



научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



<http://petrsu.ru>

Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 2 (56). Июнь, 2025

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugotek
В. Н. Якимов

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>



© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»



УДК 57.017.6, 57.017.8, 57.042

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ ЛИСТЬЕВ И ЯГОД АРОНИИ МИЧУРИНА (*×SORBARONIA MITSCHURINII*) НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

ПЛАТОНОВА
Елена Юрьевна

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28, Dega37@yandex.ru

ГОЛУБЕВ
Денис Анатольевич

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28, denismeatboy@gmail.com

ЗЕМСКАЯ
Надежда Владимировна

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28, zemskaya@ib.komisc.ru

МИХАЙЛОВА
Дарья Владимировна

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28, kukuman@ib.komisc.ru

ПАКШИНА
Наталья Ришатовна

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28, pakshina.n.r@ib.komisc.ru

ТИМУШЕВА
Наталья Сергеевна

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28, uliasheva.n.s@ib.komisc.ru

ШАПОШНИКОВ
Михаил Вячеславович

кандидат биологических наук, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28, shaposhnikov@ib.komisc.ru

МОСКАЛЕВ
Алексей Александрович

доктор биологических наук, Институт долголетия с клиникой реабилитации и превентивной медицины РНЦХ имени академика Б. В. Петровского, Москва, 119435, Россия, amoskalev@list.ru

Ключевые слова:

листья
плоды
экстракт аронии Мичурина
продолжительность жизни
Drosophila melanogaster
×Sorbaronia mitschurinii

Аннотация: Арония Мичурина (*×Sorbaronia mitschurinii*) является ценной плодовой культурой с высоким содержанием широкого профиля полифенолов и других биологически активных веществ. В плодах содержатся флавоноиды (кверцетин, рутин), фенольные кислоты (неохлорогеновая, хлорогеновая и кофейная кислоты), антоцианы (различные цианидины), а также витамины (С, Е, В2, В9, Р, РР) и минеральные вещества (цинк, медь, железо, кобальт). В листьях преобладают флавоноиды (рутин, кверцетин) и фенольные кислоты в виде кофейной, хлорогеновой и розмариновой кислот. Известно, что данные биологически активные вещества обладают геропротекторным потенциалом. Ранее нами было обнаружено, что кратковременно примененный экстракт ягод аронии Мичурина с 4-й по 6-ю неделю жизни увеличивает продолжительность жизни *Drosophila melanogaster*. Поэтому мы проанализировали влияние на продолжительность жизни экстрактов плодов (0.01, 0.1, 1, 2.5, 5 и 10 мг/мл) и листьев (0.01, 0.1, 1 и 5 мг/мл) аронии Мичурина при обработке имаго *D. melanogaster* начиная с возраста 4 недель и до конца жизни. Выявлено, что экстракт ягод в концентрации 0.1 мг/мл снижал медианную и максимальную продолжительность жизни самцов на 7 и 2 % соответственно, а у самок экстракт в концентрации 1 мг/мл увеличивал медианную и максимальную продолжительность жизни на 5 и 4 % соответственно. При этом экстракт листьев уменьшал медианную и максимальную продолжительность жизни самцов. У самок экстракт листьев в концентрации 0.1 мг/мл увеличивал медианную продолжительность жизни на 2 %, а в концентрации 0.01 мг/мл - снижал на 5 %. Необходимы дальнейшие исследования экстрактов плодов и листьев аронии Мичурина для выявления механизмов воздействия на адаптационные возможности особей обоих полов *D. melanogaster*.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Н. В. Мацишина

Получена: 03 апреля 2025 года

Подписана к печати: 28 мая 2025 года

Введение

Арония Мичурина (*×Sorbaronia mitschurinii* (А. К. Skvortsov & Maitul.) Sennikov), также известная как черноплодная рябина *Aronia mitschurinii*, была выведена русским селекционером И. В. Мичуриным в начале XX в. (Скворцов и др., 1983; Leonard et al., 2013). *×S. mitschurinii* является межродовым гибридом видов, принадлежащих к семейству розоцветных: *×Sorbaronia fallax* (*A. melanocarpa* *× Sorbus aucuparia*) и *A. melanocarpa* (Sennikov, Phipps, 2013, Stalažs, 2021). *×S. mitschurinii* и *A. melanocarpa* обладают сходным фенотипом и часто могут различаться только по названиям сортов (Скворцов, Майтулина, 1982; Leonard et al., 2013).

Плоды *A. melanocarpa* и *×S. mitschurinii* обладают очень близким фитохимическим составом, что обусловлено их генетическим родством (Kulling, Rawel, 2008). Оба вида богаты биологически активными веществами, включая флавоноиды (кверцетин, рутин), фенольные кислоты (неохлорогеновая, хлорогеновая, кофейная) и антоцианы (различные производные цианидина). Кроме того, плоды содержат комплекс витаминов (С, Е, В2, В9, Р, РР) и минеральные вещества (цинк,

медь, железо и кобальт). Листья аронии (*A. melanocarpa*) также отличаются высоким содержанием биофлавоноидов. Основными соединениями являются флавоноиды (рутин), флавонолы (кверцетин, кемпферол, мирицетин), процианидины и флаван-3-олы (катехин, эпикатехин, процианидин В2). Помимо этого, в листьях обнаружены фенольные кислоты, включая кофейную, хлорогеновую, розмариновую, протокатеховую и хинную кислоты (Скворцов и др., 1982; Скворцов, Майтулина, 1983; Kulling, Rawel, 2008; Skupień et al., 2008; Cvetanović et al., 2018; Platonova et al., 2021; Stalažs, 2021; Repajić et al., 2024).

Указанные биологически активные вещества описаны как соединения, способные увеличивать продолжительность жизни и повышать адаптационный потенциал модельных организмов (дрожжи, нематоды, мухи, мыши). Такие вещества классифицируются как геропротекторы (<http://geroprotectors.org/>) (Moskalev et al., 2015). К ключевым критериям, определяющим принадлежность веществ к классу геропротекторов, относятся следующие характеристики: демонстрируемое увеличение продолжительности жизни различных модельных организмов, улуч-

шение биомаркеров старения и качества жизни, наличие минимального количества побочных эффектов и низкая токсичность (Moskalev et al., 2016). В качестве дополнительных критериев геропротекторов рассматривают эволюционно консервативные механизмы эффектов, воспроизводимые на различных моделях, способность отсрочивать развитие возрастзависимых заболеваний и повышать устойчивость организма к неблагоприятным факторам окружающей среды (Moskalev et al., 2016).

Старение представляет собой сложный патологический процесс, сопровождающийся прогрессирующим снижением функциональной активности биологических систем организма, включая ухудшение когнитивных функций (Del Rio et al., 2013; He, Jasper, 2014). В условиях глобального ухудшения экологической обстановки, усиления антропогенной нагрузки на окружающую среду и роста загрязнений поиск натуральных и экологически безопасных методов борьбы с возрастными изменениями становится особенно актуальным.

