованием отдельных газов (Méndez-Galarraga et al., 2022). F. van de Velde с соавторами (2019) хранили фрукты в атмосферах с высоким содержанием CO_2 (10...20 кПа) и высоким содержанием O_2 (70...90 кПа) и изучали влияние условий хранения на содержание фенольных соединений. Авторы обнаружили значительное увеличение (167%) содержания антоцианов в плодах земляники, хранящейся в атмосфере 10 кПа CO_2 и 90 кПа O_2 . Кроме того, свежесобранные плоды, помещенные в атмосферу 20 кПа CO_2 и 80 кПа O_2 , показали длительные значения лаг-фазы (λ), что приводило к задержке роста психротрофных и мезофильных микроорганизмов на 12 и 10 дней соответственно (Méndez-Galarraga et al., 2022). В этом исследовании было отмечено, что в землянике, хранящаяся при высоком уровне CO_2 и/или O_2 , снижается содержание витамина С (на 22...36%). Однако повышенный уровень CO_2 также может способствовать усилению деградации витамина С, стимулируя действие фермента пероксидазы. Поэтому авторы пришли к выводу, что для достижения лучшего микробиологического контроля, сохранения качества урожая земляники повышения содержания в ней антоцианов рекомендуется хранить ее в охлажденной атмосфере с 20 кПа CO_2 и 70 кПа O_2 (Méndez-Galarraga et al., 2022). Многие авторы сообщали о синергетическом эффекте высоких уровней CO_2 и O_2 на микробиологический контроль, поскольку CO_2 изменяет текучесть мембраны микроорганизма и изменяет внутренний pH клетки за счет выработки угольной кислоты (El-Araby et al., 2023; van de Velde et al., 2019). J. Błaszczuk с соавторами (2022) оценили влияние даты сбора урожая, атмосферного воздуха, модифицированной атмосферы и СА на качество сортов земляники после краткосрочного хранения. Условия СА и модифицированной атмосферы обеспечили лучшее качество хранящейся земляники по сравнению с воздушной атмосферой в отношении твердости, титруемой кислотности, растворимых сухих веществ и содержания аскорбиновой кислоты. Хранение земляники в условиях СА снижает скорость дыхания и процесс размягчения плодов.

Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на определение оптимальной продолжительности и концентрации СА, с целью продления срока хранения и сокращение послеуборочных потерь земляники.

2 Методы упаковки

Сохранение качества плодов земляники после сбора урожая стало серьезной проблемой для исследователей и сектора агробизнеса (Karoney et al., 2024). Поэтому исследования многих ученых посвящены разработке инновационных технологий сокращения потерь после сбора урожая, включая съедобные покрытия (Zhang et al., 2023; Mueller et al., 2024), MAP (Giannoglou et al., 2021), интеллектуальную упаковку (Hoffmann et al., 2022), активную упаковку (Бурак, 2023; Бурак и др., 2023b; Finardi et al., 2022). и другие. В отличие от традиционных технологий, эти методы помогают увеличить срок хранения земляники даже во время логистических и транспортных процессов, которые невозможно применить с использованием традиционных методов. Современные методы упаковки свежих продуктов не только оптимизируют MAP с помощью композиций инертного газа, но также включают разработку биоактивных полимерных пленок или покрытий с антимикробными свойствами путем иммобилизации антимикробных агентов в полимерных/биополимерных матрицах, включения и высвобождения летучих и нелетучих антимикробных агентов внутри упаковок в дополнение к использованию изначально антимикробных биополимеров (Бурак, 2024).

2.1 Упаковка в модифицированной газовой среде

Продление срока годности плодов земляники – сложный процесс, на который влияют характеристики продукта (транспирация, дыхание), условия окружающей среды (газовый состав, температура и относительная влажность атмосферы), а также ферментативная и микробиологическая порча (Nguyen et al., 2020). С целью максимального сохранения качества фруктов охлаждение необходимо дополнять одним или несколькими методами обработки, такими как упаковка MAP, что значительно продлевает срок хранения и сохраняет качество земляники (Carvalho Do Lago et al., 2023). MAP определяется как метод упаковки, который включает в себя изменение атмосферы внутри упаковки пищевых продуктов путем изменения состава газа по сравнению с тем, который обычно наблюдается в природе (Бурак и др., 2023а; Priyadarshi et al., 2020). Данный метод позволяет достичь оптимального состава газа в непосредственной близости от продукта, который зависит от дыхания продукта и проницаемости газа через пленку (Opara et al., 2019). Математическое моделирование стало эффективным инструментом для прогнозирования влияния MAP на упакованную землянику. С. Matar с соавторами (2018) провели количественную оценку срока хранения земляники (сорт Charlotte), хранящейся в MAP (O_2 – 20,9%, CO_2 – 0,03% и N_2 – 79,07%), используя обновленный и проверенный инструмент моделирования как в изотермических (5, 10 и 20 °C), так и в неизотермических условиях. Численное исследование различных условий хранения по времени/температуре позволило спрогнозировать продление срока годности более чем на 1 день, что указывает на значительные преимущества с точки зрения улучшения срока годности этого продукта в MAP, которые включают сокращение потерь продовольствия в цепочке поставок после сбора урожая. Недавнее исследование, проведенное С. Matar с соавторами (2020) было направлено на оценку влияния использования MAP вместо макроперфорированной упаковки на минимизацию потерь свежей земляники (Charlotte) от сбора урожая до конечного потребителя. Результаты продемонстрировали потенциал значительного сокращения потерь плодов до 40%, когда MAP внедряется на протяжении всей послеуборочной цепочки и эффективно используется потребителями дома. Если бы все потребители хранили землянику в холодильнике в упаковке MAP потери были бы сокращены на 74%. Пленки с различной проницаемостью (высокая, средняя и низкая) могут использоваться для упаковки свежих продуктов в условиях MAP. Проницаемость пленок разрабатывается с учетом специфики продукта, чтобы газы, такие как O_2 , CO_2 и водяной пар, выходили или входили в упаковку контролируемым образом, чтобы обеспечить условия для аэробного дыхания и поддерживались желаемые уровни CO_2 и влажности. Результаты показали, что в условиях модифицированной атмосферы и влажности предотвращение конденсации достигалось с помощью пленок, обладающих высокой проницаемостью для водяного пара (Matar et al., 2020).

MAP, наряду с холодильным хранением, широко используется для продления срока годности земляники. X. Zhao с соавторами (2019) исследовали комбинированную систему холода и MAP для свежих плодов. Исследование было сосредоточено на изолированной коробке из вспененного полистирола, интегрированной с материалами с изменяемой фазой и MAP для сохранения качества свежей земляники (*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. *Akihime*). Результаты показали, что этот метод эффективно сохраняет вес плодов, а MAP значительно сокращает потерю массы во время хранения. Подводя итог, можно сказать, что интегрированная система упаковки положительно повлияла на различные параметры, включая потерю веса, общее содержание растворимых сухих веществ, твердость, цвет, относительную электропроводность, скорость дыхания и общий внешний вид.

Хотя научные исследования подчеркивают преимущества и эффективность MAP по увеличению срока хранения для земляники, конкретные параметры хранения не во всех исследованиях установлены. Поэтому применение данного метода в послеуборочной цепочке встречается пока крайне редко. Тем не менее, технология может найти широкое применение в будущем, поскольку появятся новые упаковочные пленки, приемлемые для пищевых продуктов. Упаковка с модифицированными условиями газовой среды (MAP), наряду с хранением в условиях охлаждения, выделяется как эффективный метод увеличения срока годности земляники (Matar et al., 2020).

2.2 Упаковка и покрытия на основе биополимеров

Пластики на основе нефти являются наиболее широко используемым упаковочным материалом в пищевой промышленности, поскольку они недорогие, легкие, долговечные и простые в обработке (Purohit et al., 2023). Однако крупномасштабное производство и неправильная утилизация этих материалов вызывают серьезные экологические проблемы во всем мире (Бурак и др., 2023b). Следовательно, растет тенденция к разработке устойчивых и экологически чистых полимерных материалов для замены неразлагаемых и загрязняющих окружающую среду (Бурак, 2023; Бурак и др., 2023a).

Пленки и покрытия на основе биополимеров, полученные из возобновляемых источников, включают в себя различные материалы, полученные из продуктов животного (полисахариды, белки, липиды), растительного (целлюлоза, крахмал, другие полисахариды, белки), микробного происхождения (декстран, ксантан, пуллулан) и полимеры, синтезированные химическим путем из мономеров природного происхождения (полимолочная кислота) (Priyadarshi et al., 2019).

2.3 Активная упаковка

Для продления срока хранения свежих плодов земляники использовались различные биополимерные упаковочные пленки. Активная упаковка – это передовая технология, в которой активные компоненты (например, антиоксиданты) внедряются в полимерную матрицу упаковки. Затем полимерная матрица высвобождает или поглощает вещества из консервированных пищевых продуктов или окружающей среды или в них, чтобы поддерживать и продлевать срок годности пищевых продуктов (Бурак и др., 2023a). Система функционирует как полимерная матрица, основанная на использовании полимеров или биополимеров и биоактивных веществ, высвобождаемых естественным путем в пищу или окружающую среду. Активная упаковка для пищевых продуктов представляет собой хороший потенциал для поддержания качества и безопасности пищевых продуктов, особенно продуктов, чувствительных к окислению. Активные агенты для упаковки пищевых продуктов включают противомикробные препараты, антиоксиданты, излучатели или поглотители углекислого газа, поглотители кислорода и поглотители этилена (Бурак и др., 2023a). Биополимерные материалы обладают значительным потенциалом для инкапсуляции различных биоактивных соединений (из эфирных масел, растительных экстрактов и других источников), включая антиоксиданты, антибактериальные агенты, ароматизаторы, красители и питательные вещества (Бурак, 2023; Zhang et al., 2022a; Zhang et al., 2022b). Кроме того, биополимеры могут содержать антиоксидантные соединения и обладать свойствами контролируемого высвобождения, что делает их эффективными в изготовлении различных форм материалов для активной упаковки (Riahi et al., 2022). Нановолокна, наночастицы, гидрогели, полимерные микросферы и мицеллы являются носителями, обычно используемыми для инкапсуляции и доставки биоактивных соединений (Ke et al., 2023). Среди них электропряденные нановолокна в последнее время приобрели

большой интерес из-за их улучшенных механических свойств по сравнению с обычными пленками, которые изготавливаются другими методами, такими как литье из раствора (Riahi et al., 2022). Различные исследователи изготавливали электропряденные нановолоконные пленки на основе биополимеров, содержащие менее стабильные биоактивные соединения, такие как эфирные масла и натуральные экстракты, для упаковки пищевых продуктов. Электропрядение – это простая, эффективная и недорогая технология, которая позволяет непрерывно формировать субмикро волокна, которые могут быть обработаны в условиях окружающей среды, без воздействия высокой температуры. Поэтому электропрядение может быть использовано для инкапсуляции многих термически нестойких активных веществ. Y. Li с соавторами (2020) разработали поливинилпирролидон/шеллак нановолоконные пленки с ядром и оболочкой, включенные в эвгенол с помощью коаксиального электропрядения. Пленки были применены в качестве базового мата в коробке, используемой для упаковки земляники. Противогрибковая активность электропряденого мата была обусловлена наличием эвгенола, который является ароматическим активным компонентом, присутствующим в некоторых эфирных маслах, таких как гвоздичное масло, который медленно высвобождается из матов в атмосфере упаковки, чтобы подавить рост микроорганизмов на поверхности упакованных плодов. Такие соединения известны как антибактериальные ароматические соединения (ААС). ААС являются биоактивными компонентами, традиционно извлекаемыми из натуральных специй или эфирных масел с эффективной антибактериальной активностью. Исследователи наблюдали замедление ухудшения консистенции, потери веса и гниения плодов земляники, хранящейся в коробках с активными нановолоконными матами по сравнению с контрольными группами без активных матов. Плоды земляники в контрольной группе сгнили в течение 2 дней хранения при температуре 25°C и относительной влажности 60%. Напротив, активные маты сохранили землянику в течение шести дней без каких-либо признаков гниения. Исследователи объяснили это сохранение качества снижением интенсивности дыхания земляники в присутствии летучего эвгенола и его противогрибковой активностью (Li et al., 2020).

