

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ МИКРОКЛОНОВ ГРЕЦКОГО ОРЕХА
*JUGLANS REGIA L.*Н.К. Корбозова^{1,2} , М. Ербай^{1,2} , А.Н. Зорбекова^{1,2} , Н.О Кудрина^{1,2} , А.Е. Айсабаева² ,Н.В Терлецкая^{1,2} ¹РГП на ПХВ Институт генетики и физиологии МНВО РК, Алматы, Казахстан,²Казахский Национальный университет имени аль-Фараби

* Автор для корреспонденции: Naz-ik@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Грецкий орех (*Juglans regia* L.), растение, принадлежащее к роду *Juglans* из семейства Juglandaceae, родом из региона, простирающегося от Балкан на восток до Гималаев. С давних времен грецкий орех широко используется как в народной, так и в традиционной медицине при различных заболеваниях и входит в число лекарственных растений, представляющих интерес из-за его богатого содержания антиоксидантов, таких как флавоноиды, фенольные кислоты, мелатонин, фолат, гамма-токоферол, селен и проантоцианидины в различных органах (ядра, скорлупа, корни и листья). Однако до настоящего времени практически не было исследований, посвященных тому, как грецкий орех может реагировать на абиотические стрессы в культуре *in vitro* и какие преимущества может дать подобное исследование, поэтому наша работа посвящена анализу антиоксидантной активности микроклонов побегов *J. regia in vitro* после воздействия низких положительных температур. Результаты данной работы показывают, что микроклоны *Juglans regia*, подвергшиеся холодовому стрессу, обладают большим антиоксидантным потенциалом чем микроклоны выращенные в более благоприятных температурных условиях. Показано также, что микроклоны грецкого ореха также представляют собой многообещающий источник биологически активных химических веществ и являются ценной моделью для изучения различных морфофизиологических и фитохимических процессов в растительных тканях

Ключевые слова: микроклоны, *in vitro*, антиоксидантность, температура, стресс, адаптация.

ВВЕДЕНИЕ

Грецкий орех (*Juglans regia* L.), растение, принадлежащее к роду *Juglans* из семейства Juglandaceae, является листопадным деревом родом из региона, простирающегося от Балкан на восток до Гималаев и юго-западного Китая [1]. С давних времен грецкий орех широко используется как в народной, так и в традиционной медицине при различных заболеваниях и входит в число лекарственных растений, представляющих интерес [2–4] из-за его богатого содержания антиоксидантов, таких как флавоноиды, фенольные кислоты (особенно эллаговая кислота), мелатонин, фолат, гамма-токоферол (витамин Е), селен, юглон и проантоцианидины [5] в различных органах (ядра, скорлупа, корни и листья).

В настоящее время во всем мире растет интерес к изучению того, как растения реагируют на метаболомическом уровне на холодовой стресс [6–9]. Исследования показывают, что низкотемпературный стресс может эффективно стимулировать производство и накопление вторичных метаболитов как *in vivo*, так и *in vitro* [10–12]. Показано также, что микроклоны грецкого ореха также представляют собой многообещающий источник биологически активных химических веществ и являются ценной моделью для изучения различных морфофизиологических и фитохимических процессов в растительных тканях [13,14], но исследования химического состава микропобегов *J. regia* остаются ограниченными. До настоящего времени практически не было исследований, посвященных тому, как грецкий орех может реагировать на абиотические стрессы в культуре *in vitro* и какие преимущества может дать подобное исследование [15], поэтому

наша работа посвящена анализу антиоксидантной активности микроклонов побегов *J. regia in vitro* после воздействия низких положительных температур.

В неблагоприятных условиях усиливается синтез вторичных метаболитов, природных антиоксидантов, помогающих растительному организму справиться со стрессовым напряжением. В настоящее время разработаны различные достаточно эффективные методы, позволяющие косвенно определять АОА веществ, такие как: хемилюминесцентные, электрохимические, хроматографические и спектрофотометрические [16]. И решающее значение во многих современных биотехнологических исследованиях играет применение газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС) для профилирования стресс-чувствительных метаболитов, которые помогают растениям адаптироваться к неблагоприятным условиям [17–19]. Ввиду того, что достаточно дорогой метод ГХ-МС эффективен для определения только летучих соединений, а растительные экстракты представлены широким кругом различных биологически активных веществ, одним из значимых показателей при определении антиоксидантной активности (АОА) может выступить интегральный показатель антиоксидантной активности (ИАА). Но на сегодняшний день методики прямого определения интегральной антиоксидантной активности растительного материала отсутствуют. Среди имеющихся методик, метод кулонометрического титрования позволяет оценить общую антиоксидантную активность объекта, а не концентрацию отдельных АО, информация о которых, как правило, недостаточна, поскольку не учитываются процессы взаимного окисления/восстановления и влияние матрицы исследуемого объекта. Этот метод считается наиболее эф-

фективным за счет способности брома вступать в реакции радикальные, окислительно-восстановительные, электрофильного замещения и присоединения по кратным связям, охватывая всевозможные антиоксиданты в сырье и обладает рядом преимуществ: хорошая воспроизводимость, высокая чувствительность, отсутствие длительной пробоподготовки.

Поэтому цель данной работы – оценить воспроизводимость кулонометрического метода для определения АОА экстрактов из микроклонов грецкого ореха, подвергнутых холодовому стрессу, сопоставить результаты метода с результатами, полученными ранее с помощью ГХ-МС и изучить ее зависимость от условий культивирования микроклонов [20].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является адаптированный для Алматинской области завезенный из Узбекистана сорт Идеал (*Juglans regia* Ideal), предоставленный частным крестьянским хозяйством Алматинской области, Енбекшиказахского района, номер сертификата SNJ326. Сорт Идеал – это низкорослое деревце, высотой не более 4-5 метров, плоды большие, средняя масса 10 граммов, светлое ядро, легко вынимается за счет тонкой скорлупы. Время созревания плодов сентябрь-октябрь месяц, выход плодов с одного дерева доходит до 120 кг, морозостойкая до -30 -35°C, устойчив к хлорозу. В качестве исходного материала для размножения *in vitro* были выбраны придаточные и пазушные почки одревесневших побегов *Juglans regia* L. В лаборатории генетики и репродукции лесных культур ИГФ был получен генетически однородный материал микроклонов, культивировавшихся *in vitro* в течение 1 месяца, и передан для наших исследований.