Исследование растительных экстрактов является перспективным направлением в поиске биологически активных соединений с геропротекторным потенциалом, поскольку их производство имеет меньший экологический след по сравнению с синтетическими аналогами (Sammut Bartolo et al., 2021). Выявление таких веществ имеет важное значение не только для медицины, но и для устойчивого развития, т. к. их применение может способствовать улучшению качества жизни, снижению фармацевтической нагрузки на экосистемы и обеспечению здорового долголетия в гармонии с природой. Кроме того, использование этих природных соединений в зрелом возрасте способно отсрочить или замедлить развитие возраст-ассоциированных заболеваний (Sammut Bartolo et al., 2021), что в долгосрочной перспективе может снизить нагрузку на систему здравоохранения и уменьшить объемы медицинских отходов, негативно влияющих на окружающую среду. Таким образом, развитие «натуральной геронтологии» соответствует принципам зеленой химии и способствует сохранению биоразнообразия планеты.

Ранее нами был исследован геропротекторный потенциал этанольного экстракта ягод аронии Мичурина (Platonova et al., 2022). Было установлено, что добавление экстракта в питательную среду плодовых мушек *Drosophila melanogaster* на протяжении

всей жизни или в первые две недели жизни вызвало снижение продолжительности жизни особей обоих полов. Однако при добавлении экстракта плодов в пищу с 4-й по 6-ю неделю жизни максимальная продолжительность жизни самцов увеличивалась на 9 %, а у самок медианная и максимальная продолжительность жизни возрастали на 5 и 3 % соответственно (Platonova et al., 2022).

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения на модели *Drosophila melanogaster* экстракта аронии Мичурина начиная со зрелого возраста (4 недели) и до конца жизни, поскольку именно такая схема демонстрирует наиболее выраженный геропротекторный эффект, увеличивая продолжительность жизни у особей *D. melanogaster*. Целью настоящего исследования было изучение геропротекторного действия экстрактов ягод и листьев *×Sorbaronia mitschurinii* на модели *D. melanogaster*. Экстракты добавляли в пищу особям обоих полов начиная с 4-недельного возраста и до конца жизни.

Материалы

Растительный материал

Сбор листьев и плодов аронии Мичурина производился в Ботаническом саду (Научная коллекция живых растений, № 507428) Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (Сыктывкар, Республика Коми) в августе 2020 г. Для дальнейших приготовлений экстрактов листья высушивали и упаковывали в крафтовую бумагу, а ягоды замораживали при -20 °С. Для сохранения антоцианового профиля плодов использовали метод экстракции этанолом. Для листьев применяли метод экстракции фенольных соединений с получением этилацетатной фракции.

Методы

Экстракция антоциановой фракции из плодов

Для приготовления экстракта плоды измельчали и центрифугировали для получения надосадочной жидкости. Полученную массу смешивали с глиной и снова центрифугировали. Глину готовили путем смешивания сухого порошка глины с 0.1 М соляной кислотой. Образовавшуюся жидкость сливали и смешивали с экстрагентом: 1 % раствором концентрированной соляной кислоты в 96 % этиловом спирте. Полученный раствор центрифугировали, а затем этанол и соляную кислоту из экстракта упаривали на

вакуумно-ротационном испарителе ИР-1М (Химлаборприбор, Россия) при +40 °С для высушивания остатка. Экспериментальные концентрации экстракта ягод готовили из этанольного экстракта, полученного путем разбавления в 96 % этаноле.

Экстрагирование фенольных соединений из листьев

Помол и отбор навесок. Растительные пробы, высушенные вне действия прямого солнечного света и хранившиеся в бумажных пакетах при комнатной температуре, перемалывали на кофемолке Krups (Groupe Seb, Китай) до травяной муки, проходящей через сито 0.25 мм. Из полученной муки исходного сырья отбирали среднюю пробу по 20 г с точностью до 0.0001 г в тройной повторности. Навески муки взвешивали на аналитических весах CAS MW-1200 (CAS Corporation, Корея) и переносили в конические колбы объемом 250 см³. Анализ делали в трех повторностях.

Обезжиривание сырья. В каждую колбу с сырьем вносили по 200 мл хлороформа (CHCl₃). Для ускорения экстракции использовали ультразвуковую ванну U3B Sonics Vibra-Cell VCX 130PB (Sonics & Materials, Inc., США) в течение 1 минуты и полученную смесь в растворе хлороформа оставили настаиваться на ночь. После настаивания экстракт фильтровали на манифольде, через ватно-бумажные фильтры с использованием вакуума водоструйного насоса ИР-1М (Химлаборприбор, Российская Федерация). После полученный фильтрат переносили в колбу объемом 1000 мл для рекуперации (восстановления) хлороформа. Колбы, где было сырье, ополаскивали чистым хлороформом с последующей фильтрацией суспензии на манифольде. Оставшийся на фильтре осадок третий раз экстрагировали хлороформом и настаивали в течение 1 часа и снова отфильтровывали. После четвертого фильтрования экстракт оставляли на ночь для удаления паров хлороформа из растительного сырья. Высушенное сырье дополнительно сушили с применением вакуумного водоструйного насоса ИР-1М (Химлаборприбор, Российская Федерация). Остатки хлороформа после четырех экстракций, слитые в общую колбу, в последующем очищали перегонкой. Далее взвешивали колбу с сырьем и определяли вес обезжиренного сырья. В стакан с сырьем добавляли 400 мл 70 % этилового спирта. Шпателем перемешивали суспензию и давали настояться в течение 30 минут.

Сверхвысокочастотная (СВЧ) экстрак-

ция флавоноидов. Колбы, содержащие суспензию сырья – экстрагент, ставили в микроволновую печь (LG Electronics Inc., Китай) и осуществляли СВЧ-экстракцию в течение 40–50 секунд при температуре +40 °С и мощности 600 Вт, затем на 60–70 секунд до температуры +70 °С. Интенсивность нагрева определяли ртутным термометром. После СВЧ-экстракции стаканы с пробамы извлекали из микроволновой камеры и оставляли в вытяжном шкафу до полного остывания. Остывший экстракт фильтровали через воронку Бюхнера и сушили на манифольде потоком воздуха. К остатку растительного сырья повторно добавляли 400 мл 70 % этилового спирта. Перемешивали и повторяли СВЧ-экстракцию. Оставляли на естественное охлаждение до комнатной температуры. Полученную суспензию фильтровали в вакууме водоструйного насоса ИР-1М (Химлаборприбор, Российская Федерация). Вторичный фильтрат в этаноле добавляли в колбу с первичным. Описанную экстракцию повторяли третий раз. Третичный фильтрат в этаноле добавляли в колбу с первичным. Растительный жом сырья утилизировали. Далее на роторном испарителе концентрировали суммарный экстракт с отгонкой этанола и воды, высушивали дополнительно остаток в колбе в вакууме до образования губчатого материала. Далее в делительную колбу с полученным экстрактом 10–15 мл добавляли этиловый эфир уксусной кислоты и встряхивали до образования эмульсии. Отстаивали эмульсию до полного расслоения. Верхний, этилацетатный слой экстракта сливали в отдельную колбу, нижний слой возвращали обратно в делительную воронку и повторяли экстракцию фенольных соединений этилацетатом 3 раза. Полученный сухой экстракт извлекали из отгонных колб с помощью 40 % этилового спирта, добавляли по 10 мл и трехкратно суспензировали губчатую фракцию. Переносили в отдельные стеклянные емкости объемом 30 мл из темного стекла этилацетатную фракцию с примесью хлорофилла для последующих исследований.