Другим популярным биоактивным соединением, стабилизированным электропрядеными нановолокнами, является тимол. Исследования доказали эффективность тимолола в качестве активатора в пленках, применяемых для консервации земляники (Min et al., 2021; Zhang et al., 2022). Высвобождение тимолола из активного материала способствует снижению физиологической активности плодов земляники, которая увеличивается после сбора урожая. Во время хранения и транспортировки с течением времени относительная влажность среды внутри упаковки возрастает, что увеличивает скорость высвобождения тимолола из активного материала и продлевает срок годности земляники (Du et al., 2023).

Помимо биоактивных соединений в нановолоконных матах для сохранения земляники также использовались фотокаталитические наноматериалы. S.D. Deshapriya и I. Munaweera (2024) разработали фотокаталитические активные в видимом свете наноматериалы ZnO, легированные кобальтом, и внедрились в электропряденные нановолоконные маты на основе ацетата целлюлозы, которые использовались для упаковки и хранения земляники. Маты оказались эффективными для продления срока годности земляники за счет фотокаталитического разложения этилена на CO₂ и H₂O, что также повлияло на скорость дыхания и привело к незначительному изменению pH, замедлению потери веса и ухудшения консистенции. Первые признаки порчи грибок появились у земляники, упакованной в фотокаталитические электропряденные волокнистые маты и хранившейся в холодильнике (4°C), только через 18 дней по сравнению с 6 днями в контрольной группе, что указывает на трехкратное увеличение срока хранения (Deshapriya, Munaweera, 2024). Несмотря на

ограниченные исследования по сохранению земляники с использованием активных упаковочных пленок на основе биополимеров, большинство из них сосредоточены на применении съедобных активных ароматических соединений в качестве функциональных ингредиентов в пленках, которые высвобождаются при различных условиях для дезинфекции земляники и окружающей среды.

2.4 Съедобное покрытие на основе биополимеров

Съедобные покрытия, определяемые как тонкий слой, нанесенный непосредственно на поверхность пищевого продукта, создают барьер между плодами и окружающей средой. Покрытия на поверхности фруктов и овощей наносятся путем распыления, опрыскивания, погружения в раствор (Basumatary et al., 2022; Zhang et al., 2023). Съедобное покрытие частично блокирует обмен водяным паром между фруктом и окружающей его средой. В то же время оно играет важную роль в изменении атмосферы вокруг плода, выступая в качестве барьера для газообмена (Бурак, 2024). Исследования показали, что съедобные покрытия играют важную роль в сохранении фитонутриентов в свежих или нарезанных плодах. J. Yan с соавторами (2019) исследовали первичные и вторичные метаболиты плодов земляники садовой, покрывали ее методом послойного электростатического осаждения (LBL) на основе хитозана и карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), либо покрывали 1% хитозаном и обнаружили, что съедобное покрытие снижает потерю твердости и ароматических соединений во время хранения. Исследователи также провели метаболомный анализ и сделали вывод, что покрытие LBL снижает уровни первичных и вторичных метаболитов во время хранения в холодильнике при 0°C, тем самым сохраняя качество земляники в течение 8 дней. Другие исследователи также разработали покрытия для земляники на основе биополимера без каких-либо функциональных добавок. Например, Н.Е. Tahir с соавторами (2018) продемонстрировали эффективность съедобного покрытия из гуммиарабика в увеличении общего содержания антиоксидантов, а также содержания антоцианов и фенолов в охлажденной землянике. В исследовании G. Alharaty и H.S. Ramaswami (2020) земляника, покрытая раствором на основе альгината, показала значительное снижение потери воды и массы по сравнению с контрольной группой без покрытия. Покрытия также эффективно продлевают срок хранения земляники до 15 дней при температуре 4°C, препятствуя появлению плесени на ее поверхности (Alharaty, Ramaswamy, 2020). Кроме того, использование активных антимикробных полимеров, таких как хитозан, обеспечивает улучшенную защиту. Хитозан – натуральный, нетоксичный, экологически чистый, биоразлагаемый полимер с антибактериальными свойствами, также изучался для консервирования земляники (El-Araby et al., 2022; Tahir et al., 2019). В исследовании A. Etmatifar с соавторами (2019), земляника, покрытая съедобным покрытием на основе салепы, обогащенным экстрактом виноградных косточек, показала самый низкий рост микроорганизмов в течение 20 дней хранения при температуре +1°C и относительной влажности 95%. Помимо экстрактов из растительного сырья в составы биополимерных покрытий для земляники также были включены экстракты из сельскохозяйственных отходов. Покрытие земляники гидроксиэтилцеллюлозой, полученной из отходов спаржи, эффективно замедляло изменение цвета во время хранения, демонстрируя при этом повышенную противогрибковую активность против *Penicillium italicum*. Кроме того, это покрытие успешно сохраняло содержание фенолов и флавоноидов в плодах, продлевая срок ее хранения до 8 дней при 25°C и относительной влажности 80% (Liu et al., 2021).

На основании результатов отмеченных исследований можно сделать вывод, что покрытия не только сохраняют качество земляники, но и продлевают срок ее хранения, предотвращая гниение и микробную порчу. Исследования также показали, что для

достижения более высокой эффективности послеуборочного хранения земляники эту технологию можно легко комбинировать с другими существующими технологиями хранения, такими как холодное хранение.

3 Проблемы и перспективы

Несмотря на значительные достижения в области продления сроков хранения и упаковки земляники после сбора урожая, сохраняются многочисленные проблемы, которые мешают оптимальному процессу хранения и дистрибуции. Земляника, ввиду своей высокой влажности и содержания питательных веществ является хорошим субстратом для развития микроорганизмов, вызывающих ее порчу в процессе хранения на складах и реализации в торговой сети. Хотя различные методы консервации после сбора урожая, такие как обработка химикатами, облучением, плазмой и теплом, были определены как эффективные, они требуют жесткого контроля параметров обработки, отсутствие которого в противном случае могут оказать пагубное влияние на качество плодов земляники. Кроме того, эти методы обработки применяются однократно на самых начальных этапах после сбора урожая и не всегда могут оказать положительное влияние на протяжении всей цепочки поставок. Перспективный подход к решению этой проблемы включает в себя синергетическое сочетание этих методов для большей их эффективности. Послеуборочная обработка земляники с помощью облучения, холодной плазмы, тепла и безопасных химикатов с последующим применением активной упаковки/покрытия и, наконец, хранением в условиях низких температур и контролируемой газовой атмосферы может привести к значительному увеличению срока хранения после сбора урожая. Хотя проводились исследования по оценке эффективности комбинированных методов, большинство из них включают только методы химической обработки или облучения (Contigiani et al., 2021; Panou et al., 2021). В дальнейшем, для разработки всеобъемлющих и эффективных способов хранения земляники необходимо проводить исследования других комбинаций, особенно такие как упаковка или покрытия на основе биополимеров. Кроме того, необходимы исследования для разработки натуральных и устойчивых альтернатив химикатам, таким как гипохлорит натрия (NaOCl), которые широко используются для дезинфекции после сбора урожая (Promyou et al., 2023).

Другим важным фактором, влияющим на срок хранения земляники в процессе цепочки поставок, является ее чувствительность к колебаниям температуры, что является постоянной проблемой, приводящей к потерям продукции. Следует отметить, что технологии упаковки MAP, такие как Xtend, оказались приемлемы для эффективной замены методов на базе CAS, сохраняя газообразный состав внутри упаковки (Błaszczuk et al., 2022). Упаковка Xtend обеспечивает сбалансированность атмосферы упакованных продуктов в пределах оптимального диапазона O₂ и CO₂ для конкретного вида продукции. Она также удерживает влагу внутри упаковки, уменьшая тем самым потерю массы при хранении. Вместе с тем, на сегодняшний день не существует методов, которые могли бы эффективно решать проблемы, связанные с колебаниями температуры, поэтому разработка таких методов также является перспективным направлением исследований. Кроме того, серьезную озабоченность вызывает воздействие традиционных пластиковых упаковочных материалов на окружающую среду, что обуславливает потребность в более экологических альтернативах (Бурак и др., 2023b). Несмотря на увеличение количества исследований составов на основе биополимеров, редко встречаются технологии, разработанные с использованием только биополимеров. Например, FruitPad включает только средний слой на основе целлюлозы, тогда как внешние верхний и нижний слои представляют собой полиэтилен. Необходимость включения неразлагаемого пластика для использования

свойств биоразлагаемых материалов возникает из-за ограниченной возможности переработки биополимеров промышленными методами в их нативном состоянии. Кроме того, биополимеры имеют гораздо более низкую влагостойкость по сравнению с синтетическими пластиками, что отрицательно влияет на их другие физико-химические свойства, например, механическая прочность (Cui et al., 2023). Эти факторы создают необходимость включения опорных субстратов для биополимеров на основе пластика. Будущие исследования должны быть направлены на устранение данных ограничений. Также следует продолжать научные исследования по использованию съедобных покрытий для земляники. Биополимеры могут эффективно покрывать свежие плоды в виде полупроницаемого слоя, который может играть важную роль в достижении эффекта, подобного MAP, снижая интенсивность дыхания и созревание плодов, а также обеспечивая физический барьер против микроорганизмов, вызывающих порчу. Более того, они являются эффективными носителями натуральных активных соединений, которые могут не только замедлять рост микроорганизмов, но и предотвращать окисление и деградацию питательных веществ. Следует также отметить, что они устойчивы, широко распространены, недороги, съедобны и биосовместимы, что с точки зрения экологических и экономических аспектов представляет потенциал для хранения свежей продукции после сбора урожая, включая землянику.

В целом, исследования должны быть направлены на изучение и решение обсуждаемых проблем, с которыми сталкивается сельскохозяйственный сектор, разработку новых современных способов, которые потенциально могут сохранить плоды после сбора урожая, будучи безопасными для людей и окружающей среды.