Для эксперимента были отобраны листья и стебли молодых микроклонов грецкого ореха (*Juglans regia* *effigia*) и разделены на две группы: контрольную и опытную. Образцы *Juglans regia* *effigia* опытной группы были подвергнуты обработке холодным стрессом в холодильной камере с освещением при низкой положительной температуре (4-6°C) в течение 72 часов.

Количественный анализ метаболитов проводился методом проводился с использованием газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрическим (ГХ-МС) обнаружением (Agilent 7890A/5975C, Санта-Клара, Калифорния, США). Образцы растительной ткани изначально сохранялись в 96% этаноле, используя соотношение 100 г ткани на 500 мл этанола. Процесс экстракции включал два этапа по 72 часа каждый на орбитальном шейкере, с использованием того же растворителя, пока растворитель не становился прозрачным и бесцветным. Для анализа 0,7 мкл каждого образца вводили в систему ГХ-МС при температуре ввода 310 °C, без разделения потока. Для обеспечения надежности каждый образец подвергался однократному вводу, и в общей сложности обрабатывалось три технических повтора. Разделение соединений достигалось с использованием капиллярной хроматографической колонки DB-17MS (Agilent Technologies, Санта-Клара, Калифорния, США) (длина 60 м, внутренний диаметр 0,25 мм и толщина пленки 0,25 мкм) с гелием в качестве газа-носителя при постоянной скорости потока 1 мл мин⁻¹.

Температурная программа начиналась с 50 °C (без времени выдержки) и увеличивалась до 300 °C со скоростью 5 °C мин⁻¹ (без времени выдержки), затем следовало повышение до 300 °C со скоростью 5 °C мин⁻¹ (с временем выдержки 10 мин). Детектирование выполнялось в SCAN m/z 34-800. Система ГХ управлялась с помощью программного обеспечения Agilent MSD ChemStation (версия 1701EA, Agilent Technologies, Санта-Клара, Калифорния, США) для управления системой, записи и обработки результатов. Анализ данных включал определение времени удерживания, площадей пиков и анализ спектральной информации с детектора МС. Интерпретация масс-спектров использовала библиотеки Wiley 7th edition и NIST'11, которые содержат более 550 000 спектров.

Для оценки интегральной антиоксидантной активности (ИАА) экстрактов *Juglans regia* *effigia* было использовано кулонометрическое титрование электрогенерированным бромом. Навеску (10 г) листьев ореха из обеих групп помещали в круглодонную колбу и добавляли растворитель (200 мл). Кипятили в колбе на водяной бане в течение 15 мин и настаивали 30 мин и 60 мин.

Электрогенерацию брома осуществляли на кулонометре «ЭКСПЕРТ – 006» кулонометрическим титрованием с использованием электрогенерированных галогенов. при постоянной силе тока 50 мА из водных растворов 0,2 М КВг в 0,1 М H₂SO₄ с определением конца титрования вольтамперометрической индикацией с двумя поляризованными электродами из инертного металла. Электроды размещались в катодной и анодной камерах, отделенных друг от друга полупроницаемой перегородкой [21].

Проводили предэлектролиз фонового раствора, для удаления посторонних восстановителей, в течение 5 -7 с. После того как на аноде генерируются радикалы брома, вводили аликвоту исследуемого экстракта (2 мл) и титровали электрогенерированным раствором брома до резкого увеличения тока в индикаторной цепи [20]. Антиоксидантную активность (АОА) сухого экстракта листьев ореха грецкого изучали методом, основанным на способности полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) образовывать под влиянием кислорода воздуха продукты перекисного окисления липидов (ПОЛ), которые в реакции с тиобарбитуровой кислотой дают красное окрашивание. АОА оценивали в процентах по степени окраски по отношению к контролю. Препаратом сравнения служил дибунол [5].

При достижении измерительного потенциала прибор выдает значение антиоксидантной активности в пересчете на аскорбиновую кислоту, по которому калибруют прибор [21]. Рассчитывали количество антиоксидантов, реагирующих на радикалы брома в миллиграммах, содержащихся в 100 мл экстракта по формуле: $M1 = M2V1/V2$ где M2 – количество антиоксидантов в аликвоте, V1 – объем экстракта, равное 100 мл; V2 – объем аликвоты, мл. По результатам кулонометрического титрования полученных экстрактов рассчитывали величину интегральной антиоксидантной активности экстрактов ИАА экстрактов [20].

Все эксперименты проводились не менее, чем в трехкратных биологических и аналитических повторностях, чтобы обеспечить достоверность полученных данных.

Обработку данных проводили с помощью программы «Statistica 10.0» в пакете программ MS Office Excel 2010 (Microsoft Corp., Редмонд, Вашингтон, округ Колумбия, США). Для анализа различных значений между образцами использовали t-критерий Стьюдента при $p < 0,05$ (Statistica 12, StatSoft Inc., Талса, США). Атипичные значения, основанные на данных, были исключены из t-критерия данных. Рассчитывали стандартную ошибку выборочного среднего. Знаки плюс/минус в таблицах показывают стандартную среднюю ошибку. На графиках показаны средние значения со стандартными планками ошибок. Различные буквы над столбцами диаграммы указывают на достоверность результатов при уровне значимости 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