Условия содержания мух и вариант обработки экстрактами

В экспериментах использовали линию *D. melanogaster* дикого типа Canton-S (#64349, Блумингтон, США) из коллекции ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (<https://ib.komisc.ru/add/drosophila/>). Оптимальные условия содержания плодовых мух поддерживались с помощью камеры постоянного климата Binder

KBF720-ICH (Binder, Германия) при 25 °C и относительной влажности 60 % при режиме освещения 12 ч свет : 12 ч темнота. Контрольные и опытные мухи при проведении всех экспериментов содержались на питательной среде следующего состава, который был адаптирован из работы Xia и de Belle (Xia, de Belle, 2016): вода – 1000 мл, кукурузная мука – 92 г, сухие дрожжи – 32.1 г, агар-агар – 5.2 г, глюкоза – 136.9 г, 10 мл 10 % раствора нипагина (метил-4-гидроксibenзоат, Merck, США) и 10 мл 50 % раствора пропионовой кислоты (Merck, США). Питательную среду разливали по пробиркам в объеме 4 мл на пробирку и высушивали под вентиляторами. Поверх свежей застывшей питательной среды наносили нижеописанные концентрации экстрактов в объеме 30 мкл. Плодовые мухи обоих полов содержались на питательной среде с добавлением этанольного экстракта ягод (SBE) в концентрациях 0.01, 0.1, 1, 2.5, 5 и 10 мг/мл и также с этилацетатным экстрактом листьев (SLE) аронии Мичурина в концентрациях 0.01, 0.1, 1 и 5 мг/мл. Контрольные мухи содержались на питательной среде с добавлением 96 % этанола в объеме 30 мкл. Экспериментальных мух обрабатывали экстрактами в соответствующих концентрациях в возрасте 4 недель и до конца жизни. Перед обработкой экстрактами экспериментальных мух содержали на контрольной среде с содержанием 96 % этанола.

Анализ продолжительности жизни

Перед началом эксперимента свежевывлупившихся мух разделяли по полу. Для этого их подвергали кратковременной анестезии углекислым газом CO₂. Для каждого варианта эксперимента формировали группу из 150–160 особей одного пола, которых равномерно распределяли по 5 пробиркам (по 30–32 особи в каждой). Самцов и самок содержали раздельно на протяжении всего исследования. Ежедневно фиксировали количество погибших особей. Дважды в неделю оставшихся живых мух аккуратно пересаживали в новые пробирки со свежеприготовленной питательной средой, содержащей соответствующие исследуемые концентрации экстракта. Эксперименты проводились в трех независимых повторностях. Рассчитывали медианную (возраст 50 % смертности) и максимальную (возраст 90 % смертности) продолжительность жизни.

Статистический анализ

Статистический анализ данных был выполнен с использованием программного

обеспечения Excel (Microsoft, США) и OASIS 2 (Online Application for Survival Analysis 2) (Han et al., 2024). Для сравнения статистических различий в функциях выживаемости и медианной продолжительности жизни (ПЖ) между контрольной и экспериментальной группами использовались модифицированный критерий Колмогорова – Смирнова и логранговый критерий соответственно (Mantel, 1966; Fleming et al., 1980). Для оценки различий в возрасте 90 % смертности использовался тест Ванг – Эллисона (Wang et al., 2004).

Результаты

Нами были проанализированы эффекты экстракта ягод (SBE) и экстракта листьев (SLE) аронии Мичурина, применяемых с 4-й недели и до конца жизни, на показатели продолжительности жизни особей обоих полов *D. melanogaster*.

Обнаружено, что у самцов применение экстракта ягод в концентрации 0.1 мг/мл вызвало статистически значимое снижение медианной ПЖ на 7 % ($p < 0.0001$) и максимальной ПЖ до 2 % ($p < 0.01$) (рис. 1А, Б, табл. 1). Также SBE в концентрациях 0.01, 1, 2.5 и 5 мг/мл снижал медианную ПЖ до 2 % ($p < 0.05$) у самцов. У самок SBE в концентрации 1 мг/мл вызвал увеличение медианной ПЖ на 5 % ($p < 0.01$), однако в концентрации 0.01 мг/мл снизил ее на 3 % ($p < 0.01$). SBE в концентрации 1 мг/мл увеличил максимальную ПЖ самок на 4 % ($p < 0.05$), а в концентрации 0.01 мг/мл SBE снизил ее на 3 % ($p < 0.05$) (рис. 1В, Г, табл. 1).

Экстракт листьев аронии Мичурина вызвал у самцов статистически значимое ($p < 0.05$) снижение медианной ПЖ на 2 % (5, 0.1 и 0.01 мг/мл SLE), а также максимальной ПЖ на 7 % (5 мг/мл SLE) и на 4 % (1 и 0.01 мг/мл SLE) ($p < 0.01$) (рис. 2А, Б, табл. 1). У самок было выявлено как увеличение медианной ПЖ на 2 % ($p < 0.05$) при концентрации SLE 0.1 мг/мл, так и снижение медианной ПЖ на 5 % ($p < 0.05$) и максимальной ПЖ на 1 % при концентрации SLE 0.01 мг/мл ($p < 0.001$) (рис. 2В, Г, табл. 1).

Обсуждение

Проведенные ранее исследования демонстрируют выраженное влияние различных биологически активных соединений на показатели продолжительности жизни. В частности, применение ацетонового экстракта плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) в концентрации 2.5 мг/мл