Заключение

Достижения в области упаковки и способов обработки земляники после сбора урожая играют важную роль в продлении срока годности и сохранении ее качества. Холодильное хранение является наиболее часто применяемым методом увеличения срока годности и предотвращения микробиологической порчи для плодов земляники после сбора урожая по всей цепочке поставок. Помимо холодильного хранения, для дальнейшего увеличения срока хранения земляники были тщательно изучены и индивидуально применены такие методы обработки после сбора урожая как термический, облучение, с использованием ионизирующего излучения, такого как рентгеновские лучи, гамма-лучи, электронные пучки и УФ-С, обработка холодной плазмой и обработка химическими веществами. Полезными для сохранения качества плодов земляники и эффективного предотвращения порчи после сбора урожая, помимо методов обработки, являются контроль газовой среды с помощью CAS, применение активной упаковки и функциональных покрытий. Хотя большинство методов послеуборочной обработки применяются в условиях промышленного производства, у каждого из них есть свои достоинства и недостатки. В процессе хранения земляники в условиях модифицированной газовой среды (MAP) происходят различные физиологические реакции, зависящие от сорта и конкретных условий хранения. MAP может замедлять процессы размягчения плодов и уменьшать потерю веса, также MAP влияет на активность ферментов, связанных с биосинтезом этилена и размягчением клеточной стенки, что позволяет сохранить качество плодов. При хранении земляники в MAP необходимо учитывать динамическую реакцию плодов на условия упаковки, особенно если используются различные типы упаковочных материалов, таких как PA, PP, PE, LDPE, LLDPE, PS, PES, PET, EVOH и PVC. Эти полимеры являются наиболее распространёнными в MAP и обладают разными свойствами, влияющими на газообмен и сохранение свежести продуктов. Следует отметить, что преимущества MAP могут быть нивелированы при

вскрытии упаковки или наличии повреждений, что приводит к быстрой порче плодов. Кроме того, одной из актуальных задач при использовании МАР остаётся контроль скорости транспирации, что особенно важно для свежих продуктов, таких как земляника. Таким образом, для эффективного хранения земляники в МАР важно учитывать специфические физиологические реакции каждого сорта и обеспечивать постоянный контроль состояния упаковки и условий хранения. Технология МАР эффективна и доступна для промышленного использования, но данная технология по-прежнему предполагает применение пластиковых контейнеров на основе нефтепродуктов, которые имеют негативные экологические последствия. Методы активной упаковки и покрытия на основе биополимеров, несмотря на их высокую эффективность в сохранении качества плодов земляники после сбора урожая, не получили широкого применения по причине высокой себестоимости и не отработанных параметров использования. Рассмотрение противогрибковой эффективности методов консервации, изучение синергии между различными методами и разработка решений на основе биополимеров представляют собой ключевой путь для будущих исследований. В целом, будущие исследования должны быть направлены на изучение и решение обсуждаемых проблем, с которыми сталкивается сельскохозяйственный сектор, и разработку новых устойчивых решений, которые потенциально могут сохранить плоды после сбора урожая, будучи безопасными для людей и окружающей среды.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Акимов М.Ю., Лукьянчук И.В., Жбанова Е.В., Лыжин А.С. Плоды земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) как ценный источник пищевых и биологически активных веществ (обзор) // Химия растительного сырья. 2020. 1. 5-18. <https://elibrary.ru/iwnokh>
2. Бурак Л.Ч. Влияние современных способов обработки и стерилизации на качество плодовоовощного сырья и соковой продукции. М.: ИНФРА-М, 2024. 236. <https://doi.org/10.12737/2154991>
3. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н., Писарик М.И. Интеллектуальная упаковка для овощей и фруктов, классификация и перспективы использования: Обзор предметного поля // Health, Food & Biotechnology. 2023a. 5, 1. 51-80. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i1.s165>
4. Бурак Л.Ч., Ермошина Т.В., Королева Л.П. Загрязнение почвенной среды микропластиком, факторы влияния и экологические риски // Экология и промышленность России. 2023b. 27, 5. 58-63. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-5-58-63>
5. Бурак Л.Ч. Обзор разработок биоразлагаемых упаковочных материалов для пищевой промышленности // Ползуновский вестник. 2023. 1. 91-105. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.012>
6. Alamar M.C., Collings E., Cools K., Terry L.A. Impact of controlled atmosphere scheduling on strawberry and imported avocado fruit // Postharvest Biology and Technology. 2017. 134. 7686. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.003>
7. Alharaty G., Ramaswamy H.S. The effect of sodium alginate-calcium chloride coating on the quality parameters and shelf life of strawberry cut fruits // Journal of Composites Science. 4, 3. 123. <https://doi.org/10.3390/jcs4030123>
8. Basumatary I.B., Mukherjee A., Katiyar V., Kumar S. Biopolymer-based nanocomposite films and coatings: Recent advances in shelf-life improvement of fruits and vegetables // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. 62, 7. 1912-1935. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1848789>

9. Belay Z.A., Caleb O.J., Opara U.L. Impacts of low and super-atmospheric oxygen concentrations on quality attributes, phytonutrient content and volatile compounds of minimally processed pomegranate arils (cv. Wonderful) // *Postharvest Biology and Technology*. 2017. 124. 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.10.007>
10. Bovi G.G., Caleb O.J., Klaus E., Tintchev F., Rauh C., Mahajan P.V. Moisture absorption kinetics of FruitPad for packaging of fresh strawberry // *Journal of Food Engineering*. 2019. 223. 248-254. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.10.012>
11. Brizzolara S., Manganaris G.A., Fotopoulos V., Watkins C.B., Tonutti P. Primary metabolism in fresh fruits during storage. // *Frontiers in Plant Science*. 2020. 11. 509561. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00080>
12. Błaszczyk J., Bieniasz M., Nawrocki J., Kopeć M., Mierzwa-Hersztek M., Gondek K., Zaleski T., Knaga J., Bogdał S. The effect of harvest date and storage conditions on the quality of remontant strawberry cultivars grown in a gutter system under covers // *Agriculture*. 2022. 12, 8. 1193. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081193>
13. Carvalho Do Lago R., Zitha E.Z.M., de Oliveira A.L.M., de Abreu D.J.M., Carvalho E.E.N., Piccoli R.H., Tonoli G.H.D., Boas E.V.D.B.V. Effect of coating with co-product-based bionanocomposites on the quality of strawberries under refrigerated storage // *Scientia Horticulturae*. 2023. 309. 111668. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111668>
14. Contigiani E.V., Jaramillo Sánchez G.M., Castro M.A., Gómez P.L., Alzamora S.M. Efficacy of mild thermal and pulsed light treatments, individually applied or in combination, for maintaining postharvest quality of strawberry cv. Albion // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021. 45, 1. e15095. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15095>
15. Cui C., Gao L., Dai L., Ji N., Qin Y., Shi R., Qiao Y., Xiong L., Sun Q. Hydrophobic biopolymer-based films: Strategies, properties, and food applications // *Food Engineering Reviews*. 2023. 15, 2. 360-379. <https://doi.org/10.1007/S12393-023-09342-6>
16. Czerwiński K., Rydzkowski T., Wróblewska-Krepsztul J., Thakur V.K. Towards impact of modified atmosphere packaging (MAP) on shelf-life of polymer-film-packed food products: Challenges and sustainable developments // *Coatings*. 2021. 11, 12. 1504. <https://doi.org/10.3390/coatings11121504>
17. Deshapriya S.D., Munaweera I. Visible-light-active electrospun membranes based on cobalt-doped ZnO nanohybrids: Applications for food packaging // *Chemistry Select*. 2024. 9, 9. e202303830. <https://doi.org/10.1002/SLCT.202303830>
18. Du H., Sun X., Chong X., Yang M., Zhu Z., Wen Y. A review on smart active packaging systems for food preservation: Applications and future trends // *Trends in Food Science & Technology*. 2023. 141. 104200. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104200>
19. El-Araby A., Azzouzi A., Ayam I.M., Samouh K.F., Errachidi F. Survey on technical management of strawberries in Morocco and evaluation of their post-harvest microbial load. // *Frontiers in Microbiology*. 2023. 13. 1115340. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2022.1115340>
20. El-Araby A., El Ghadraoui L., Errachidi F. Usage of biological chitosan against the contamination of post-harvest treatment of strawberries by *Aspergillus niger* // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022. 6. 881434. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.881434>
21. Emamifar A., Ghaderi Z., Ghaderi N. Effect of salep-based edible coating enriched with grape seed extract on postharvest shelf life of fresh strawberries // *Journal of Food Safety*. 2019. 39, 6. e12710. <https://doi.org/10.1111/jfs.12710>
22. Finardi S., Hoffmann T.G., Angioletti B.L., Mueller E., Lazzaris R.S., Bertoli S.L., Hlebová M., Khayrullin M., Nikolaeva N., Shariati M.A., Krebs de Souza C. Development and application of antioxidant coating on *Fragaria* spp. stored under isothermal conditions // *Journal of*

- Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2022. 11, 4. e5432. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5432>
23. Fragoso A.V., Mújica-Paz H. Controlled atmosphere storage: Effect on fruit and vegetables // Encyclopedia of food and health / B. Caballero, P.M. Finglas, F. Toldrá Eds. Academic Press, 2016. 308-311. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00197-5>
 24. Giannoglou M., Xanthou Z.M., Chanioti S., Stergiou P., Christopoulos M., Dimitrakellis P., Efthimiadou A., Gogolides E., Katsaros G. Effect of cold atmospheric plasma and pulsed electromagnetic fields on strawberry quality and shelf-life // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2021. 68. 102631. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102631>
 25. Hoffmann T.G., Finardi S., de Oliveira J.T., Mueller E., Bertoli S.L., Meghwal M., de Souza C.K. Comparative study of white LED light and dark condition in domestic refrigerator on reducing postharvest strawberries waste // Journal on Food, Agriculture and Society. 2022. 10, 2. 1-10. <https://doi.org/10.17170/kobra-202204136007>
 26. Karoney E.M., Molelekoa T., Bill M., Siyoum N., Korsten L. Global research network analysis of fresh produce postharvest technology: Innovative trends for loss reduction // Postharvest Biology and Technology. 2024. 208. 112642. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112642>
 27. Ke Q., Ma K., Zhang Y., Meng Q., Huang X., Kou X. Antibacterial aroma compounds as property modifiers for electrospun biopolymer nanofibers of proteins and polysaccharides: A review // International Journal of Biological Macromolecules. 2023. 253. 126563. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126563>
 28. Li Y., Dong Q., Chen J., Li L. Effects of coaxial electrospun eugenol loaded core-sheath PVP/shellac fibrous films on postharvest quality and shelf life of strawberries // Postharvest Biology and Technology. 2020. 159. 111028. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111028>
 29. Liu C., Jin T., Liu W., Hao W., Yan L., Zheng L. Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit // LWT. 2021. 148. 111770. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.11177>
 30. Mahmoudi R., Razavi F., Rabiei V., Palou L., Gohari G. Postharvest chitosan-arginine nanoparticles application ameliorates chilling injury in plum fruit during cold storage by enhancing ROS scavenging system activity // BMC Plant Biology. 2022. 22, 1. 1-17. <https://doi.org/10.1186/S12870-022-03952-8>
 31. Matar C., Gaucel S., Gontard N., Guilbert S., Guillard V. Predicting shelf life gain of fresh strawberries 'Charlotte cv' in modified atmosphere packaging // Postharvest Biology and Technology. 2018. 142. 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.002>
 32. Matar C., Guillard V., Gauche K., Costa S., Gontard N., Guilbert S., Gaucel S. Consumer behaviour in the prediction of postharvest losses reduction for fresh strawberries packed in modified atmosphere packaging // Postharvest Biology and Technology. 2020. 163. 111119. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2020.111119>
 33. Méndez-Galarraga M.P., van de Velde F., Piagentini A.M., Pirovani M.É. Kinetic modeling of the changes in bioactive compounds and quality attributes of fresh-cut strawberries stored in controlled atmospheres with high oxygen alone or with carbon dioxide // Postharvest Biology and Technology. 2022. 190. 111947. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111947>
 34. Min T., Sun X., Zhou L., Du H., Zhu Z., Wen Y. Electrospun pullulan/PVA nanofibers integrated with thymol-loaded porphyrin metal-organic framework for antibacterial food packaging // Carbohydrate Polymers. 2021. 270. 118391. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2021.118391>
 35. Mueller E., Hoffmann T.G., Schmitz F.R.W., Helm C.V., Roy S., Bertoli S.L., de Souza C.K. Development of ternary polymeric films based on cassava starch, pea flour and green banana flour for food packaging // International Journal of Biological Macromolecules. 2024. 256. 128436. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128436>