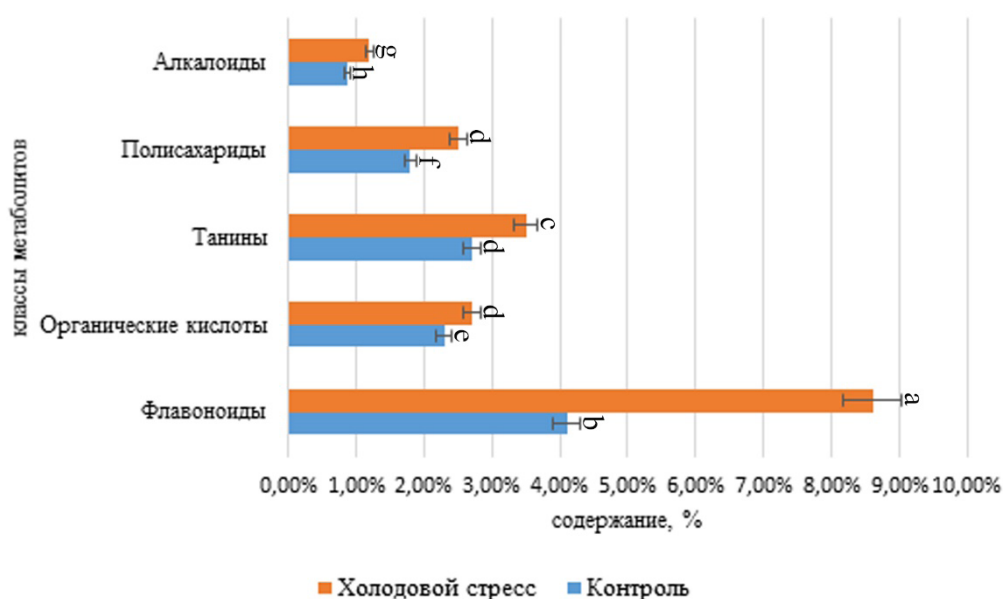
Неблагоприятные условия для растений, такие как экстремальные температуры, засуха, тяжелые металлы, дефицит питательных веществ и высокая соленость, нарушая обменные процессы, проницаемость мембран, вызывают окислительное повреждение клеток и тканей, генерируя высокие концентрации активных форм кислорода (ROS), которые могут вызывать окислительный стресс [22–24]. При холодовом стрессе организм активирует различные пути регуляции антиоксидантной системы для защиты от повреждений, вызванных повышенной выработкой свободных радикалов. Эти механизмы направлены на снижение образования свободных радикалов, а также на активацию эндогенной системы антиоксидантной защиты, состоящей как из ферментативных, так и из неферментативных компонентов [25,26]. Так, активные формы кислорода, которые при стрессе образуются в результате сбоя электрон-транспортных цепей могут инициировать изменение в стрессовых условиях уровня таких вторичных метаболитов, как полисахариды, органические кислоты, ал-

калоиды, танины, флавоноиды, и т.д., которые, к тому же, обладают выраженной противовоспалительной, иммунорегуляционной, антибактериальной, противовирусной активностями [27–29] (рисунок 1).

Органические кислоты и их производные жизненно важны для поддержания внутриклеточной осморегуляции, они оказывают сильное влияние на свойства мембран при стрессе, в частности, их текучесть [30,31]. Накопление полисахаридов при стрессе может происходить за счёт приостановки их оттока в связи с ослаблением фотосинтеза [32,33]. Однако этот процесс можно связать и с контролем стабилизации молекул липидов и белков, структуры мембран, нейтрализацией активных форм кислорода, а также участием углеводов в сигналинге и метаболических процессах в качестве источника энергии и предшественников синтеза других соединений-протекторов [34]. Алкалоиды участвуют в обеспечении баланса между распределением и деградацией при производстве аминокислот [35]. Танины также могут быть вовлечены в ответ растений на низкотемпературный стресс, изолируясь в вакуолях и защищая другие компоненты растительной клетки и могут действовать в комбинации с фенольными соединениями, предотвращая образование активных форм кислорода [36].

ОБСУЖДЕНИЕ

Но среди всех вторичных метаболитов именно фенольные соединения играют фундаментальную роль в борьбе с окислительным стрессом. Фенольные соединения преимущественно синтезируются в таких клеточных структурах, как пластиды (хлоропласты и тиопласты), эндоплазматический ретикулум и аппарат Гольджи [37,38], что подчеркивает клеточную инфраструктуру, поддерживающую их производство. Антиоксидантный антистрессовый эффект фенолов отвечает за стабилиза-



Примечание. буквы над столбцами обозначают значимые различия, статистически достоверные при $p \leq 0,05$; $n = 3$ растения для всех вариантов

Рисунок 1. Содержание биологически активных соединений в микроклонах *J. regia*

цию мембраны клеток, фенолы препятствуют аутолизу митохондрий; участвуют в «гашении» свободных радикалов, наиболее характерной реакции перекисного окисления липидов, оказывая цитозащитный эффект [39]. Известно, что эти соединения действуют как антиоксиданты не только из-за своей способности отдавать водород или электроны, но и потому, что они являются стабильными радикальными промежуточными продуктами. Антиоксидантная активность фенольных соединений во многом определяется количеством гидроксильных групп в ароматическом кольце [40–42]. В последние годы им уделяется все большее внимание [43]. Однако, до сих пор очень мало известно и об образовании фенольных соединений на начальных этапах онтогенеза растений, в культуре *in vitro*, в том числе в условиях действия неблагоприятных факторов внешней среды [44,45].

Как следует из данных, представленных на рисунке 1, содержание таких фенольных соединений, как флавоноиды, под воздействием холодового стресса увеличилось более, чем вдвое (рисунок 1).

Фенольные соединения также оказывают защитное действие на людей, когда растения употребляются в пищу. Как правило, антиоксидантная способность фенолов в растительных экстрактах эффективна при низких концентрациях, а у людей она связана с профилактикой сердечно-сосудистых заболеваний и рака. Таким образом, исследования по определению антиоксидантной активности экстрактов различных видов растений могут способствовать установлению ценности этих видов как источника новых антиоксидантных соединений [23].

В работах Абдуллина [46] и Брайнина [47] предложено использовать для определения антиоксидантной способности электрогенерированные окислители: хлор, бром и йод. В целом, среди электрохимических методов, используемых для определения антиоксидантной активности веществ, чаще всего выбирают кулонометрический метод с помощью электрогенерированного брома [48]. Так как, электрохимическое окисление бромид-ионов на платиновом электроде в кислых средах может привести к образованию Br_3^- , Br_2 , а также короткоживущих радикалов брома (Br_2O , адсорбированных на поверхности платинового электрода. Образующиеся при электроокислении соединения брома и сам бром легко вступают в радикальные и окислительно-восстановительные реакции, а также реакции электрофильного замещения и присоединения по кратным связям.

Это позволяет тестировать широкий круг биологически активных соединений различной структуры, обладающих антиоксидантными свойствами [20]. Значение бромной антиоксидантной способности отражает суммарное

Таблица 1. Интегральная антиоксидантная активность экстрактов грецкого ореха.