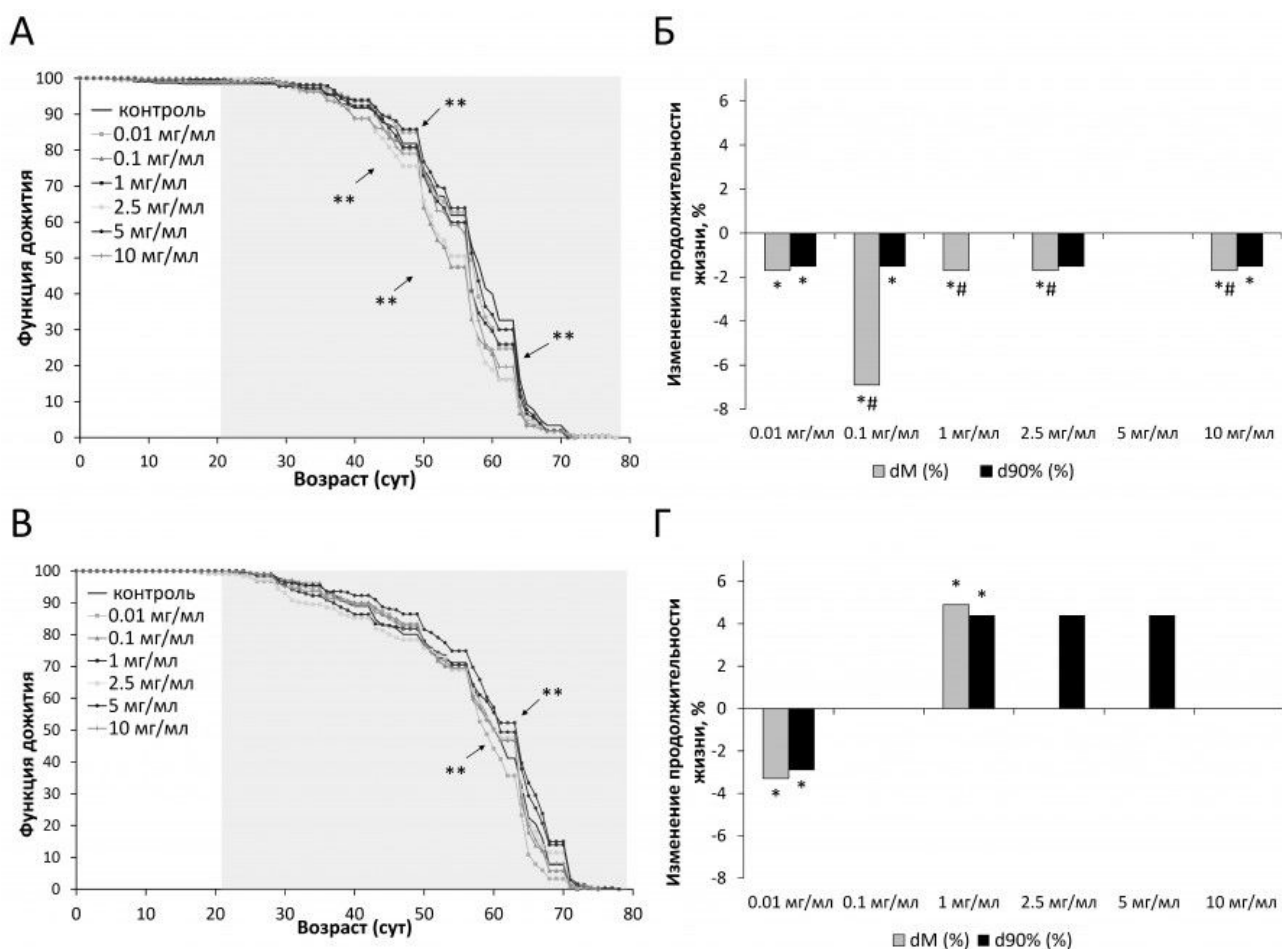


Рис. 1. Влияние SBE на продолжительность жизни *D. melanogaster*. Показаны кривые выживания (А, В), а также изменение (относительно контроля) медианной (dM) и максимальной (d90%) продолжительности жизни (Б, Г) самцов (А, Б) и самок (В, Г). Объединены результаты трех повторностей. Серый фон показывает возраст обработки SBE с 4 недели до конца жизни. *р

Fig.1. The effect of SBE on the lifespan of *D. melanogaster*. Survival curves (А, В) and the change (relative to control) in median (dM) and maximum (d90%) lifespan (Б, Г) of males (А, Б) and females (В, Г) are shown. The results of three repetitions are combined. The gray background shows the age of SBE treatment from the 4th week to the end of life. *р

приводило к увеличению средней продолжительности жизни на 18 % и улучшению двигательной активности в молодом (10-е сутки) и зрелом возрасте (40-е сутки) у самцов *Drosophila melanogaster* (Jo, Imm, 2017). При изучении флавоноидов (кверцетина и (-)-эпикатехина) было установлено, что их длительное добавление в питательную среду не изменяло продолжительность жизни, тогда как кратковременное применение в среднем возрасте (30–40-й дней) оказывало положительное влияние на продолжительность жизни самок плодовых мушек (Proshkina et al., 2016). В исследованиях на мышах показано, что введение рапамицина в возрасте 20–22 месяцев способствовало снижению риска развития возрастных нарушений, включая дегенеративные изменения печени, сердца, надпочечников и кистозную

гиперплазию эндометрия у самок (Wilkinson et al., 2012). Эти данные подчеркивают важность выбора оптимальных временных рамок и режимов применения биологически активных соединений для достижения максимального геропротекторного эффекта.

Для объяснения полученных нами эффектов необходимо учитывать, что листья и плоды *A. melanocarpa* и *×S. mitschurinii* имеют различный состав биологически активных веществ, которые по отдельности или в совокупности могут оказывать разные эффекты на продолжительность жизни *D. melanogaster*. Кроме того, определенные полифенолы являются соединениями естественной системы защиты растений и токсичны для их биологических врагов (Гелашвили и др., 2016; Leri et al., 2020). Вероятно, из-за этого экстракт листьев проявляет пре-