36. Nguyen V.T.B., Nguyen D.H.H., Nguyen H.V.H. Combination effects of calcium chloride and nano-chitosan on the postharvest quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) // Postharvest Biology and Technology. 2020. 162. 111103. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111103>
37. Opara U.L., Caleb O.J., Belay Z.A. Modified atmosphere packaging for food preservation // Food quality and shelf life. Elsevier, 2019. 235-259. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817190-5.00007-0>
38. Panou A.A., Akrida-Demertzi K., Demertzis P., Riganakos K.A. Effect of gaseous ozone and heat treatment on quality and shelf life of fresh strawberries during cold storage // International Journal of Fruit Science. 2021. 21, 1. 218-231. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1866735>
39. Paulsen E., Barrios S., Bogdanoff N., Leandro G.C., Valencia G.A. Recent progress in modified atmosphere packaging and biopolymeric films and coatings for fresh strawberry shelf-life extension // Packaging Technology and Science. 2024. 37. 619-640. <https://doi.org/10.1002/PTS.2817>
40. Priyadarshi R., Kumar B., Deeba F., Kulshreshtha A., Negi Y.S. Food packaging: Natural and synthetic biopolymers // Encyclopedia of polymer applications / M. Mishra Ed. : Taylor and Francis Publishers, 2019. 1325-1342. <https://doi.org/10.1201/9781351019422-140000362>
41. Priyadarshi R., Deeba F., Sauraj, Negi Y.S. Modified atmosphere packaging development // Processing and development of polysaccharide-based biopolymers for packaging applications / Y. Zhang Ed. Elsevier, 2020. 261-280. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818795-1.00011-3>
42. Promyou S., Raruang Y., Chen Z.Y. Melatonin treatment of strawberry fruit during storage extends its post-harvest quality and reduces infection caused by *Botrytis cinerea* // Foods. 2023. 12, 7. 1445. <https://doi.org/10.3390/FOODS12071445>
43. Purohit S.D., Priyadarshi R., Bhaskar R., Han S.S. Chitosan-based multifunctional films reinforced with cerium oxide nanoparticles for food packaging applications // Food Hydrocolloids. 2023. 143. 108910. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2023.108910>
44. Riahi Z., Priyadarshi R., Rhim J.W., Lottali E., Bagheri R., Pircheraghi G. Alginate-based multifunctional films incorporated with sulfur quantum dots for active packaging applications // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2022. 215. 112519. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2022.112519>
45. Rizky W.M., Pamungkas A.P., Falah M.A.F. Prediction of respiration measurement based on temperature differences of fresh strawberry (*Fragaria × ananassa* var. Kelly Bright) in a tropical environment // Planta Tropika. 2024. 12. 58-72. <https://doi.org/10.18196/pt.v12i1.17855>
46. Salazar-Orbea G.L., García-Villalba R., Tomás-Barberán F.A., Sánchez-Siles L.M. High-pressure processing vs. thermal treatment: Effect on the stability of polyphenols in strawberry and apple products // Foods. 2021. 10. 2919. <https://doi.org/10.3390/FOODS10122919>
47. Tahir H.E., Xiaobo Z., Jiyong S., Mahunu G.K., Zhai X., Mariod A.A. Quality and postharvest-shelf life of cold-stored strawberry fruit as affected by gum arabic (*Acacia senegal*) edible coating // Journal of Food Biochemistry. 2018. 42. e12527. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12527>
48. Tahir H.E., Xiaobo Z., Mahunu G.K., Arslan M., Abdalhai M., Zhihua L. Recent developments in gum edible coating applications for fruits and vegetables preservation: A review // Carbohydrate Polymers. 2019. 224. 115141. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115141>
49. van de Velde F., Méndez-Galarraga M.P., Grace M.H., Fenoglio C., Lila M.A., Pirovani M.É. Changes due to high oxygen and high carbon dioxide atmospheres on the general quality and the polyphenolic profile of strawberries // Postharvest Biology and Technology. 2019. 148. 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.015>

50. Yan J., Luo Z., Ban Z., Lu H., Li D., Yang D., Aghdam M.S., Li L. The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage // *Postharvest Biology and Technology*. 2019. 147. 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.002>
51. Westlake J.R., Tran M.W., Jiang Y., Zhang X., Burrows A.D., Xie M. Biodegradable biopolymers for active packaging: Demand, development and directions // *Sustainable Food Technology*. 2023. 1. 50-72. <https://doi.org/10.1039/D2FB00004K>
52. Zhang W., Liu R., Sun X., An H., Min T., Zhu Z., Wen Y. Leaf-stomata-inspired packaging nanofibers with humidity-triggered thymol release based on thymol/EVOH coaxial electrospinning // *Food Research International*. 2022. 162. 112093. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.112093>
53. Zhang Y., Li S., Deng M., Gui R., Liu Y., Chen X., Lin Y., Li M., Wang Y., He W., Chen Q., Zhang Y., Luo Y., Wang X., Tang H. Blue light combined with salicylic acid treatment maintained the postharvest quality of strawberry fruit during refrigerated storage // *Food Chemistry: X*. 2022a. 15. 100384. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2022.100384>
54. Zhang Y., Yu H., Hu M., Wu J., Zhang C. Fungal pathogens associated with strawberry crown rot disease in China // *Journal of Fungi*. 2022b. 8. 1161. <https://doi.org/10.3390/JOF8111161/S1>
55. Zhang X., Wang M., Gan C., Ren Y., Zhao X., Yuan Z. Riboflavin application delays senescence and relieves decay in harvested strawberries during cold storage by improving antioxidant system // *LWT*. 2023. 182. 114810. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114810>
56. Zhao X., Xia M., Wei X., Xu C., Luo Z., Mao L. Consolidated cold and modified atmosphere package system for fresh strawberry supply chains // *LWT–Food Science and Technology*. 2019. 109. 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.032>

References

1. Akimov, M.Yu., Luk'yanchuk, I.V., Zhbanova, E.V., & Lyzhin, A.S. (2020). Strawberry fruit (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) as a valuable source of nutritional and bio-logically active substances (review). *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*, 1, 5-18. <https://elibrary.ru/iwnokh>. (In Russian, English abstract)
2. Burak, L.Ch. (2025). *The influence of modern methods of processing and sterilization on the quality of fruit and vegetable raw materials and juice products*. INFRA-M, <https://doi.org/10.12737/2154991>. (In Russian).
3. Burak, L.Ch., Sapach, A.N., & Pisarik, M.I. (2023a). Intelligent packaging for vegetables and fruits, and prospects for use. *Health, Food & Biotechnology*, 5(1), 51-80. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i1.s165>. (In Russian, English abstract).
4. Burak, L.Ch., Ermoshina T.V., & Koroleva L.P. (2023b). Pollution of the soil environment with microplastics, influencing factors and environmental risks. *Ecology and Industry of Russia*, 27(5), 58-63. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-5-58-63>. (In Russian, English abstract).
5. Burak L.Ch.(2023). Review of developments of biodegradable packaging materials for the food industry. *Polzunovsky Vestnik*, 1, 91-105. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.012>. (In Russian, English abstract).
6. Alamar, M.C., Collings, E., Cools, K., & Terry, L.A. (2017). Impact of controlled atmosphere scheduling on strawberry and imported avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 134, 7686. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.003>
7. Alharaty, G., & Ramaswamy, H.S. (2020). The effect of sodium alginate-calcium chloride coating on the quality parameters and shelf life of strawberry cut fruits. *Journal of Composites Science*, 4(3), 123. <https://doi.org/10.3390/jcs4030123>
8. Basumatary, I.B., Mukherjee, A., Katiyar, V., & Kumar, S. (2022). Biopolymer-based nanocomposite films and coatings: Recent advances in shelf-life improvement of fruits and

- vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(7), 1912-1935. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1848789>
9. Belay, Z.A., Caleb, O.J., & Opara, U.L. (2017). Impacts of low and super-atmospheric oxygen concentrations on quality attributes, phytonutrient content and volatile compounds of minimally processed pomegranate arils (cv. Wonderful). *Postharvest Biology and Technology*, 124, 119127. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.10.007>
10. Bovi, G.G., Caleb, O.J., Klaus, E., Tintchev, F., Rauh, C., & Mahajan, P.V. (2019). Moisture absorption kinetics of FruitPad for packaging of fresh strawberry. *Journal of Food Engineering*, 223, 248-254. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.10.012>
11. Brizzolara, S., Manganaris, G.A., Fotopoulos, V., Watkins, C.B., & Tonutti, P. (2020). Primary metabolism in fresh fruits during storage. *Frontiers in Plant Science*, 11, 509561. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00080>
12. Błaszczyk, J., Bieniasz, M., Nawrocki, J., Kopeć, M., Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., Zaleski, T., Knaga, J., & Bogdał, S. (2022). The effect of harvest date and storage conditions on the quality of remontant strawberry cultivars grown in a gutter system under covers. *Agriculture*, 12(8), 1193. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081193>
13. Carvalho Do Lago, R., Zitha, E.Z.M., de Oliveira, A.L.M., de Abreu, D.J.M., Carvalho, E.E.N., Piccoli, R.H., Tonoli, G.H.D., & Boas, E.V.D.B.V. (2023). Effect of coating with co-product-based bionanocomposites on the quality of strawberries under refrigerated storage. *Scientia Horticulturae*, 309, 111668. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111668>
14. Contigiani, E.V., Jaramillo Sánchez, G.M., Castro, M.A., Gómez, P.L., & Alzamora, S.M. (2021). Efficacy of mild thermal and pulsed light treatments, individually applied or in combination, for maintaining postharvest quality of strawberry cv. Albion. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), e15095. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15095>
15. Cui, C., Gao, L., Dai, L., Ji, N., Qin, Y., Shi, R., Qiao, Y., Xiong, L., & Sun, Q. (2023). Hydrophobic biopolymer-based films: Strategies, properties, and food applications. *Food Engineering Reviews*, 15(2), 360-379. <https://doi.org/10.1007/S12393-023-09342-6>
16. Czerwiński, K., Rydzkowski, T., Wróblewska-Krepsztul, J., & Thakur, V.K. (2021). Towards impact of modified atmosphere packaging (MAP) on shelf-life of polymer-film-packed food products: Challenges and sustainable developments. *Coatings*, 11(12), 1504. <https://doi.org/10.3390/coatings11121504>
17. Deshapriya, S.D., & Munaweera, I. (2024). Visible-light-active electrospun membranes based on cobalt-doped ZnO nanohybrids: applications for food packaging. *Chemistry Select*, 9(9), e202303830. <https://doi.org/10.1002/SLCT.202303830>
18. Du, H., Sun, X., Chong, X., Yang, M., Zhu, Z., & Wen, Y. (2023). A review on smart active packaging systems for food preservation: applications and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 141, 104200. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104200>
19. El-Araby, A., Azzouzi, A., Ayam, I.M., Samouh, K.F., & Errachidi, F. (2023). Survey on technical management of strawberries in Morocco and evaluation of their post-harvest microbial load. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1115340. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2022.1115340>
20. El-Araby, A., El Ghadraoui, L., & Errachidi, F. (2022). Usage of biological chitosan against the contamination of post-harvest treatment of strawberries by *Aspergillus niger*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 881434. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.881434>
21. Emamifar, A., Ghaderi, Z., & Ghaderi, N. (2019). Effect of saiep-based edible coating enriched with grape seed extract on postharvest shelf life of fresh strawberries. *Journal of Food Safety*, 39(6), e12710. <https://doi.org/10.1111/jfs.12710>
22. Finardi, S., Hoffmann, T.G., Angioletti, B.L., Mueller, E., Lazzaris, R.S., Bertoli, S.L., Hlebová, M., Khayrullin, M., Nikolaeva, N., Shariati, M.A., & Krebs de Souza, C. (2022). Development