Экстракты	ИАА (мг/100мл)
Контроль (30 минут)	$47,33 \pm 3,57$
Опыт (30 минут)	$60,74 \pm 4,45^*$
Контроль (60 минут)	$95,91 \pm 5,02$
Опыт (60 минут)	$112,83 \pm 6,15^*$
Примечание: знак* показывает достоверность различий опытного варианта от контрольного при $p \leq 0,05$, $n=9$	

содержание антиоксидантов в пищевых продуктах и экстрактах лекарственного растительного сырья.

Полученные нами результаты определения ИАА кулонометрическим методом с помощью электрогенерированного брома представлены в таблице 1.

На основании полученных данных, приведенных в таблице 1, можно утверждать, что антиоксидантная активность экстракта грецкого ореха, у экстракта растений экспериментальной группы достоверно, на 28% превышала контрольные значения после экстракции в течение 30 и на 18% после экстракции в течение 60 минут.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что наибольшей ИАА отличаются экстракты листьев грецкого ореха, подвергшегося холодовому стрессу, что хорошо согласуется с данными, утверждающими, что при стрессовом воздействии интенсивность выработки антиоксидантов в растениях увеличивается. Эти результаты позволяют нам прийти к выводу что использование экстракта листьев грецкого ореха, испытанное холодовым стрессом, дает максимальное увеличение антиоксидантных свойств и холодовой стресс следует учитывать, как стимулирующий фактор синтеза ценных метаболитов-антиоксидантов для фармакологических целей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследована интегральная антиоксидантная активность экстрактов грецкого ореха с помощью электрохимического детектирования и ее зависимость от стрессового условия произрастания, в виде экстремально низких положительных температур ($4-6^\circ\text{C}$).

Установлено, что антиоксидантная активность экстракта микроклонов грецкого ореха, выращенного при стрессовой низкой температуре, превышает соответствующее значение для тех же растений выращенных при комнатной температуре. С увеличением времени настаивания АОО экстрактов в обеих группах возрастает, но разница между экстрактами группы опыта и контроля больше при настаивании 30 минут. Показано, что кулонометрическое титрование с помощью электрогенерированного брома является хорошо воспроизводимым методом определения антиоксидантной активности растительного материала.

Результаты данной работы показывают, что микроклоны *Juglans regia effigia*, подвергшиеся холодовому стрессу, обладают большим антиоксидантным потенциалом чем микроклоны выращенные в более благоприятных температурных условиях.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках программно-целевого фи-

нансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования BR 21882180 «Разработка программы сохранения и развития ресурсной базы перспективных для медицины и ветеринарии растений Казахстана в условиях изменяющегося климата». Научный руководитель – к.б.н., профессор Н.В.Терлецкая.

ЛИТЕРАТУРА

- McGranahan G., Leslie C. Walnuts (*Juglans*) // *Acta Horticulturae*. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 1991. № 290. P. 907–974.
- Abbasi M.A. et al. Investigation on the volatile constituents of *Juglans regia* and their in vitro antioxidant potential. 2010. Vol. 47. P. 137–141.
- Mirheidar H. Walnut tree // *Herbal Medicine* / ed. Asrar G. Vahid Press, Tehran, Iran, 2007. Vol. 1. P. 491–492. <https://doi.org/10.3390/ijms25094991>
- Rabiei K. et al. Effects of a hydroalcoholic extract of *Juglans regia* (walnut) leaves on blood glucose and major cardiovascular risk factors in type 2 diabetic patients: a double-blind, placebo-controlled clinical trial // *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2018. Vol. 18, № 1. P. 206. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2268-8>
- Бобренева И.В., Баюми А.А. Возможность использования тигровых орехов в мясных продуктах: 2 // *Техника и технология пищевых производств*. Россия, Кемерово: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», 2019. Vol. 49, № 2. P. 185–192. 10.21603/2074-9414-2019-2-185-19
- Paupière M.J. et al. Reprogramming of Tomato Leaf Metabolome by the Activity of Heat Stress Transcription Factor HsfB1 // *Front. Plant Sci. Frontiers*, 2020. Vol. 11. 10.3389/fpls.2020.610599
- Sun C.X. et al. Plastic responses in the metabolome and functional traits of maize plants to temperature variations // *Plant Biology*. 2016. Vol. 18, № 2. P. 249–261. <https://doi.org/10.1111/plb.12378>
- Ghassemi S. et al. Review and future prospects on the mechanisms related to cold stress resistance and tolerance in medicinal plants // *Acta Ecologica Sinica*. 2021. Vol. 41, № 2. P. 120–129. :10.1016/j.chnaes.2020.09.006
- Le Gall H. et al. NMR-based Metabolomics to Study the Cold-acclimation Strategy of Two *Miscanthus* Genotypes // *Phytochemical Analysis*. 2017. Vol. 28, № 1. P. 58–67. <https://doi.org/10.1002/pca.2649>
- Wallaart T.E. et al. Seasonal Variation of Artemisinin and its Biosynthetic Precursors in Plants of *Artemisia annua* of Different Geographical Origin: Proof for the Existence of Chemotypes // *Planta Med*. Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York, 2000. Vol. 66, № 01. P. 57–62. 10.1055/s-2000-11115
- Rani R. et al. Metabolic signatures altered by in vitro temperature stress in *Ajuga bracteosa* Wall. ex. Benth. // *Acta Physiol Plant*. 2017. Vol. 39, № 4. P. 97. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-017-2394-9>
- Upadhyaya H. Changes in Antioxidative Responses to Low Temperature in Tea [*Camellia sinensis* (L) O. Kuntze] Cultivars // *Int. J. Modern Bot*. 2012. Vol. 2. P. 83–87. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3501.1205>
- Jay-Allemand C. et al. Micropropagation of hybrid walnut trees: Some factors involved in rooting // *Acta Horticulturae*. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 1993. № 311. P. 117–124. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:19890523>
- Cheniany M. et al. Content of different groups of phenolic compounds in microshoots of *Juglans regia* cultivars and studies on antioxidant activity // *Acta Physiol Plant*. 2013. Vol. 35, № 2. P. 443–450. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-012-1087-7>
- Terletskaia N.V. et al. Influence of Cold Stress on Physiological and Phytochemical Characteristics and Secondary Metabolite Accumulation in Microclones of *Juglans regia* L.: 9 // *International Journal of Molecular Sciences*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2024. Vol. 25, № 9. P. 4991. <https://doi.org/10.3390/ijms25094991>
- Попова К.Г. Потенциометрическое определение антиоксидантной активности экстрактов растительного сырья с использованием гексацианоферрата кальция: Магистерская диссертация. Екатеринбург, Россия: ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Химико-технологический институт, Кафедра аналитической химии, 2017. 61 p.
- Jorge T.F., Mata A.T., António C. Mass spectrometry as a quantitative tool in plant metabolomics // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Royal Society, 2016. Vol. 374, № 2079. P. 20150370. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0370>
- Jorge T.F. et al. Mass spectrometry-based plant metabolomics: Metabolite responses to abiotic stress // *Mass Spectrometry Reviews*. 2016. Vol. 35, № 5. P. 620–649. <https://doi.org/10.1002/mas.21449>
- Wolfender J.-L. et al. Current approaches and challenges for the metabolite profiling of complex natural extracts // *Journal of Chromatography A*. 2015. Vol. 1382. P. 136–164. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.10.091>
- Габрук Н.Г., Тхуан Л.В., Олейникова И.И. Определение интегральной антиоксидантной активности различных экстрактов имбиря с помощью электрохимического детектирования // *Научные ведомости. Серия Естественные науки*. 2012. Vol. 19, № 9 (128). P. 159–162.
- Насрулина К.А. et al. Интегральная антиоксидантная активность ряженки различных производителей // *Бутлеровские Сообщения*. 2021. Vol. 66, № 5. P. 111–116.
- Foyer C.H., Noctor G. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context // *Plant, Cell & Environment*. 2005. Vol. 28, № 8. P. 1056–1071. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01327.x>
- Chaves N., Santiago A., Alías J.C. Quantification of the Antioxidant Activity of Plant Extracts: Analysis of Sensitivity and Hierarchization Based on the Method Used: 1 // *Antioxidants*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020. Vol. 9, № 1. P. 76. <https://doi.org/10.3390/antiox9010076>
- Креславский В.Д. et al. Сигнальная роль актив-