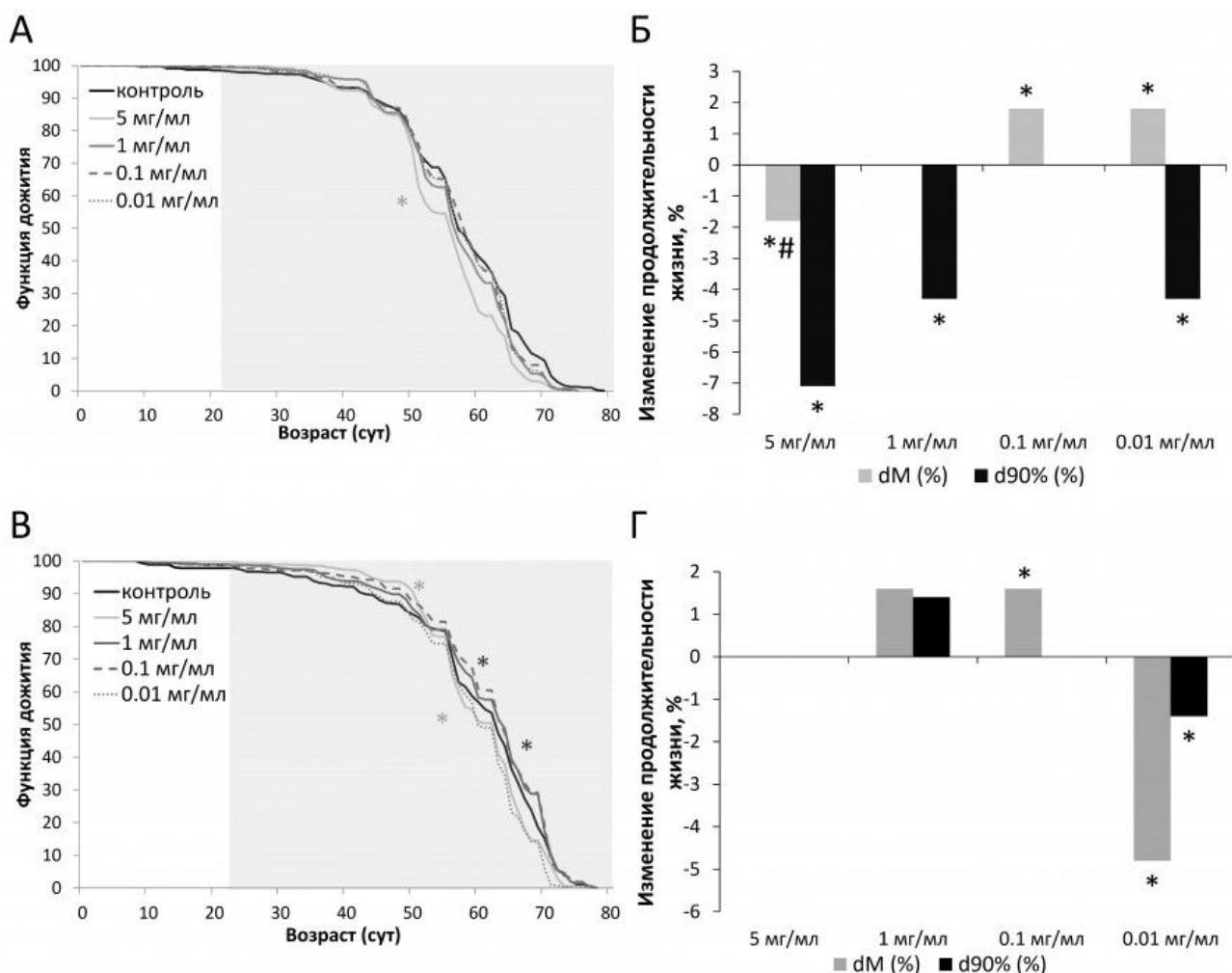


Рис. 2. Влияние SLE на продолжительность жизни *D. melanogaster*. Показаны кривые выживания (А, В), а также изменение (относительно контроля) медианной (dM) и максимальной (d90%) продолжительности жизни (Б, Г) самцов (А, Б) и самок (В, Г). Объединены результаты трех повторностей. Серый фон показывает возраст обработки SLE с 4-й недели до конца жизни. *р

Fig. 2. The effect of SLE on the lifespan of *D. melanogaster*. Survival curves (А, В) and the change (relative to control) in median (dM) and maximum (d90%) lifespan (Б, Г) of males (А, Б) and females (В, Г) are shown. Results of three repetitions are combined. The gray background shows the age of SLE treatment from the 4th week to end of life. *р

имущественно токсический эффект, снижая продолжительность жизни самцов и самок *D. melanogaster* по сравнению с экстрактом ягод.

Поскольку экстракт листьев, как установлено на примере *A. melanocarpa*, содержит в 10 раз больше фенолов (131 мг) и флавоноидов (88 мг), чем ягодный экстракт (13 и 10 мг соответственно), полученный результат может свидетельствовать об эффекте гормезиса. В этом случае более высокая концентрация биологически активных веществ оказывает снижающий эффект на продолжительность жизни, тогда как более низкие концентрации могут иметь противоположное действие (Cvetanović et al., 2018; Leri et al., 2020). При этом существуют исследова-

ния, в которых экстракты листьев оказывали положительное воздействие на продолжительность жизни модельного организма. Так, экстракт из листьев и побегов рейнрутии японской (*Reynoutria japonica* Houtt.) продемонстрировал комплексное геропротекторное действие, выражавшееся в увеличении максимальной продолжительности жизни до 23 %, повышении плодовитости и увеличении массы тела на 3 % у *Drosophila melanogaster* (Borovaya, Sobko, 2024).

Плоды аронии (*A. melanocarpa*) характеризуются высоким содержанием определенной группы флавоноидов, а именно антоцианов (цианидин, дельфинидин, пеларгонидин, пеонидин, петунидин, мальвидин), которые широко изучены и оказы-

Таблица 1. Влияние экстракта ягод и листьев аронии Мичурина, применяемого с 4-й недели и до конца жизни, на продолжительность жизни *D. melanogaster*

Концентрация	Пол	М, сут	dM, %	90%, сут	d90, %	Пол	М, сут	dM, %	90%, сут	d90, %
Экстракт ягод										
Контроль	♂	58		65		♀	61		68	
0.01	♂	57	-1.7*	64	-1.5*	♀	59	-3.3*	66	-2.9*
0.1	♂	54	-6.9*	64	-1.5*	♀	61	0	71	0
1.0	♂	57	-1.7*	65	0	♀	64	4.9*	71	4.4*
2.5	♂	57	-1.7*	64	-1.5	♀	61	0	71	4.4
5.0	♂	58	0	65	0	♀	61	0	71	4.4
10.0	♂	57	-1.7	64	-1.5*	♀	61	0	68	0
Экстракт листьев										
Контроль	♂	57		70		♀	63		71	
0.01	♂	58	1.8*	67	-4.3*	♀	60	-4.8*	70	-1.4*
0.1	♂	58	1.8*	67	-4.3	♀	64	1.6*	71	0
1.0	♂	57	0	67	-4.3*	♀	64	1.6	72	1.4
5.0	♂	56	-1.8*	65	-7.1-	♀	63	0	71	0

Примечание. М – медианная продолжительность жизни; 90 % – возраст 90 % смертности (максимальная продолжительность жизни), dM и d90 – различия между опытной и контрольной группами по медианной и максимальной продолжительности жизни соответственно, ♂ – самцы, ♀ – самки.

вают благоприятное влияние на здоровое долголетие (Jurendić, Ščetar, 2021; Liu et al., 2021). Применение дельфинидин-3-О-глюкозида в концентрации 10 мкМ оказало полоспецифичное влияние на медианную продолжительность жизни *D. melanogaster*: у самок наблюдалось увеличение показателя на 4 %, тогда как у самцов – снижение на 5 % (Платонова, 2024). Цианидин-3-глюкозид в концентрациях 10 и 100 мкМ увеличивает максимальную продолжительность жизни самцов *D. melanogaster* на 3 % и 8 % соответственно (Golubev et al., 2022). Применение пеонидин-3-глюкозида в концентрации 50 мкг/мл увеличивало продолжительность жизни *Caenorhabditis elegans* на 14 % и существенно повышало устойчивость организма к различным видам стресса. В частности, соединение обеспечивало 25 % повышение выживаемости при воздействии ультрафиолетового излучения (UVA-диапазона) и термического стресса, а также 48 % увеличение резистентности к окислительному стрессу (Nas et al., 2021).

Заключение

Наши данные демонстрируют, что экстракт плодов *×Sorbaronia mitschurinii*, применяемый в зрелом возрасте и до конца жизни на модели *D. melanogaster*, проявляет более выраженный геропротекторный эффект по сравнению с экстрактом листьев,

использованным в аналогичных условиях. Это различие, вероятно, обусловлено существенными различиями в качественном составе биологически активных соединений между плодовыми и листовыми экстрактами (Cvetanović et al., 2018; Leri et al., 2020). В рамках настоящего исследования экстракты выступали в качестве умеренного стресс-фактора, поскольку представляют собой нетипичный компонент питания для плодовых мушек. Наши результаты позволяют предположить, что наблюдаемые эффекты связаны со способностью этих экстрактов модулировать процессы старения через активацию генов стресс-ответа, что способствует адаптации организма к изменяющимся условиям окружающей среды (He, Jasper, 2014).

В дальнейших исследованиях нами планируется оценить эффекты экстракта листьев аронии Мичурина на продолжительность жизни *D. melanogaster* при обработке мух на протяжении всей жизни. Мы также намерены выявить механизмы воздействия данного экстракта на стрессоустойчивость с помощью анализа уровня экспрессии генов стресс-ответа. Это позволит не только углубить понимание молекулярных механизмов, лежащих в основе различных эффектов, но и разработать новые принципы использования экстракта для различных целей с учетом оптимальных концентраций.