- and application of antioxidant coating on *Fragaria* spp. Stored under isothermal conditions. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 11(4), e5432. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5432>
23. Frago, A.V., & Mújica-Paz, H. (2016). Controlled atmosphere storage: Effect on fruit and vegetables. In B. Caballero, P.M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 308-311). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00197-5>
24. Giannoglou, M., Xanthou, Z.M., Chanioti, S., Stergiou, P., Christopoulos, M., Dimitrakellis, P., Efthimiadou, A., Gogolides, E., & Katsaros, G. (2021). Effect of cold atmospheric plasma and pulsed electromagnetic fields on strawberry quality and shelf-life. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 68, 102631. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102631>
25. Hoffmann, T.G., Finardi, S., de Oliveira, J.T., Mueller, E., Bertoli, S.L., Meghwal, M., & de Souza, C.K. (2022). Comparative study of white LED light and dark condition in domestic refrigerator on reducing postharvest strawberries waste. *Journal on Food, Agriculture and Society*, 10(2), 1-10. <https://doi.org/10.17170/kobra-202204136007>
26. Karoney, E.M., Molelekoa, T., Bill, M., Siyoum, N., & Korsten, L. (2024). Global research network analysis of fresh produce postharvest technology: Innovative trends for loss reduction. *Postharvest Biology and Technology*, 208, 112642. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112642>
27. Ke, Q., Ma, K., Zhang, Y., Meng, Q., Huang, X., & Kou, X. (2023). Antibacterial aroma compounds as property modifiers for electrospun biopolymer nanofibers of proteins and polysaccharides: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126563. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126563>
28. Li, Y., Dong, Q., Chen, J., & Li, L. (2020). Effects of coaxial electrospun eugenol loaded core-sheath PVP/shellac fibrous films on postharvest quality and shelf life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 159, 111028. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111028>
29. Liu, C., Jin, T., Liu, W., Hao, W., Yan, L., & Zheng, L. (2021). Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit. *LWT*, 148, 111770. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111777>
30. Mahmoudi, R., Razavi, F., Rabiei, V., Palou, L., & Gohari, G. (2022). Postharvest chitosan-arginine nanoparticles application ameliorates chilling injury in plum fruit during cold storage by enhancing ROS scavenging system activity. *BMC Plant Biology*, 22, 1-17. <https://doi.org/10.1186/S12870-022-03952-8>
31. Matar, C., Gaucel, S., Gontard, N., Guilbert, S., & Guillard, V. (2018). Predicting shelf life gain of fresh strawberries 'Charlotte cv' in modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 142, 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.002>
32. Matar, C., Guillard, V., Gauche, K., Costa, S., Gontard, N., Guilbert, S., & Gaucel, S. (2020). Consumer behaviour in the prediction of postharvest losses reduction for fresh strawberries packed in modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 163, 111119. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2020.111119>
33. Méndez-Galarraga, M.P., van de Velde, F., Piagentini, A.M., & Pirovani, M.É. (2022). Kinetic modeling of the changes in bioactive compounds and quality attributes of fresh-cut strawberries stored in controlled atmospheres with high oxygen alone or with carbon dioxide. *Postharvest Biology and Technology*, 190, 111947. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111947>
34. Min, T., Sun, X., Zhou, L., Du, H., Zhu, Z., & Wen, Y. (2021). Electrospun pullulan/PVA nanofibers integrated with thymol-loaded porphyrin metal-organic framework for antibacterial food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 270, 118391. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2021.118391>

35. Mueller, E., Hoffmann, T.G., Schmitz, F.R.W., Helm, C.V., Roy, S., Bertoli, S.L., & de Souza, C.K. (2024). Development of ternary polymeric films based on cassava starch, pea flour and green banana flour for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 256, 128436. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128436>
36. Nguyen, V.T.B., Nguyen, D.H.H., & Nguyen, H.V.H. (2020). Combination effects of calcium chloride and nano-chitosan on the postharvest quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Postharvest Biology and Technology*, 162, 111103. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111103>
37. Opara, U.L., Caleb, O.J., & Belay, Z.A. (2019). Modified atmosphere packaging for food preservation. In *Food Quality and Shelf Life* (pp. 235-259). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817190-5.00007-0>
38. Panou, A.A., Akrida-Demertzi, K., Demertzis, P., & Riganakos, K.A. (2021). Effect of gaseous ozone and heat treatment on quality and shelf life of fresh strawberries during cold storage. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 218-231. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1866735>
39. Paulsen, E., Barrios, S., Bogdanoff, N., Leandro, G.C., & Valencia, G.A. (2024). Recent progress in modified atmosphere packaging and biopolymeric films and coatings for fresh strawberry shelf-life extension. *Packaging Technology and Science*, 37, 619-640. <https://doi.org/10.1002/PTS.2817>
40. Priyadarshi, R., Kumar, B., Deebe, F., Kulshreshtha, A., & Negi, Y.S. (2019). Food packaging: Natural and synthetic biopolymers. In M. Mishra (Ed.), *Encyclopedia of Polymer Applications* (1st ed., pp. 1325-1342). Taylor and Francis. <https://doi.org/10.1201/9781351019422-140000362>
41. Priyadarshi, R., Deebe, F., Sauraj, & Negi, Y.S. (2020). Modified atmosphere packaging development. In Y. Zhang (Ed.), *Processing and Development of Polysaccharide-Based Biopolymers for Packaging Applications* (pp. 261-280). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818795-1.00011-3>
42. Promyou, S., Raruang, Y., & Chen, Z.Y. (2023). Melatonin treatment of strawberry fruit during storage extends its post-harvest quality and reduces infection caused by *Botrytis cinerea*. *Foods*, 12(7), 1445. <https://doi.org/10.3390/FOODS12071445>
43. Purohit, S.D., Priyadarshi, R., Bhaskar, R., & Han, S.S. (2023). Chitosan-based multifunctional films reinforced with cerium oxide nanoparticles for food packaging applications. *Food Hydrocolloids*, 143, 108910. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2023.108910>
44. Riahi, Z., Priyadarshi, R., Rhim, J.W., Lotfali, E., Bagheri, R., & Pircheraghi, G. (2022). Alginate-based multifunctional films incorporated with sulfur quantum dots for active packaging applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 215, 112519. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2022.112519>
45. Rizky, W.M., Pamungkas, A.P., & Falah, M.A.F. (2024). Prediction of respiration measurement based on temperature differences of fresh strawberry (*Fragaria × ananassa* var. Kelly Bright) in a tropical environment. *Planta Tropika*, 12(1), 58-72. <https://doi.org/10.18196/pt.v12i1.17855>
46. Salazar-Orbea, G.L., García-Villalba, R., Tomás-Barberán, F.A., & Sánchez-Siles, L.M. (2021). High-pressure processing vs. thermal treatment: Effect on the stability of polyphenols in strawberry and apple products. *Foods*, 10, 2919. <https://doi.org/10.3390/FOODS10122919>
47. Tahir, H.E., Xiaobo, Z., Jiyong, S., Mahunu, G.K., Zhai, X., & Mariod, A.A. (2018). Quality and postharvest-shelf life of cold-stored strawberry fruit as affected by gum arabic (*Acacia senegal*) edible coating. *Journal of Food Biochemistry*, 42(3), e12527. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12527>
48. Tahir, H.E., Xiaobo, Z., Mahunu, G.K., Arslan, M., Abdalhai, M., & Zhihua, L. (2019). Recent developments in gum edible coating applications for fruits and vegetables preservation: a review. *Carbohydrate Polymers*, 224, 115141. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115141>

49. van de Velde, F., Méndez-Galarraga, M.P., Grace, M.H., Fenoglio, C., Lila, M.A., & Pirovani, M.É. (2019). Changes due to high oxygen and high carbon dioxide atmospheres on the general quality and the polyphenolic profile of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 148, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.015>
50. Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., Aghdam, M.S., & Li, L. (2019). The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.002>
51. Westlake, J.R., Tran, M.W., Jiang, Y., Zhang, X., Burrows, A.D., & Xie, M. (2023). Biodegradable biopolymers for active packaging: demand, development and direction. *Sustainable Food Technology*, 1, 50-72. <https://doi.org/10.1039/D2FB00004K>
52. Zhang, W., Liu, R., Sun, X., An, H., Min, T., Zhu, Z., & Wen, Y. (2022). Leaf-stomata-inspired packaging nanofibers with humidity-triggered thymol release based on thymol/EVOH coaxial electrospinning. *Food Research International*, 162, 112093. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.112093>
53. Zhang, Y., Li, S., Deng, M., Gui, R., Liu, Y., Chen, X., Lin, Y., Li, M., Wang, Y., He, W., Chen, Q., Zhang, Y., Luo, Y., Wang, X., & Tang, H. (2022a). Blue light combined with salicylic acid treatment maintained the postharvest quality of strawberry fruit during refrigerated storage. *Food Chemistry: X*, 15, 100384. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2022.100384>
54. Zhang, Y., Yu, H., Hu, M., Wu, J., & Zhang, C. (2022b). Fungal pathogens associated with strawberry crown rot disease in China. *Journal of Fungi*, 8(11), 1161. <https://doi.org/10.3390/JOF8111161/S1>
55. Zhang, X., Wang, M., Gan, C., Ren, Y., Zhao, X., & Yuan, Z. (2023). Riboflavin application delays senescence and relieves decay in harvested strawberries during cold storage by improving antioxidant system. *LWT*, 182, 114810. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114810>
56. Zhao, X., Xia, M., Wei, X., Xu, C., Luo, Z., & Mao, L. (2019). Consolidated cold and modified atmosphere package system for fresh strawberry supply chains. *LWT*, 109, 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.032>

Авторы:

Леонид Чеславович Бурак, кандидат технических наук, директор ООО «БЕЛРОСАКВА»,
leonidburak@gmail.com
ORCID 0000-0002-6613-439X
SPIN 3898-5389

Наталья Леонидовна Овсянникова, заместитель директора по технологии ООО
«БЕЛРОСАКВА», info@belrosakva.by

Authors details:

Leonid Ch. Burak, PhD in Technical Sciences, Head of LLC «BELROSAKVA»,
leonidburak@gmail.com
ORCID 0000-0002-6613-439X
SPIN 3898-5389

Nataliya L. Ovsyannikova, Deputy Director of LLC «BELROSAKVA», info@belrosakva.by

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 631.529 + 635.032/.034 + 582.746.51

ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН *ACER SACCHARUM* MARSHALL В УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА И ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Е.Д. Найманова¹, Н.А. Трусов² , И.О. Яценко², С.В. Михеева², Т.Д. Ноздрина¹

¹ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ», 125080, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, mgupp@mgupp.ru

²ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, 127276, Ботаническая ул., 4, г. Москва, Россия, info@gbsad.ru

Аннотация

Цель исследования – изучение особенностей прорастания семян *Acer saccharum* Marshall в условиях Московского региона. Объекты исследования – плоды трёх образцов, полученных из арборетума Мюстиля (семена собраны в США), дендрария Миннесоты (США) и Рочестера (США) в 2018 г. Морфологические характеристики плодов описывали визуально. Для измерения плодов использовали штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05. Посев проводили в контейнеры на глубину, приблизительно равную толщине семени, в смесь нейтрализованный торф : дерновая земля : песок = 3 : 2 : 1. Посевы подвергали холодной стратификации: контейнеры содержались в неотапливаемой теплице в течение 3 зимних месяцев, при этом они подвергались естественным колебаниям температур, в том числе кратковременному промерзанию субстрата. При этом семена в образце из арборетума Мюстиля отделяли от мерикарпиев. Установлено, что наиболее мелкими являются плоды из арборетума Мюстиля: длина и ширина «орешка» – $0,787 \pm 0,025$ см и $0,565 \pm 0,018$ см; длина и ширина крыла – $1,633 \pm 0,054$ см и $0,608 \pm 0,030$ см, при этом для них характерна наибольшая всхожесть семян – 66,7%. Плоды из Миннесоты (США) имеют наибольший размер: длина и ширина «орешка» – $1,007 \pm 0,017$ см и $0,702 \pm 0,014$ см; длина и ширина крыла – $1,968 \pm 0,042$ см и $0,791 \pm 0,021$ см, всхожесть их семян промежуточная – 37,5%. Размерные показатели плодов образца из Рочестера занимают промежуточные значения, всхожесть наименьшая – 31,8%. Всхожесть семян образцов из дендрария Миннесоты (США) и Рочестера (США) ниже таковой для семян *A. saccharum* по данным литературы и составляет около 1/3 от посеянного количества. Всхожесть образца из арборетума Мюстиля согласуется с данными литературы. При этом семенное размножение *A. saccharum* в условиях Московского региона можно признать перспективным.