ных форм кислорода при стрессе у растений // Физиология Растений. 2012. Vol. 59, № 2. P. 163–178.

25. Miller G. et al. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses // Plant, Cell & Environment. 2010. Vol. 33, № 4. P. 453–467. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>

26. Gill S.S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants // Plant Physiology and Biochemistry. 2010. Vol. 48, № 12. P. 909–930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>

27. Trchounian A., Petrosyan M., Sahakyan N. Plant Cell Redox Homeostasis and Reactive Oxygen Species // Redox State as a Central Regulator of Plant-Cell Stress Responses / ed. Gupta D.K., Palma J.M., Corpas F.J. Cham: Springer International Publishing, 2016. P. 25–50. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-44081-1_2

28. Yurttas H. c., Schafer H. w., Warthesen J. j. Antioxidant Activity of Nontocopherol Hazelnut (*Corylus* spp.) Phenolics // Journal of Food Science. 2000. Vol. 65, № 2. P. 276–280. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb15993.x>

29. Yuan B. et al. A systematic review of the active saikosaponins and extracts isolated from *Radix Bupleuri* and their applications // Pharmaceutical Biology. Taylor & Francis, 2017. Vol. 55, № 1. P. 620–635. <https://doi.org/10.1080/13880209.2016.1262433>

30. He M., He C.-Q., Ding N.-Z. Abiotic Stresses: General Defenses of Land Plants and Chances for Engineering Multistress Tolerance // Front. Plant Sci. Frontiers, 2018. Vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01771>

31. Martinière A. et al. Building bridges: formin1 of *Arabidopsis* forms a connection between the cell wall and the actin cytoskeleton // The Plant Journal. 2011. Vol. 66, № 2. P. 354–365. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313x.2011.04497.x>

32. Munns R. et al. Ion Concentration and Carbohydrate Status of the Elongating Leaf Tissue of *Hordeum vulgare* Growing at High External NaCl: II. Cause of the growth reduction // Journal of Experimental Botany. 1982. Vol. 33, № 4. P. 574–583. <https://doi.org/10.1093/jxb/33.4.574>

33. Hall A.J., Milthorpe F.L. Assimilate Source-Sink Relationships in *Capsicum annuum* L. III. The Effects of Fruit Excision on Photosynthesis and Leaf and Stem Carbohydrates. // Functional Plant Biol. CSIRO PUBLISHING, 1978. Vol. 5, № 1. P. 1–13. <https://doi.org/10.1071/pp9780001>

34. Deryabin A.N., Trunova T.I. Colligative effects of solutions of low molecular weight sugars and their role in plants during hypothermia // Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya. Moscow, Russia: K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences, 2022. № 1. P. 26–36. <http://dx.doi.org/10.1134/S1062359021060042>

35. Aniszewski T. Alkaloids - Secrets of Life:: Alkaloid Chemistry, Biological Significance, Applications and Ecological Role. Elsevier, 2007. 334 p. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-52736-3.X5000-4>

36. Sharma P., Melkania U. Impact of furan derivatives and phenolic compounds on hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste using co-culture of

Enterobacter aerogenes and *E. coli* // Bioresource Technology. 2017. Vol. 239. P. 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.113>

37. Alscher R.G., Hess J.L. Antioxidants in Higher Plants. Boca Raton: CRC Press, 2017. 192 p. <https://doi.org/10.1201/9781315149899>

38. Dixon R.A., Barros J. Lignin biosynthesis: old roads revisited and new roads explored // Open Biology. Royal Society, 2019. Vol. 9, № 12. P. 190215. <https://doi.org/10.1098/rsob.190215>

39. Platonov V.V. et al. Chromato-mass-spectrometry of the ethanol extract of roots of *Glycyrrhiza glabra* L. (family Fabaceae) // Bulletin of new medical technologies. Electronic edition. 2020. Vol. 14, № 3. P. 137–142. [10.24411/2075-4094-2020-16595](https://doi.org/10.24411/2075-4094-2020-16595)

40. Zhang Z. et al. Antioxidant phenolic compounds from walnut kernels (*Juglans regia* L.) // Food Chemistry. 2009. Vol. 113, № 1. P. 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.061>

41. Banc R. et al. The Impact of Ellagitannins and Their Metabolites through Gut Microbiome on the Gut Health and Brain Wellness within the Gut–Brain Axis: 2 // Foods. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2023. Vol. 12, № 2. P. 270. <https://doi.org/10.3390/foods12020270>