Библиография

- Гелашвили Д. Б., Безель В. С., Романова Е. Б., Безруков М. Е., Силкин А. А., Нижегородцев А. А. Принципы и методы экологической токсикологии / Под ред. проф. Д. Б. Гелашвили. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2016. 702 с.
- Платонова Е. Ю., Голубев Д. А., Патов С. А., Некрасова П. С., Шапошников М. В., Москалёв А. А. Исследование влияния природного антоциана дельфинидина на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster* // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2024. № 9 (75). С. 92–97. DOI: 10.19110/1994-5655-2024-9-92-97
- Скворцов А. К., Майтулина Ю. К. Об отличиях культурной черноплодной аронии от ее диких родоначальников // Бюллетень Главного ботанического сада. 1982. Вып. 126. С. 35–40.
- Скворцов А. К., Майтулина Ю. К., Горбунов Ю. Н. О месте, времени и возможном механизме возникновения культурной черноплодной аронии // Бюллетень МОИП. Отд. биол. 1983. Т. 88. С. 88–96.
- Borovaya S., Sobko O. G. The effect of using nutrient medium enriched with Reynoutria japonica extract on the survivorship of *Drosophila melanogaster* Meigen, 1830 // Amurian Zoological Journal. 2024. Vol. P. 936–943. DOI: 10.33910/2686-9519-2024-16-4-936-943
- Cvetanović A., Zengin G., Zeković Z., Švarc-Gajić J., Ražić S., Damjanović A., Mašković P., Mitić M. Comparative in vitro studies of the biological potential and chemical composition of stems, leaves and berries *Aronia melanocarpa*'s extracts obtained by subcritical water extraction // Food and Chemical Toxicology. 2018. Vol. P. 458–466. DOI: 10.1016/j.fct.2018.09.045
- Del Rio D., Rodriguez-Mateos A., Spencer J. P., Tognolini M., Borges G., Crozier A. Dietary (poly)phenolics in human health: structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases // Antioxid Redox Signal. 2013. Vol. 14. P. 1818–1992. DOI: 10.1089/ars.2012.4581
- Fleming T. R., O'Fallon J. R., O'Brien P. C., Harrington D. P. Modified Kolmogorov-Smirnov Test Procedures with Application to Arbitrarily Right-Censored Data // Biometrics. 1980. Vol. 36, No 4. P. 607–625. DOI: 10.2307/2556114
- Golubev D., Zemskaya N., Shevchenko O., Shaposhnikov M., Kukuman D., Patov S., Punegov V., Moskaev A. Honeysuckle extract (*Lonicera pallasii* L.) exerts antioxidant properties and extends the lifespan and healthspan of *Drosophila melanogaster* // Biogerontology. 2022. Vol. 2. P. 215–235. DOI: 10.1007/s10522-022-09954-1
- Han S. K., Kwon H. C., Yang J.-S., Kim S., Lee S.-J. V. OASIS portable: User-friendly offline suite for secure survival analysis // Molecules and Cells. 2024. Vol. 2. P. 100011. DOI: 10.1016/j.mocell.2024.100011
- He Y., Jasper H. Studying aging in *Drosophila* // Methods. 2014. Vol. 1. P. 129–33. DOI: 10.1016/j.ymeth.2014.04.008
- Jo A. R., Imm J. Y. Effects of aronia extract on lifespan and age-related oxidative stress in *Drosophila melanogaster* // Food Sci Biotechnol. 2017. Vol. 5. P. 1399–1406. DOI: 10.1007/s10068-017-0180-5
- Jurendić T., Ščetar M. Aronia melanocarpa products and by-Products for health and nutrition: A Review // Antioxidants (Basel). 2021. Vol. 7. P. DOI: 10.3390/antiox10071052
- Kulling S. E., Rawel H. M. Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) – A review on the characteristic components and potential health effects // Planta Med. 2008. Vol. 13. P. 1625–1634. DOI: 10.1055/s-0028-1088306
- Leonard P. J., Brand M. H., Connolly B. A., Obae S. G. Investigation of the Origin of aronia mitschurinii using amplified fragment length polymorphism analysis // HortScience horts. 2013. Vol. 5. P. 520–524. DOI: 10.21273/hortsci.48.5.520
- Leri M., Scuto M., Ontario M. L., Calabrese V., Calabrese E. J., Bucciantini M., Stefani M. Healthy effects of plant polyphenols: molecular mechanisms // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 4. P. 1250.
- Mantel N. Models for complex contingency tables and polychotomous dosage response curves // Biometrics. 1966. Vol. 1. P. 83–95.
- Moskalev A., Chernyagina E., Tsvetkov V., Fedintsev A., Shaposhnikov M., Krut'ko V., Zhavoronkov A., Kennedy B. K. Developing criteria for evaluation of geroprotectors as a key stage toward translation to the clinic // Aging Cell. 2016. Vol. 3. P. 407–415. DOI: 10.1111/accel.12463
- Moskalev A., Chernyagina E., de Magalhaes J. P., Barardo D., Thoppil H., Shaposhnikov M., Budovsky A., Fraifeld V. E., Garazha A., Tsvetkov V., Bronovitsky E., Bogomolov V., Scerbacov A., Kuryan O., Gurinovich R., Jellen L. C., Kennedy B., Mamoshina P., Dobrovolskaya E., Aliper A., Kaminsky D., Zhavoronkov A. Geroprotectors.org: a new, structured and curated database of current therapeutic interventions in aging and age-related disease // Aging (Albany NY). 2015. Vol. 7. P. 616–628.
- Nas J. S., Manalo R. V., Medina P. M. Peonidin-3-glucoside extends the lifespan of *Caenorhabditis elegans* and enhances its tolerance to heat, UV, and oxidative stresses // ScienceAsia. 2021. Vol. P. 457. DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2021.059