Ключевые слова: клён сахарный, *Acer saccharum*, *Sapindaceae*, плод, интродукция, всхожесть, Московский регион

SEED GERMINATION RATE OF *ACER SACCHARUM* MARSHALL IN MOSCOW REGION AND THEIR MORPHOLOGICAL STRUCTURE

E.D. Naymanova¹, N.A. Trusov² , I.O. Yatsenko², S.V. Mikheeva², T.D. Nozdrina¹

¹ROSBIOTECH, 125080, Volokolamskoe Highway, 11, Moscow, Russian, mgupp@mgupp.ru

²Tsytsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, 127276, Botanicheskaya str., 4, Moscow, Russia, info@gbsad.ru

Abstract

This study is aimed to describe the features of seed germination of *Acer saccharum* Marshall in the Moscow region. The objects of the study are the fruits of three samples obtained from the arboretum Mustila (seeds were collected in the USA), Minnesota arboretum (USA) and Rochester (USA) in 2018. Morphological characteristics of fruits were described visually. To measure the

fruits, a caliper was used (model “ШЦ-II-250-0.05”). Seeds were sown in pots, into a mixture of neutralized peat turf, topsoil and sand in the ratio of 3:2:1, at the depth approximately equal to the thickness of the seed. Seeds were subjected to cold stratification: the pots were kept in an unheated greenhouse for 3 winter months, with the substrate being exposed to natural temperature fluctuations, including short-term freezing. For the Mustila sample, the seeds were extracted from the mericarps. It has been shown that the smallest fruits are from the Mustila arboretum: the length and width of the nutlet are 0.787 ± 0.025 cm and 0.565 ± 0.018 cm respectively; the wing length and width – 1.633 ± 0.054 cm and 0.608 ± 0.030 cm, while they are characterized by the highest germination rate – 66.7%. Fruits from Minnesota (USA) have the largest size: the length and width of the nutlet are 1.007 ± 0.017 cm and 0.702 ± 0.014 cm respectively; the wing length and width – 1.968 ± 0.042 cm and 0.791 ± 0.021 cm; germination rate of their seeds is intermediate – 37.5%. The measurements of the fruits of the sample from Rochester exhibit intermediate values, whereas the germination rate is the lowest – 31.8%. The seed germination rate of Minnesota arboretum and Rochester samples is below that of seeds reported in the literature and is about 1/3 of the amount sown. The germination rate of Mustila sample is consistent with literature data. Nevertheless, seed reproduction of *A. saccharum* in the Moscow region can be considered promising.

Key words: sugar maple, *Acer saccharum*, *Sapindaceae*, fruit, introduction, germination, Moscow region

Введение

Наряду с привычным для нас белым сахаром, в последнее время активно применяются его различные заменители. Одними из таковых являются кленовый сахар и сироп. В Северной Америке для производства кленового сахара преимущественно используются следующие клёны: клён сахарный (*Acer saccharum* Marshall), клён чёрный (*A. saccharum* subsp. *nigrum* (F. Michx.) Desm.) и клён красный (*A. rubrum* L.). Изготавливается он из сока деревьев. Основным продуктом, получаемым из кленового сока, является кленовый сироп, обладающий более выраженными и самобытными вкусовыми свойствами (Eagleson, Hasner, 2006). Производство же кленового сахара не слишком рентабельно по сравнению с тростниковым, и, особенно, свекловичным, поэтому имеет ограниченный масштаб (Nearing, Nearing, 2000).

Кленовый сироп содержит около 260 ккал. Он богат калием, кальцием и железом. Продукт не содержит сахарозы и жира, а только глюкозу, которая считается более предпочтительной для человека. Кленовый сироп содержит витамины группы В, а также натуральные антиоксиданты (Nearing, Nearing, 2000). Кроме пищевого применения, он используется в сиропах от кашля, а также считается тонизирующим средством для печени и очищающим средством для почек (<https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Acer+saccharum>).

Клён сахарный используется в промышленных масштабах, так как обладает самым сладким соком. Его естественный ареал простирается от Южной Канады до Центральной и Восточной части США и Северной Мексики. Он наиболее распространён в зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов, встречаясь по плоскогорьям, склонам гор и в долинах (Замятин, 1958). При этом активно выращивается в культуре в Корее и Польше, а также в Великобритании, Германии, Австрии, Бельгии, Болгарии, Венгрии, Чехии, Словакии, Узбекистане и Эквадоре (<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:1892-2>; Godman et al., 1990).

Клен сахарный представляет собой листопадное дерево, достигающее в высоту 40 м, со стволом в диаметре до 1,5 м. На открытых местах с низко посаженной кроной, в загущенных насаждениях с высоко поднятой узкоцилиндрической, при этом штамб растений прямой и высокий. Кора серая, шероховатая, бороздчатая, трещиноватая, растрескивающаяся на

пластинки с неровными краями. Однолетние побеги блестящие, тёмно-красные, голые. Почки около 1 см длиной, продолговато-яйцевидные, с заострённой верхушкой, красновато-коричневые, слегка опушённые, имеют многочисленные почечные чешуи. Листья трех-пятилопастные, шириной до 14 см, тонкие, заострённые, с редкими острыми зубцами и сердцевидным основанием. Сверху листья зеленовато-жёлтые, снизу – сизые, беловатые. Осенью окраска листьев становится от светло-оранжевой до пурпуровой. Цветки зеленовато-жёлтые около 5 мм в диаметре, в щитковидных соцветиях. Растения являются раздельнополыми, по другим данным, обоеполыми. Плоды – крылатки из двух мерикарпиев, голые, от 2,5 до 4,0 см длиной, расходящихся под острым углом (http://flower.onego.ru/kustar/acer_s.html; <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000515026>; Замятин, 1958; Труссов, 2022;).

Индейцы Северной Америки еще в доколумбовские времена добывали и использовали сладкий сок клёна сахарного в пищу, а также в качестве лекарственного средства. Добыча производилась в основном в начале весны: с помощью камня на стволах клёнов делались V-образные надрезы, из которых сок переливали в ведра из бересты, и затем очищали либо выпаривая излишки жидкости горячими камнями, либо снимая замёрзшую воду после ночных заморозков (Larkin, 1998).

В Англию клён сахарный завезли в 1734 г. и уже оттуда его, как декоративное растение, стали активно распространять в другие европейские страны. В России он был введён в культуру в 1753 г., а первые попытки изготовления кленового сиропа начались только в 2015 году. В дендрарии Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН) клён сахарный произрастает с 1950 г., образец растений был получен из Аткарска (Саратовская обл.), где выращивался с 1938 г. В настоящий момент насчитывается 8 образцов этого растения, которые были выращены из семян, полученных из их естественного ареала, и образец, привезённый из естественного ареала живыми растениями (Плотникова и др., 2005). При этом целенаправленных исследований по размножению клёна сахарного в условиях интродукции не проводилось. Известно, что размножают его семенами, черенками и иногда отводками (Тугуд, 2005). При размножении семенами их либо оставляют для дальнейшего посева, либо сразу высевая в грядки или ёмкости. Хранение посевного материала осуществляют в плотно закрытых контейнерах или в герметичных пластиковых пакетах в неотапливаемом помещении. Всхожесть при этом сохраняется около 2 лет. Лабораторная всхожесть составляет 75%, грунтовая – 60% (http://flower.onego.ru/kustar/acer_s.html). По данным H.W. Yawney, M.C.Jr. Clayton (1968), всхожесть составляет около 95%. Чаще всего всходы появляются на вторую весну, оптимальной температурой для прорастания считается +15...+18°C. Отмечается что семена нуждаются в 2...3-месячной стратификации при температуре +2...+5°C (Николаева и др., 1985; Baskin, Baskin, 2014). При обработке гиббереллиновой кислотой или кинетином семян без мерикарпиев и с проколотой семенной кожурой, они не нуждаются в холодной стратификации (Baskin, Baskin, 2014). Обработка калийными удобрениями (10 мг/л) стимулирует рост и прорастание семян (Николаева и др., 1985).

В России сок клёна добывают редко, по сравнению с добычей березового сока объём заготовок небольшой. Это связано с тем, что наиболее продуктивный вид, клён сахарный, распространён только в Северной Америке, а другие виды клёна, которые у нас есть, растут не так быстро и дают не так много сока. Однако, несмотря на небольшой объём производства кленового сока в России, есть фирмы-заготовители сока и производители кленового сиропа в Пензенской, Ленинградской и других областях (<https://daniosvet.ru/b/klenovyy-sirop-proizvodstvo-v-rossii>; <https://www.klenovarni.ru>).

Клён сахарный является не только источником сока, он используется в озеленении и имеет несколько декоративных форм (Встовская, 2010; Смирнова и др., 2017).

На сегодняшний день научных исследований по интродукции клёна сахарного в условиях Московского региона очень мало, при этом считается, что он хорошо растёт на данной территории (Плотникова и др., 2005). Исследования о возможности выращивания ценного пищевого растения в условиях Московского региона, в том числе по всхожести его семян, весьма актуальны.

Целью работы является оценка прорастания семян клёна сахарного в условиях Московского региона.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Описать морфологическое строение плодов трёх образцов клёна сахарного, полученных из разных мест произрастания;
2. Определить морфометрические параметры плодов;
3. Установить всхожесть семян различных образцов;
4. Предположить связи между морфологическими и морфометрическими характеристиками плодов и особенностями их прорастания.
5. Оценить перспективность выращивания клёна сахарного из семян в условиях Московского региона.

Объекты и методы исследования

Объектами изучения послужили плоды трёх образцов растений *A. saccharum*, полученных из разных мест произрастания в 2018 г.

1. Получен из Финляндии, из арборетума Мюстиля, при этом плоды были собраны в природе, во время экспедиции в Аппалачи, в США, Западная Вирджиния, округ Покахонтес, гора Snowshoe (38°24'N, 80°00'W, 1260...1280 м н.у.м.). Далее по тексту – Мюстиля (сбор США). Посеяно 21 семя без перикарпия.

2. Получен из дендрария «Minnesota arboretum» недалеко от Миннеаполиса, штат Миннесота (США). Далее по тексту – Миннесота арборетум. Посеяно 42 мерикарпия.

3. Получен из города Рочестер, штат Миннесота (США). Далее по тексту – Рочестер (Миннесота). Посеяно 44 мерикарпия.

В связи с малым количеством полученного по делектусу материала, посев проводился без повторностей, ранее такой подход нами применялся к изучению всхожести каштанов, карий, гаультерий и вакциниумов (Афанасьева и др., 2020; Трусов и др., 2021; Гиневич и др., 2023; Кирсанова и др., 2023).

Морфологические характеристики плодов описывали визуально, руководствуясь терминологией З.Т. Артюшенко, А.А. Фёдорова (1986). Для измерения плодов использовали штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05. Все количественные данные обрабатывали методами вариационной статистики: вычисляли среднюю и ее отклонение, коэффициент вариации, показатель точности опыта (Зверев, Зефилов, 2013), достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента.

Оценивали полевую всхожесть семян трёх образцов. У посевного материала семена не отделяли от перикарпия, за исключением образца Мюстиля (сбор США). Исследование посева семян без перикарпия носит рекогносцировочный характер. Посев проводился на глубину, приблизительно равную толщине семени, в контейнеры Р11, Р16 или С3 в зависимости от количества и размера семян, в почвенную смесь – нейтрализованный торф : дерновая земля : песок в соотношении 3 : 2 : 1. Далее проводили полив и мульчирование поверхности мелким гравием. Горшки подвергали холодной стратификации в неотапливаемой теплице в течение 3 зимних месяцев (подвергались естественным колебаниям температур, в т.ч. кратковременному замерзанию), защита от мышей осуществлялась с помощью накрывания контейнеров стеклом. Семена проросли в течение весны 2019 г.