42. Bourais I. et al. Comparative Investigation of Chemical Constituents of Kernels, Leaves, Husk, and Bark of *Juglans regia* L., Using HPLC-DAD-ESI-MS/MS Analysis and Evaluation of Their Antioxidant, Antidiabetic, and Anti-Inflammatory Activities: 24 // Molecules. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022. Vol. 27, № 24. P. 8989. <https://doi.org/10.3390/molecules27248989>

43. Kornsteiner M., Wagner K.-H., Elmadfa I. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types // Food Chemistry. 2006. Vol. 98, № 2. P. 381–387. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.033>

44. Zhao J. Flavonoid transport mechanisms: how to go, and with whom // Trends in Plant Science. Elsevier, 2015. Vol. 20, № 9. P. 576–585. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.06.007>

45. Verma N., Shukla S. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites // Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 2015. Vol. 2, № 4. P. 105–113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.002>

46. Абдуллин И.Ф. et al. Электрогенерированный бром – реагент для определения антиоксидантной способности соков и экстрактов // Заводская лаборатория. 2006. Vol. 62. P. 13–15.

47. Брайнина Х.З., Иванова А.В., Шарафутдинова Е.Н. Оценка антиоксидантной активности пищевых продуктов методом потенциометрии: 4 // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. Россия, Краснодар: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный технологический университет», 2004. № 4. P. 73–75.

48. Яшин А.Я. Методология определения антиоксидантной активности пищевых продуктов и биологических

жидкостей // Аналитика. Аналитические методы и приборы. 2021. Vol. 11, № 5. P. 370–384.

REFERENCES

- McGranahan G., Leslie C. Walnuts (*Juglans*) // *Acta Horticulturae*. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 1991. № 290. P. 907–974.
- Abbasi M.A. et al. Investigation on the volatile constituents of *Juglans regia* and their in vitro antioxidant potential. 2010. Vol. 47. P. 137–141.
- Mirheidar H. Walnut tree // *Herbal Medicine* / ed. Asrar G. Vahid Press, Tehran, Iran, 2007. Vol. 1. P. 491–492. <https://doi.org/10.3390/ijms25094991>
- Rabiei K. et al. Effects of a hydroalcoholic extract of *Juglans regia* (walnut) leaves on blood glucose and major cardiovascular risk factors in type 2 diabetic patients: a double-blind, placebo-controlled clinical trial // *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2018. Vol. 18, № 1. P. 206. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2268-8>
- Bobrenova I.V., Bayumi A.A. The possibility of using tiger nuts in meat products: 2/ Bobrenova I.V., Bayumi A.A. *Vozmojnost ispolzovanya tigrovyyh orekhov v mysnyh produktah* // *Equipment and technology for food production*. Russia, Kemerovo: Federal State Educational Institution of Higher Education «Kemerovo State University», 2019. Vol. 49, № 2. P. 185–192. 10.21603/2074-9414-2019-2-185-19 [In Russian].
- Paupière M.J. et al. Reprogramming of Tomato Leaf Metabolome by the Activity of Heat Stress Transcription Factor HsfB1 // *Front. Plant Sci. Frontiers*, 2020. Vol. 11. 10.3389/fpls.2020.610599
- Sun C.X. et al. Plastic responses in the metabolome and functional traits of maize plants to temperature variations // *Plant Biology*. 2016. Vol. 18, № 2. P. 249–261. <https://doi.org/10.1111/plb.12378>
- Ghassemi S. et al. Review and future prospects on the mechanisms related to cold stress resistance and tolerance in medicinal plants // *Acta Ecologica Sinica*. 2021. Vol. 41, № 2. P. 120–129. 10.1016/j.chnaes.2020.09.006
- Le Gall H. et al. NMR-based Metabolomics to Study the Cold-acclimation Strategy of Two *Miscanthus* Genotypes // *Phytochemical Analysis*. 2017. Vol. 28, № 1. P. 58–67. <https://doi.org/10.1002/pca.2649>
- Wallaart T.E. et al. Seasonal Variation of Artemisinin and its Biosynthetic Precursors in Plants of *Artemisia annua* of Different Geographical Origin: Proof for the Existence of Chemotypes // *Planta Med. Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York*, 2000. Vol. 66, № 01. P. 57–62. 10.1055/s-2000-11115
- Rani R. et al. Metabolic signatures altered by in vitro temperature stress in *Ajuga bracteosa* Wall. ex. Benth. // *Acta Physiol Plant*. 2017. Vol. 39, № 4. P. 97. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-017-2394-9>
- Upadhyaya H. Changes in Antioxidative Responses to Low Temperature in Tea [*Camellia sinensis* (L) O. Kuntze] Cultivars // *Int. J. Modern Bot*. 2012. Vol. 2. P. 83–87. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3501.1205>
- Jay-Allemand C. et al. Micropropagation of hybrid walnut trees: Some factors involved in rooting // *Acta Horticulturae*. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 1993. № 311. P. 117–124. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:19890523>
- Cheniany M. et al. Content of different groups of phenolic compounds in microshoots of *Juglans regia* cultivars and studies on antioxidant activity // *Acta Physiol Plant*. 2013. Vol. 35, № 2. P. 443–450. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-012-1087-7>
- Terletskaia N.V. et al. Influence of Cold Stress on Physiological and Phytochemical Characteristics and Secondary Metabolite Accumulation in Microclones of *Juglans regia* L.: 9 // *International Journal of Molecular Sciences*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2024. Vol. 25, № 9. P. 4991. <https://doi.org/10.3390/ijms25094991>
- Popova K.G. Potentiometric determination of antioxidant activity of plant extracts using calcium hexacyanoferrate / Popova K.G. *Potenciometricheskoe opredelenie antioksidantnoi aktivnosti ekstraktov rastitelnogo syrja s ispolzovaniem geksiacinaferata kalciya*, Master's thesis. Yekaterinburg, Russia: FGAOU VO «YrFY named after the first President of Russia B.N.Yeltsin», Institute of Chemical Technology, Department of Analytical Chemistry, 2017. 61 p. [In Russian]
- Jorge T.F., Mata A.T., António C. Mass spectrometry as a quantitative tool in plant metabolomics // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Royal Society, 2016. Vol. 374, № 2079. P. 20150370. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0370>
- Jorge T.F. et al. Mass spectrometry-based plant metabolomics: Metabolite responses to abiotic stress // *Mass Spectrometry Reviews*. 2016. Vol. 35, № 5. P. 620–649. <https://doi.org/10.1002/mas.21449>
- Wolfender J.-L. et al. Current approaches and challenges for the metabolite profiling of complex natural extracts // *Journal of Chromatography A*. 2015. Vol. 1382. P. 136–164. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.10.091>
- Gabruk N.G., Thuan L.V., Oleynikov I.I. Determination of the integral antioxidant activity of various ginger extracts using electrochemical detection / Gabruk N.G., Thuan L.V., Oleynikov I.I. *Opredelenie integralnoi antioksidantnoi aktivnosti razlichnykh ekstraktov imbirya s pomoshchiu elektrokhimicheskogo detektirovaniya* // *Scientific News. Natural Sciences Series*. 2012. Vol. 19, № 9 (128). P. 159–162. [In Russian]
- Nasrulina K.A. et al. Integral antioxidant activity of fermented baked milk from various manufacturers / Nasrulina K.A. *I dr. Integralnaya antioksidantnaya aktivnost ryjenki razlichnykh proizvoditeley* // *Butlerov Messages*. 2021. Vol. 66, № 5. P. 111–116. [In Russian]
- Foyer C.H., Noctor G. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context // *Plant, Cell & Environment*. 2005. Vol. 28, № 8. P. 1056–1071. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01327.x>
- Chaves N., Santiago A., Alías J.C. Quantification of the Antioxidant Activity of Plant Extracts: Analysis of Sensitivity and Hierarchization Based on the Method Used:

1 // Antioxidants. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020. Vol. 9, № 1. P. 76. <https://doi.org/10.3390/antiox9010076>

24. Kreslavsky V.D. et al. The signaling role of reactive oxygen species during plant stress / Kreslavsky V.D. i dr. Signalnaya rol aktivnykh form kisloroda pri stresse u rasteny // Plant Physiology. 2012. Vol. 59, № 2. P. 163–178. [In Russian]

25. Miller G. et al. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses // Plant, Cell & Environment. 2010. Vol. 33, № 4. P. 453–467. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>

26. Gill S.S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants // Plant Physiology and Biochemistry. 2010. Vol. 48, № 12. P. 909–930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>

27. Trchounian A., Petrosyan M., Sahakyan N. Plant Cell Redox Homeostasis and Reactive Oxygen Species // Redox State as a Central Regulator of Plant-Cell Stress Responses / ed. Gupta D.K., Palma J.M., Corpas F.J. Cham: Springer International Publishing, 2016. P. 25–50. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-44081-1_2

28. Yurttas H. c., Schafer H. w., Warthesen J. j. Antioxidant Activity of Nontocopherol Hazelnut (*Corylus* spp.) Phenolics // Journal of Food Science. 2000. Vol. 65, № 2. P. 276–280. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb15993.x>

29. Yuan B. et al. A systematic review of the active saikosaponins and extracts isolated from *Radix Bupleuri* and their applications // Pharmaceutical Biology. Taylor & Francis, 2017. Vol. 55, № 1. P. 620–635. <https://doi.org/10.1080/13880209.2016.1262433>

30. He M., He C.-Q., Ding N.-Z. Abiotic Stresses: General Defenses of Land Plants and Chances for Engineering Multistress Tolerance // Front. Plant Sci. Frontiers, 2018. Vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01771>

31. Martinière A. et al. Building bridges: formin1 of *Arabidopsis* forms a connection between the cell wall and the actin cytoskeleton // The Plant Journal. 2011. Vol. 66, № 2. P. 354–365. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2011.04497.x>

32. Munns R. et al. Ion Concentration and Carbohydrate Status of the Elongating Leaf Tissue of *Hordeum vulgare* Growing at High External NaCl: II. Cause of the growth reduction // Journal of Experimental Botany. 1982. Vol. 33, № 4. P. 574–583. <https://doi.org/10.1093/jxb/33.4.574>

33. Hall A.J., Milthorpe F.L. Assimilate Source-Sink Relationships in *Capsicum annum* L. III. The Effects of Fruit Excision on Photosynthesis and Leaf and Stem Carbohydrates. // Functional Plant Biol. CSIRO PUBLISHING, 1978. Vol. 5, № 1. P. 1–13. <https://doi.org/10.1071/pp9780001>

34. Deryabin A.N., Trunova T.I. Colligative effects of solutions of low molecular weight sugars and their role in plants during hypothermia // Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya. Moscow, Russia: K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences, 2022. № 1. P. 26–36. <http://dx.doi.org/10.1134/S1062359021060042>

35. Aniszewski T. Alkaloids - Secrets of Life::

Aklaloid Chemistry, Biological Significance, Applications and Ecological Role. Elsevier, 2007. 334 p. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-52736-3.X5000-4>

36. Sharma P., Melkania U. Impact of furan derivatives and phenolic compounds on hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste using co-culture of *Enterobacter aerogenes* and *E. coli* // Bioresource Technology. 2017. Vol. 239. P. 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.113>

37. Alscher R.G., Hess J.L. Antioxidants in Higher Plants. Boca Raton: CRC Press, 2017. 192 p. <https://doi.org/10.1201/9781315149899>

38. Dixon R.A., Barros J. Lignin biosynthesis: old roads revisited and new roads explored // Open Biology. Royal Society, 2019. Vol. 9, № 12. P. 190215. <https://doi.org/10.1098/rsob.190215>

39. Platonov V.V. et al. Chromato-mass-spectrometry of the ethanol extract of roots of *Glycyrrhiza glabra* L. (family Fabaceae) // Bulletin of new medical technologies. Electronic edition. 2020. Vol. 14, № 3. P. 137–142. [10.24411/2075-4094-2020-16595](https://doi.org/10.24411/2075-4094-2020-16595)

40. Zhang Z. et al. Antioxidant phenolic compounds from walnut kernels (*Juglans regia* L.) // Food Chemistry. 2009. Vol. 113, № 1. P. 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.061>

41. Banc R. et al. The Impact of Ellagitannins and Their Metabolites through Gut Microbiome on the Gut Health and Brain Wellness within the Gut–Brain Axis: 2 // Foods. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2023. Vol. 12, № 2. P. 270. <https://doi.org/10.3390/foods12020270>