- Platonova E. Y., Shaposhnikov M. V., Lee H.-Y., Lee J.-H., Min K.-J., Moskaev A. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) extracts in terms of geroprotector criteria // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. P. 570–584. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.06.020
- Platonova E. Y., Zemskaya N. V., Shaposhnikov M. V., Golubev D. A., Kukuman D. V., Pakshina N. R., Ulyasheva N. S., Punegov V. V., Patov S. A., Moskaev A. Geroprotective effects of *×Sorbaronia mitschurinii* fruit extract on *Drosophila melanogaster* // Journal of Berry Research. 2022. Vol. 1. P. 73–92. DOI: 10.3233/jbr-211502
- Proshkina E., Lashmanova E., Dobrovolskaya E., Zemskaya N., Kudryavtseva A., Shaposhnikov M., Moskaev A. Geroprotective and radioprotective activity of quercetin, (-)-Epicatechin, and Ibuprofen in *Drosophila melanogaster* // Front Pharmacol. 2016. Vol. P. 505. DOI: 10.3389/fphar.2016.00505
- Sammot Bartolo N., Azzopardi L. M., Serracino-Inglott A. Pharmaceuticals and the environment // Early Human Development. 2021. Vol. P. 105218. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2020.105218
- Sennikov A., Phipps J. Atlas Florae Europaeae notes, 19–22. Nomenclatural changes and taxonomic adjustments in some native and introduced species of Malinae (Rosaceae) in Europe // Willdenowia. 2013. Vol. P. 33–44. DOI: 10.3372/wi.43.43104
- Skupień K., Kostrzewa-Nowak D., Oszmiański J., Tarasiuk J. In vitro antileukaemic activity of extracts from chokeberry (*Aronia melanocarpa* Elliott) and mulberry (*Morus alba* L.) leaves against sensitive and multidrug resistant HL60 cells // Phytotherapy Research. 2008. Vol. 5. P. 689–694. DOI: 10.1002/ptr.2411
- Stalažs A. *×Sorbaronia mitschurinii*: from an artificially created species to an invasion in Europe: repeating the fate of invasive *Amelanchier spicata*, a review // J. Plant. Res. 2021. Vol. 3. P. 497–507. DOI: 10.1007/s10265-021-01278-4
- Wang C., Li Q., Redden D. T., Weindruch R., Allison D. B. Statistical methods for testing effects on "maximum lifespan" // Mech Ageing Dev. 2004. Vol. 9. P. 629–632. DOI: 10.1016/j.mad.2004.07.003
- Wilkinson J. E., Burmeister L., Brooks S. V., Chan C. C., Friedline S., Harrison D. E., Hejtmancik J. F., Nadon N., Strong R., Wood L. K., Woodward M. A., Miller R. A. Rapamycin slows aging in mice // Aging Cell. 2012. Vol. 4. P. 675–682. DOI: 10.1111/j.1474-9726.2012.00832.x
- Xia B., de Belle J. S. Transgenerational programming of longevity and reproduction by post-eclosion dietary manipulation in *Drosophila* // Aging (Albany NY). 2016. Vol. 5. P. 1115–1134. DOI: 10.18632/aging.100932

Благодарности

Мы выражаем благодарность Ботаническому саду Института биологии Коми НЦ УрО РАН за возможность сбора плодов и листьев аронии Мичурина (Научная коллекция живых растений, № 507428).

Исследования выполнены в рамках государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Генетические механизмы стрессоустойчивости и контроля продолжительности жизни для поиска новых мишеней для геропротекторных вмешательств на модели *Drosophila melanogaster*» № 125013101228-2.

THE EFFECT OF EXTRACTS OF BERRIES AND LEAVES EXTRACTS OF BLACK CHOKEBERRY (*xSORBARONIA MITSCHURINII*) ON THE LIFESPAN OF *DROSOPHILA MELANOGASTER*

PLATONOVA
Elena Yuryevna

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 167982 Russia Syktyvkar Kommunisticheskaya St. 28, Dega37@yandex.ru

GOLUBEV
Denis Anatolyevich

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 167982 Russia Syktyvkar Kommunisticheskaya St. 28, denismeatboy@gmail.com

ZEMSKAYA
Nadezhda Vladimirovna

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 167982 Russia Syktyvkar Kommunisticheskaya St. 28, zemskaya@ib.komisc.ru

MIKHAILOVA
Darya Vladimirovna

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 167982 Russia Syktyvkar Kommunisticheskaya St. 28, kukuman@ib.komisc.ru

PAKSHINA
Natalya Rishatovna

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 167982 Russia Syktyvkar Kommunisticheskaya St. 28, pakshina.n.r@ib.komisc.ru

TIMUSHEVA
Natalia Sergeevna

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 167982 Russia Syktyvkar Kommunisticheskaya St. 28, uliasheva.n.s@ib.komisc.ru

SHAPOSHNIKOV
Mikhail Vyacheslavovich

PhD, Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 167982 Russia Syktyvkar Kommunisticheskaya St. 28, shaposhnikov@ib.komisc.ru

MOSKALEV
Aleksey Aleksandrovich

D.Sc., Institute of Longevity with a Clinic of Rehabilitation and Preventive Medicine, Russian Scientific Centre of Surgery named after Academician B. V. Petrovsky, 119435 Russia Moscow, amoskalev@list.ru

Keywords:

leaves
berries
chokeberry extract
life span
Drosophila melanogaster
xSorbaronia mitschurinii

Summary: Black chokeberry (*xSorbaronia mitschurinii*) is a valuable fruit crop with a high content of a wide range of polyphenols and other biologically active substances. The fruits contain flavonoids (quercetin, rutin), phenolic acids (neochlorogenic, chlorogenic and caffeic acids), anthocyanins (various cyanidins), as well as vitamins (C, E, B2, B9, P, PP) and minerals (zinc, copper, iron, cobalt). The leaves are dominated by flavonoids (rutin, quercetin) and phenolic acids in the form of caffeic, chlorogenic and rosmarinic acids. It is known that these biologically active substances have geroprotective potential. Previously, we found that short-term use of chokeberry extract from the 4th to the 6th week of life had a positive effect on the lifespan of *Drosophila melanogaster*. Therefore, we analyzed the effect of fruit extracts (0.01, 0.1, 1, 2.5, 5 and 10 mg/ml) and leaves (0.01, 0.1, 1 and 5 mg/ml) of chokeberry on life expectancy of *D.*

melanogaster when imago was treated from the age of 4 weeks to the end of life It was found that the berry extract at a concentration of 0.1 mg/ml decreased the median and maximum lifespan of males by 7 % and 2 %, respectively, while in females, the extract at a concentration of 1 mg/ml increased the median and maximum lifespan by 5 % and 4 %, respectively. At the same time, the leaf extract decreased the median and maximum lifespan of males. In females, the leaf extract at a concentration of 0.1 mg/ml increased the median lifespan by 2 %, while at a concentration of 0.01 mg/ml it decreased it by 5 %. Thus, further studies of chokeberry fruit and leaf extracts are needed to identify the mechanisms of influence on the adaptive capabilities of both sexes of *D. melanogaster*.