Результаты исследования и их обсуждение.

Плоды *A. saccharum* образца Мюстиля (сбор США) имеют «орешки» сплюснуто-шаровидной формы, коричневого цвета. Поверхность гладкая, матовая. Крыло продолговатой формы, с зауженным основанием и закруглённым краем. Жилки на крыле выражены слабо (рисунок 1).



Рисунок 1 – Мерикарпии и семена *Acer saccharum*, Мюстиля (сбор США), 2018 г.
Масштабная линейка – 1 см

У плодов образца Миннесота арборетум «орешки» сплюснуто-шаровидной формы. Цвет «орешка» тёмно-коричневый, коричневый. Поверхность гладкая, матовая. Крыло продолговатой формы с закруглённой расширенной верхушкой. Цвет крыла коричневый, светло-коричневый, местами с тёмными пятнами, присутствуют выраженные жилки (рисунок 2).



Рисунок 2 – Мерикарпии *Acer saccharum*, Миннесота арборетум, 2018 г.
Масштабная линейка – 1 см

Плоды образца Рочестер (Миннесота) серо-коричневого цвета. Поверхность гладкая, матовая. «Орешки» имеют сплюснуто-шаровидную форму с заострённым краем. Крыло продолговатой формы, с закруглёнными краями. На крыле выражены жилки (рисунок 3).



Рисунок 3 – Мерикарпии *Acer saccharum*, Рочестер (Миннесота), 2018 г.
Масштабная линейка – 1 см

Морфологические характеристики плодов всех образцов *A. saccharum* соответствуют описанию из литературы (Замятин, 1958; Трусов, 2022; http://flower.onego.ru/kustar/acer_s.html; <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000515026>).

Морфометрические показатели мерикарпиев разных образцов *A. saccharum* представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Размеры мерикарпиев образцов *Acer saccharum*, см

Происхождение образца	Длина				Ширина			
	$M \pm m_m$	tm_m	V, %	P, %	$M \pm m_m$	tm_m	V, %	P, %
Мерикарпий								
Мюстия (сбор США), 2018 г.	2,546 $\pm$ 0,064	0,132	12,31	2,51	–	–	–	–
Миннесота арборетум, 2018 г.	2,975 $\pm$ 0,044	0,090	9,92	1,50	–	–	–	–
Рочестер (Массачусетс, США), 2018 г.	2,927 $\pm$ 0,040	0,081	9,32	1,37	–	–	–	–
«Орешек»								
Мюстия (сбор США), 2018 г.	0,787 $\pm$ 0,025	0,050	21,20	3,12	0,565 $\pm$ 0,018	0,037	21,82	3,22
Миннесота арборетум, 2018 г.	1,007 $\pm$ 0,017	0,034	11,01	1,66	0,702 $\pm$ 0,014	0,029	13,56	2,04
Рочестер (Массачусетс, США), 2018 г.	0,916 $\pm$ 0,017	0,034	11,07	1,82	0,724 $\pm$ 0,014	0,030	12,35	2,03
Крыло								
Мюстия (сбор США), 2018 г.	1,633 $\pm$ 0,054	0,111	16,11	3,29	0,608 $\pm$ 0,030	0,062	24,20	4,94
Миннесота арборетум, 2018 г.	1,968 $\pm$ 0,042	0,085	14,24	2,15	0,791 $\pm$ 0,021	0,042	17,63	2,66
Рочестер (Миннесота), 2018 г.	2,011 $\pm$ 0,040	0,081	12,17	2,00	0,930 $\pm$ 0,030	0,062	19,94	3,28

Примечания: $M \pm m_m$ – средняя арифметическая и её ошибка; tm_m – доверительный интервал; V – коэффициент вариации; P – показатель точности опыта для стандартного доверительного уровня 95% (точность опыта считается удовлетворительной при значениях показателя, не превышающих 5%).

Как видно из представленных в таблице 1 данных, самые крупные плоды у образца Миннесота арборетум. Размеры «орешка»: длина – $1,007 \pm 0,017$ см, ширина – $0,702 \pm 0,014$ см. Размеры крыла: длина – $1,968 \pm 0,042$ см, ширина – $0,791 \pm 0,021$ см.

Наименьшая длина и ширина плодов у образца Мюстиля (сбор США). Размеры «орешка»: длина – $0,787 \pm 0,025$ см, ширина – $0,565 \pm 0,018$ см. Размеры крыла: длина – $1,633 \pm 0,054$ см, ширина – $0,608 \pm 0,030$ см.

Плоды Рочестер (Миннесота) по своим показателям занимают промежуточное место среди исследованных. Длина и ширина «орешка» – $0,916 \pm 0,017$ см и $0,724 \pm 0,014$ см, длина и ширина крыла – $2,011 \pm 0,040$ см и $0,930 \pm 0,030$ см.

Различия между размерными показателями плодов *A. saccharum* из разных мест сбора оценивали по критерию Стьюдента (t -критерий). Было установлено, что различие по длине мерикарпиев, Рочестер (Миннесота) и Мюстиля (сбор США), недостоверно, $t_{\text{эмп}} (0,8) < t_{\text{табл}} (1,99)$; для мерикарпиев Рочестер (Миннесота) и Миннесота арборетум, и Миннесота арборетум и Мюстиля (сбор США) различия достоверны, $t_{\text{эмп}} (5,6) > t_{\text{табл}} (1,99)$ и $t_{\text{эмп}} (5,3) > t_{\text{табл}} (2,0)$ соответственно.

Различие по длине «орешков», Рочестер (Миннесота) и Мюстиля (сбор США), достоверно, $t_{\text{эмп}} (3,8) > t_{\text{табл}} (1,99)$; для «орешков» Рочестер (Миннесота) и Миннесота арборетум, также достоверно, $t_{\text{эмп}} (3,4) > t_{\text{табл}} (1,99)$; а для «орешков» Миннесота арборетум и Мюстиля (сбор США) – недостоверно, $t_{\text{эмп}} (0,4) < t_{\text{табл}} (2,0)$. Различие по ширине «орешков» Рочестер (Миннесота) и Мюстиля (сбор США) – недостоверно, $t_{\text{эмп}} (1,0) < t_{\text{табл}} (1,99)$; для «орешков» Рочестер (Миннесота) и Миннесота арборетум – достоверно, $t_{\text{эмп}} (2,3) > t_{\text{табл}} (1,99)$; и для «орешков» Миннесота арборетум и Мюстиля (сбор США) – достоверно, $t_{\text{эмп}} (3,1) > t_{\text{табл}} (2,0)$.

Различие по длине крыльев плодов Рочестер (Миннесота) и Мюстиля (сбор США), недостоверно, $t_{\text{эмп}} (0,7) < t_{\text{табл}} (1,99)$; для крыльев плодов Рочестер (Миннесота) и Миннесота арборетум – достоверно, $t_{\text{эмп}} (4,9) > t_{\text{табл}} (1,99)$; также и для крыльев плодов из Миннесоты и Мюстиля (сбор США), $t_{\text{эмп}} (5,8) > t_{\text{табл}} (2,0)$. Различие по ширине крыльев плодов Рочестер (Миннесота) и Мюстиля (сбор США) – достоверно, $t_{\text{эмп}} (3,9) > t_{\text{табл}} (1,99)$; для крыльев плодов Рочестер (Миннесота) и Миннесота арборетум – достоверно, $t_{\text{эмп}} (5,0) > t_{\text{табл}} (1,99)$; и для крыльев плодов Миннесота арборетум и Мюстиля (сбор США) – достоверно, $t_{\text{эмп}} (7,1) > t_{\text{табл}} (2,0)$.

В большинстве случаев размеры мерикарпиев, «орешков» и крыльев у трех образцов *A. saccharum* достоверно различаются. Таким образом, морфометрические характеристики мерикарпиев могут использоваться в дальнейшем обсуждении их влияния на всхожесть семян *A. saccharum*.

В таблице 2 представлены относительные размеры «орешка» и крыла образцов *A. saccharum*. Так у образца Рочестер (Миннесота) «орешек» имеет наименьшие относительные размеры, его длина составляет 31,48% от длины мерикарпия, а длина крыла – 68,52%. У образца Миннесота арборетум длина «орешка» – 34,07%, крыла – 65,93%. У образца Мюстиля (сбор США) длина «орешка» – 36,06%, крыла – 63,96%.

Таблица 2 – Относительные размеры «орешка» и крыла *Acer saccharum* (% от длины мерикарпия) и всхожесть семян (%)

Происхождение образца	«Орешек»	Крыло	Всхожесть семян
Мюстиля (сбор США), 2018 г.	36,06	63,96	66,7
Миннесота арборетум, 2018 г.	34,07	65,93	37,5
Рочестер (Миннесота), 2018 г.	31,48	68,52	31,8

Установлено, что наибольшей всхожестью (таблица 2) обладают семена без перикарпия образца Мюстиля (сбор США) – 66,7%, а наименьшей Рочестер (Миннесота) – 31,8%. Промежуточное значение всхожести – 37,5% у образца Миннесота арборетум. По данным литературы, семена клёна обладают средней или высокой всхожестью – 60...75% (http://flower.onego.ru/kustar/acer_s.html) или около 95% (Yawney, Clayton, 1968). В нашем исследовании для двух образцов, посеянных без очистки семян от перикарпиев, она составляет около 35%, что в 2 раза ниже заявленных данных. Вероятно, это связано с тем, что семена собраны из культуры (т.е. более вероятно самоопыление и снижение жизнеспособности сеянцев), и отсутствием отбора по выполненности перикарпиев, то есть пустые «орешки» высевались вместе с выполненными, где были семена. Образец Мюстиля (сбор США), будучи полученным из дикой природы и очищенным от перикарпиев, продемонстрировал всхожесть, согласующуюся с литературными данными.

Заключение

Морфологические характеристики изученных плодов в целом соответствуют описаниям в источниках литературы. «Орешки» сплюснуто-шаровидные, от светло- до тёмно-коричневых, гладкие, матовые. Крыло продолговатое, на верхушке суженное, реже закруглённое, с жилками, выраженными в той или иной степени.

Наибольший размер плодов у образца из Миннесота арборетум (Миннесота, США): длина и ширина «орешка» – $1,007 \pm 0,017$ см и $0,702 \pm 0,014$ см; длина и ширина крыла – $1,968 \pm 0,042$ см и $0,791 \pm 0,021$ см. Наименьший размер плодов у образца из арборетума Мюстиля, собранного в природе во время экспедиции в Аппалачи (США): длина и ширина «орешка» – $0,787 \pm 0,025$ см и $0,565 \pm 0,018$ см; длина и ширина крыла – $1,633 \pm 0,054$ см и $0,608 \pm 0,030$ см. Плоды образца из Рочестера (Миннесота) по своим показателям занимают промежуточное место среди представленных плодов.

Крыло у *A. saccharum* по длине всегда превышает «орешек». Так у плодов образца Мюстиля (сбор США) «орешек» наиболее крупный по относительным размерам плода («орешек» – 36,06%, крыло – 63,96%). Затем по этому признаку идёт образец из Миннесота арборетума («орешек» – 34,07%, крыла – 65,93%). Самый маленький по относительным размерам «орешек» у плодов из Рочестера (Миннесота) («орешек» – 31,48%, а крыло – 68,52%).

У образца Мюстиля (сбор США), имеющего наименьшие абсолютные и наибольшие относительные размеры «орешка» плода, но при этом семена которого были очищены от перикарпия, установлена наибольшая всхожесть семян.