42. Bourais I. et al. Comparative Investigation of Chemical Constituents of Kernels, Leaves, Husk, and Bark of *Juglans regia* L., Using HPLC-DAD-ESI-MS/MS Analysis and Evaluation of Their Antioxidant, Antidiabetic, and Anti-Inflammatory Activities: 24 // Molecules. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022. Vol. 27, № 24. P. 8989. <https://doi.org/10.3390/molecules27248989>

43. Kornsteiner M., Wagner K.-H., Elmadfa I. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types // Food Chemistry. 2006. Vol. 98, № 2. P. 381–387. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.033>

44. Zhao J. Flavonoid transport mechanisms: how to go, and with whom // Trends in Plant Science. Elsevier, 2015. Vol. 20, № 9. P. 576–585. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.06.007>

45. Verma N., Shukla S. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites // Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 2015. Vol. 2, № 4. P. 105–113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.002>

46. Abdulin I.F. et al. Electrogenerated bromine is a reagent for determining the antioxidant capacity of juices and extracts/ Abdulin I.F. i dr. Elektrogenerirovanny brom – reagent dly opredeleniya antioksidantnoi sposobnosti sokov i ekstraktov // Factory laboratory. 2006. Vol. 62. P. 13–15. [In Russian]

47. Brainina H.Z., Ivanova A.V., Sharafuddinova E.N. Evaluation of antioxidant activity of food products

by potentiometry: 4 / Brainina H.Z., Ivanova A.V., Sharafuddinova E.N. Ocenka antioksidantnoi aktivnosti pishemykh produktov metodom potencimetrii // News of higher educational institutions. Food technology. Russia, Krasnodar: State Educational Institution of Higher Professional Education «Kuban State Technological University», 2004. № 4. P. 73–75.

48. Yashin A.Y. Methodology for determining the antioxidant activity of food products and biological fluids / Yashin A.Y. Metodologiy opredeleniy antioksidantnoi aktivnosti pishemykh produktov i biologicheskikh jidkostey // Analytics. Analytical methods and instruments. 2021. Vol. 11, № 5. P. 370–384.

UDC: 34.31.27

DETERMINATION OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF MICROCLONES OF WALNUT (*JUGLANS REGIA* L.)N.K. Korbozova^{1,2}, M. Yerbai^{1,2}, A.N. Zorbekova^{1,2}, N.O. Kudrina^{1,2}, A.E. Aisanbayeva², N.V. Terletskaya^{1,2}¹Institute of Genetic and Physiology, Almaty, Kazakhstan, 050090, Kazakhstan, Almaty, al-Farabi av. 93²Al-Farabi Kazakh National University, 050090, Kazakhstan, Almaty, al-Farabi av. 72

*Corresponding author: Naz-ik@mail.ru

ABSTRACT

Walnut (*Juglans regia* L.), a plant belonging to the genus *Juglans* of the family Juglandaceae, native to the region extending from the Balkans east to the Himalayas. Since ancient times, walnut has been widely used in both folk and traditional medicine for various diseases and is among the medicinal plants of interest due to its rich content of antioxidants such as flavonoids, phenolic acids, melatonin, folate, gamma-tocopherol, selenium and proanthocyanidins in various organs (kernels, shells, roots and leaves). However, until now there have been virtually no studies on how walnut can respond to abiotic stresses *in vitro* culture and what benefits such a study can provide, so our work is devoted to the analysis of the antioxidant activity of *J. regia* shoot microclones *in vitro* after exposure to low positive temperatures. The results of this work show that *Juglans regia* effigia microclones subjected to cold stress have greater antioxidant potential than microclones grown under more favorable temperature conditions.

Key words: microclones, *in vitro*, antioxidant, temperature, stress, adaptation

ӨОК: 34.31.27

JUGLANS REGIA L. ЖАҢҒАҒЫНЫҢ МИКРОКЛОНДАРЫННЫҢ АНТИОКСИДАНТТЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІН АНЫҚТАУ

Н.К. Корбозова^{1,2}, М. Ербай^{1,2}, А.Н. Зорбекова^{1,2}, Н.О. Кудрина^{1,2}, А.Е. Айсабаева², Н.В. Терлецкая^{1,2}¹ҚР ҒЖБМ Генетика және физиология институты, 050090 Қазақстан, Алматы, әл-Фараби, 93²әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, 050090 Қазақстан, Алматы, әл-Фараби, 72

* Корреспондент автор: Naz-ik@mail.ru

ТҮЙІН

Жаңғақ (*Juglans regia* L.), Juglandaceae туысының *Juglans* тұқымдасына жататын өсімдік, Балқанның шығысынан Гималайға дейінгі аймақтарда кең таралған. Грек жаңғағы ежелден халықтық және дәстүрлі медицинада әртүрлі ауруларды емдеуде кеңінен қолданылады және құрамында флавоноидтар, фенол қышқылдары, мелатонин, фолий, гамма-токоферол, селен және проантоцианидиндер сияқты әртүрлі мүшелерде (тамырларда, жапырақтарда) антиоксиданттарға бай болғандықтан қызығушылық танытатын дәрілік өсімдіктердің қатарына жатады. Дегенмен, осы уақытқа дейін грек жаңғағының абиотикалық күйзелістерге *in vitro* дақылында қалай жауап бере алатыны және мұндай зерттеу қандай артықшылықтар бере алатыны туралы зерттеулер іс жүзінде болған жоқ, сондықтан біздің жұмысымыз *J. regia* өсімдіктерінің микроклондарының антиоксиданттық белсенділігін талдауға арналған *in vitro* жағдайында төмен оң температураның әсерінен кейінгі жағдайды бақылайды. Бұл жұмыстың нәтижелері суық стресске ұшыраған *Juglans regia* микроклондарының қолайлы температура жағдайында өсірілген микроклондарға қарағанда антиоксиданттық әлеуеті жоғары екенін көрсетеді. Сондай-ақ, грек жаңғағының микроклондары биологиялық белсенді химиялық заттардың перспективті көзі болып табылатыны және өсімдік ұлпаларындағы әртүрлі морфофизиологиялық және фито-химиялық процестерді зерттеу үшін құнды үлгі болып табылатыны дәлелденді.

Кілтті сөздер: микроклондар, *in vitro*, антиоксиданттылық, температура, стресс, бейімделушілік.