Reviewer: N. B. Macishina

Received on: 03 April 2025

Published on: 28 May 2025

References

- Borovaya S., Sobko O. G. The effect of using nutrient medium enriched with Reynoutria japonica extract on the survivorship of *Drosophila melanogaster* Meigen, 1830, Amurian Zoological Journal. 2024. Vol. P. 936–943. DOI: 10.33910/2686-9519-2024-16-4-936-943
- Cvetanović A., Zengin G., Zeković Z., Švarc-Gajić J., Ražić S., Damjanović A., Mašković P., Mitić M. Comparative in vitro studies of the biological potential and chemical composition of stems, leaves and berries Aronia melanocarpa's extracts obtained by subcritical water extraction, Food and Chemical Toxicology. 2018. Vol. P. 458–466. DOI: 10.1016/j.fct.2018.09.045
- Del Rio D., Rodriguez-Mateos A., Spencer J. P., Tognolini M., Borges G., Crozier A. Dietary (poly)phenolics in human health: structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases, Antioxid Redox Signal. 2013. Vol. 14. P. 1818–1992. DOI: 10.1089/ars.2012.4581
- Fleming T. R., O'Fallon J. R., O'Brien P. C., Harrington D. P. Modified Kolmogorov-Smirnov Test Procedures with Application to Arbitrarily Right-Censored Data, Biometrics. 1980. Vol. 36, No 4. P. 607–625. DOI: 10.2307/2556114
- Gelashvili D. B. Bezel' V. S. Romanova E. B. Bezrukov M. E. Silkin A. A. Nizhegorodcev A. A. Principles and methods of environmental toxicology, Pod red. prof. D. B. Gelashvili. N. Novgorod: Izd-vo NNGU, 2016. 702 p.
- Golubev D., Zemskaya N., Shevchenko O., Shaposhnikov M., Kukuman D., Patov S., Punegov V., Moskalev A. Honeysuckle extract (Lonicera pallasii L.) exerts antioxidant properties and extends the lifespan and healthspan of *Drosophila melanogaster*, Biogerontology. 2022. Vol. 2. P. 215–235. DOI: 10.1007/s10522-022-09954-1
- Han S. K., Kwon H. C., Yang J. S., Kim S., Lee S., J. V. OASIS portable: User-friendly offline suite for secure survival analysis, Molecules and Cells. 2024. Vol. 2. P. 100011. DOI: 10.1016/j.mocell.2024.100011
- He Y., Jasper H. Studying aging in *Drosophila*, Methods. 2014. Vol. 1. P. 129–33. DOI: 10.1016/j.ymeth.2014.04.008
- Jo A. R., Imm J. Y. Effects of aronia extract on lifespan and age-related oxidative stress in *Drosophila melanogaster*, Food Sci Biotechnol. 2017. Vol. 5. P. 1399–1406. DOI: 10.1007/s10068-017-0180-5
- Jurendić T., Ščetar M. Aronia melanocarpa products and by-Products for health and nutrition: A Review, Antioxidants (Basel). 2021. Vol. 7. P. DOI: 10.3390/antiox10071052
- Kulling S. E., Rawel H. M. Chokeberry (Aronia melanocarpa) – A review on the characteristic components and potential health effects, Planta Med. 2008. Vol. 13. P. 1625–1634. DOI: 10.1055/s-0028-1088306
- Leonard P. J., Brand M. H., Connolly B. A., Obae S. G. Investigation of the Origin of aronia mitschurinii using amplified fragment length polymorphism analysis, HortScience horts. 2013. Vol. 5. P. 520–524. DOI: 10.21273/hortsci.48.5.520
- Leri M., Scuto M., Ontario M. L., Calabrese V., Calabrese E. J., Bucciantini M., Stefani M. Healthy effects of plant polyphenols: molecular mechanisms, International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 4. P. 1250.
- Mantel N. Models for complex contingency tables and polychotomous dosage response curves, Biometrics. 1966. Vol. 1. P. 83–95.
- Moskalev A., Chernyagina E., Tsvetkov V., Fedintsev A., Shaposhnikov M., Krut'ko V., Zhavoronkov A., Kennedy B. K. Developing criteria for evaluation of geroprotectors as a key stage toward translation to the clinic, Aging Cell. 2016. Vol. 3. P. 407–415. DOI: 10.1111/ace.12463
- Moskalev A., Chernyagina E., de Magalhaes J. P., Barardo D., Thoppil H., Shaposhnikov M., Budovsky A., Fraifeld V. E., Garazha A., Tsvetkov V., Bronovitsky E., Bogomolov V., Scerbacov A., Kuryan O., Gurinovich R., Jellen L. C., Kennedy B., Mamoshina P., Dobrovolskaya E., Aliper A., Kaminsky D., Zhavoronkov A. Geroprotectors.org: a new, structured and curated database of current therapeutic

- interventions in aging and age-related disease, Aging (Albany NY). 2015. Vol. 7. P. 616–628.
- Nas J. S., Manalo R. V., Medina P. M. Peonidin-3-glucoside extends the lifespan of *Caenorhabditis elegans* and enhances its tolerance to heat, UV, and oxidative stresses, ScienceAsia. 2021. Vol. P. 457. DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2021.059
- Nowak D. Tarasiuk J. Michxelliott) and mulberry (*Morus alba* L.) leaves against sensitive and multidrug resistant HL60 cells, Phytotherapy Research. 2008. Vol. 5. P. 689–694. DOI: 10.1002/ptr.2411
- Platonova E. Y., Shaposhnikov M. V., Lee H. Y., Lee J. H., Min K. J., Moskalev A. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) extracts in terms of geroprotector criteria, Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. P. 570–584. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.06.020
- Platonova E. Y., Zemskaya N. V., Shaposhnikov M. V., Golubev D. A., Kukuman D. V., Pakshina N. R., Ulyasheva N. S., Punegov V. V., Patov S. A., Moskalev A. Geroprotective effects of *×Sorbaronia mitschurinii* fruit extract on *Drosophila melanogaster*, Journal of Berry Research. 2022. Vol. 1. P. 73–92. DOI: 10.3233/jbr-211502
- Platonova E. Yu. Golubev D. A. Patov S. A. Nekrasova P. S. Shaposhnikov M. V. Investigation of the effect of the natural anthocyanin delphinidin on the life expectancy of *Drosophila melanogaster*, Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN. 2024. No. 9 (75). P. 92–97. DOI: 10.19110/1994-5655-2024-9-92-97
- Proshkina E., Lashmanova E., Dobrovolskaya E., Zemskaya N., Kudryavtseva A., Shaposhnikov M., Moskalev A. Geroprotective and radioprotective activity of quercetin, (-)-Epicatechin, and Ibuprofen in *Drosophila melanogaster*, Front Pharmacol. 2016. Vol. P. 505. DOI: 10.3389/fphar.2016.00505
- Sammuto Bartolo N., Azzopardi L. M., Serracino-Inglott A. Pharmaceuticals and the environment, Early Human Development. 2021. Vol. P. 105218. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2020.105218
- Sennikov A., Phipps J. Atlas Florae Europaeae notes, 19–22. Nomenclatural changes and taxonomic adjustments in some native and introduced species of Malinae (Rosaceae) in Europe, Willdenowia. 2013. Vol. P. 33–44. DOI: 10.3372/wi.43.43104
- Skvorcov A. K. Maytulina Yu. K. Gorbunov Yu. N. About the place, time and possible mechanism of the emergence of cultural aronia, Byulleten' MOIP. Otd. biol. 1983. T. 88. P. 88–96.
- Skvorcov A. K. Maytulina Yu. K. About the differences between cultural aronia and its wild ancestors, Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada. 1982. Vyp. 126. P. 35–40.
- Stalažs A. *×Sorbaronia mitschurinii*: from an artificially created species to an invasion in Europe: repeating the fate of invasive *Amelanchier ×spicata*, a review, J. Plant. Res. 2021. Vol. 3. P. 497–507. DOI: 10.1007/s10265-021-01278-4
- Wang C., Li Q., Redden D. T., Weindruch R., Allison D. B. Statistical methods for testing effects on «maximum lifespan», Mech Ageing Dev. 2004. Vol. 9. P. 629–632. DOI: 10.1016/j.mad.2004.07.003
- Wilkinson J. E., Burmeister L., Brooks S. V., Chan C. C., Friedline S., Harrison D. E., Hejtmancik J. F., Nadon N., Strong R., Wood L. K., Woodward M. A., Miller R. A. Rapamycin slows aging in mice, Aging Cell. 2012. Vol. 4. P. 675–682. DOI: 10.1111/j.1474-9726.2012.00832.x
- Xia B., de Belle J. S. Transgenerational programming of longevity and reproduction by post-eclosion dietary manipulation in *Drosophila*, Aging (Albany NY). 2016. Vol. 5. P. 1115–1134. DOI: 10.18632/aging.100932