Всхожесть образца, очищенного от перикарпия (66,7%), согласуется с данными литературы, всхожесть неочищенных образцов – примерно в 2 раза ниже, что может свидетельствовать о значительной доле пустых перикарпиев и необходимости их очистки для точного установления всхожести.

Семенное размножение *A. saccharum* сухими семенами в условиях Московского региона, с учётом их всхожести около 33%, можно признать перспективным. Для целей семенного размножения очистка семян от перикарпиев не нужна, достаточно увеличить норму посева семян.

Финансирование

Работа частично выполнена в рамках государственного задания ГБС РАН по теме: «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения», № 122042700002-6.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Артюшенко З.Т., Федоров А.А. Атлас по описательной морфологии высших растений. Плод. Л.: Наука, 1986. 392. <https://djvu.online/file/Y5J2nHH7TWRUB>
2. Афанасьева Л.А., Трусов Н.А., Яценко И.О., Михеева С.В., Соломонова Е.В., Ноздрина Т.Д. Особенности прорастания некоторых *Vaccinium* в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН // Вестник КрасГАУ. 2020. 9. 3-11. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-9-3-11>
3. Встовская Т.Н. Декоративные формы местных и экзотических видов клёна, перспективных для первичного испытания в Сибири // Растительный мир Азиатской России. 2010. 1. 101-111. <https://elibrary.ru/mtzplh>
4. Гиневич М.О., Трусов Н.А., Яценко И.О., Михеева С.В., Ноздрина Т.Д. Всхожесть семян североамериканских представителей рода *Carya*, перспективных к выращиванию в условиях Московского региона // Вестник КрасГАУ. 2023. 6. 48-57. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-6-48-57>
5. Плотникова Л.С., Александрова М.С., Беляева Ю.Е., Немова Е.М., Рябова Н.В., Якушина Э.И. Древесные растения Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук. 60 лет интродукции / отв. ред. А.С. Демидов. М.: Наука, 2005. 588. <https://elibrary.ru/qkntub>
6. Замятнин Б.Н. Род. 2. Клен – *Acer* L. // Деревья и кустарники СССР: дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции / под ред. Соколова С.Я., Шишкина Б.К. М.-Л.: Издательство Академии наук СССР. 1958. 4. 406-499.
7. Зверев А.А., Зефиоров Т.Л. Статистические методы в биологии: учебно-методическое пособие. Казань: КФУ, 2013. 42.
8. Смирнова Т.В., Марченко А.М., Епанчинцева О.В., Сычев А.И., Шипунова А.А., Дубнова Е., Окунева И.Б., Горяинова В.П., Бумбеева Л.И., Лысиков А.Б., Трубина Н.Н. Каталог древесных растений, выращиваемых в питомниках АППМ / отв. ред. М. Ахметет. М.: АППМ, 2017. 432. <https://elibrary.ru/ynqolx>
9. Кирсанова Т.Ю., Трусов Н.А., Яценко И.О., Михеева С.В., Ноздрина Т.Д. Всхожесть семян представителей рода *Castanea*, перспективных к выращиванию в условиях Московского региона // Современное садоводство – Contemporary horticulture. 2023. 2. 86-96. <https://elibrary.ru/uxounh>
10. Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 348.
11. Тугуд А. Размножение растений. М.: АСТ, 2005. 320.
12. Трусов Н.А. Клён сахарный // Большая российская энциклопедия. <https://bigenc.ru/c/klion-sakharnyi-ae5777>
13. Трусов Н.А., Афанасьева Л.А., Яценко И.О., Михеева С.В., Соломонова Е.В., Ноздрина Т.Д. Особенности прорастания некоторых *Gaultheria* в Главном ботаническом саду РАН // Вестник КрасГАУ. 2021. 12. 97-104. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-12-97-104>
14. Baskin C.C., Baskin J.M. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. San Diego: Academic Press, 2014. 1586.
15. Eagleson J., Hasner R. The Maple Syrup Book. Boston: The Boston Mills Press, 2006. 96 p.
16. Godman R.M., Yawney H.W., Tubbs C.H. *Acer saccharum* Marsh. sugar maple // Silvics of North America: Volume 2 Hardwoods. USDA, 1990. 2. 78-91 <http://dendro.cnre.vt.edu/dendrology/USDAFSSilvics/2.pdf>
17. Larkin D. Country wild. Boston: Houghton Mifflin and Co., 1998. 160.
18. Nearing H., Nearing, S. The maple sugar book: together with remarks on pioneering as a way of living in the twentieth century. Chelsea: Chelsea Green Publishing, 2000. 305.

19. Yawney H.W., Clayton M.C.Jr. Sugar maple seed research // Proceedings, Twentieth anniversary nurserymen's conference. Upper Darby: USDA Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry, 1968. 115-123

WEB-ссылки

<https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Acer+saccharum>
<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:1892-2>
http://flower.onego.ru/kustar/acer_s.html
<http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000515026>
<https://daniosvet.ru/b/klenovyy-sirop-proizvodstvo-v-rossii>
<https://www.klenovarni.ru>

References

1. Artyushenko, Z.T., & Fedorov, A.L. (1986). *Organographia Illustrate Plantarum Vascularium. Fructus*. Nauka. <https://djvu.online/file/Y5J2nHH7TWRUB>. (In Russian).
2. Afanas'eva, L.A., Trusov, N.A., Yatsenko, I.O., Mikheeva, S.V., Solomonova, E.V., & Nozdrina, T.D. (2020). Specific Features of Germination of Some *Vaccinium* (*Vaccinium*) in N. V. Tsytin Main Botanical Garden RAS. *Bulletin of KSAU*, 9, 3-11. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-9-3-11>. (In Russian, English abstract).
3. Vstovskaya, T.N. (2010). Ornamental Forms of Native and Exotic Species of Maple Promising for Primary Testing in Siberia. *Rastitel'nyj Mir Aziatskoj Rossii*, 1, 101-111. <https://elibrary.ru/mtzplh>. (In Russian, English abstract).
4. Ginevich, M.O., Trusov, N.A., Yatsenko, I.O., Mikheeva, S.V., & Nozdrina, T.D. (2023). Seed Germination of North American Species of the Genus *Carya*, Promising for Cultivation in Moscow Region. *Bulletin of KSAU*, 6, 48-57. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-6-48-57>. (In Russian, English abstract).
5. Plotnikova, L.S., Aleksandrova, M.S., Belyaeva, Yu.E., Nemova, E.M., Ryabova, N.V., & Yakushina, E.I. (2005). *Woody plants of the Tsytin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences: 60 Years of Introduction*. Nauka. <https://elibrary.ru/qkntub>. (In Russian).
6. Zamyatnin, B.N. (1958). Genus 2. Maple – *Acer* L. In S.Ya., Sokolov, & B.K., Shishkin, (Eds.) *Trees and Shrubs of the USSR: Wild, Cultivated and Promising for Introduction*. (Vol. 4, pp. 406-499). Academy of Sciences of the USSR. (In Russian).
7. Zverev, A.A., & Zefirov, T.L. (2013). *Statistical Methods in Biology: Educational and Methodological Manual*. KFU. (In Russian).
8. Smirnova, T.V., Marchenko, A.M., Epanchineva, O.V., Sychev, A.I., Shipunova, A.A., Dubnova, E., Okuneva, I.B., Goryainova, V.P., Bumbeeva, L.I., Lysikov, A.B., & Trubina, N.N.. (2017). *Catalog of Woody Plants Grown in Nurseries APPM*. APPM. <https://elibrary.ru/ynqolx>. (In Russian).
9. Kirsanova, T.Yu., Trusov, N.A., Yatsenko, I.O., Mikheeva, S.V., & Nozdrina, T.D. (2023). Seed Germination of Species of the Genus *Castanea*, Promising for Cultivation in Moscow Region. *Contemporary Horticulture*, 2, 86-96. <https://elibrary.ru/uxounh>. (In Russian, English abstract).
10. Nikolayeva, M.G., Razumova, M.V., & Gladkova, V.N. (1985). *A Guide to the Germination of Continuing Seeds*. Nauka. (In Russian).
11. Toogood, A. (Ed.) (2005). *Plant Propagation*. AST. (In Russian).
12. Trusov, N.A. (2022). Sugar Maple. *Great Russian Encyclopedia*. <https://bigenc.ru/c/klion-sakharnyi-ae5777>. (In Russian).
13. Trusov, N.A., Afanas'eva, L.A., Yatsenko, I.O., Mikheeva, S.V., Solomonova, E.V., & Nozdrina, T.D. (2021). Germination Features of Some *Gaultheria* in the RAS Main Botanical Garden.

- Bulletin of KSAU*, 12, 97-104. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-12-97-104>. (In Russian, English abstract).
14. Baskin, C.C., & Baskin, J.M. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press.
15. Eagleson, J., & Hasner, R. (2006). *The Maple Syrup Book*. The Boston Mills Press.
16. Godman, R.M., Yawney, H.W., & Tubbs, C.H. (1990). *Acer saccharum* Marsh. Sugar Maple. In *Silvics of North America: Hardwoods* (Vol. 2, pp. 78-91). USDA. <http://dendro.cnre.vt.edu/dendrology/USDAFSSilvics/2.pdf>
17. Larkin, D. (1998). *Country Wild*. Houghton Mifflin and Co.
18. Nearing, H., & Nearing, S. (2000). *The Maple Sugar Book: Together with Remarks on Pioneering as a Way of Living in the Twentieth Century*. Chelsea Green Publishing.
19. Yawney, H.W., & Clayton, M.C.Jr. (1968). Sugar Maple Seed Research. In *Proceedings, Twentieth Anniversary Nurserymen's Conference* (pp.115-123). USDA Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.

WEB references

<https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Acer+saccharum>
<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:1892-2>
http://flower.onego.ru/kustar/acer_s.html
<http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000515026>
<https://daniosvet.ru/b/klenovyy-sirop-proizvodstvo-v-rossii>
<https://www.klenovarni.ru>

Авторы:

Екатерина Дмитриевна Найманова, студент кафедры биоэкологии и биологической безопасности, ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ», tokiolove01@mail.ru

Николай Александрович Трусов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории дендрологии ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, n-trusov@mail.ru
ORCID 0000-0002-5147-6602
SPIN 2193-2203

Игорь Олегович Яценко, кандидат биологических наук, научный сотрудник Лаборатории дендрологии ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, i_o_yatzenko@mail.ru
ORCID 0000-0003-4378-8507
SPIN 8245-5880

Светлана Валерьевна Михеева, аспирант, агроном лаборатории дендрологии ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, mikheeva.mbg.ras@gmail.com
ORCID 0000-0002-2643-470X
SPIN 9408-4723

Татьяна Дмитриевна Ноздрина, кандидат биологических наук, доцент кафедры биоэкологии и биологической безопасности, ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ», biomgupp@yandex.ru
ORCID 0000-0003-2589-4787
SPIN 6348-7597

Authors details:

Ekaterina D. Najmanova, student in Department of Bioecology and Biological Safety of ROSBIOTECH, tokiolove01@mail.ru

Nikolay A. Trusov, PhD in Biology, Senior Researcher in Laboratory of Dendrology of Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, n-trusov@mail.ru
ORCID 0000-0002-5147-6602
SPIN 2193-2203

Igor O. Yatsenko, PhD in Biology, Researcher in Laboratory of Dendrology of Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, i_o_yatzenko@mail.ru
ORCID 0000-0003-4378-8507
SPIN 8245-5880

Svetlana V. Mikheeva, postgraduate student, agronomist in Laboratory of Dendrology of Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, mikheeva.mbg.ras@gmail.com
ORCID 0000-0002-2643-470X
SPIN 9408-4723

Tatyana D. Nozdrina, PhD in Biology, Associated Professor in Department of Bioecology and Biological Safety of ROSBIOTECH, biomgupp@yandex.ru
ORCID 0000-0003-2589-4787
SPIN 6348-7597

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.