

Секция 3

**Антиоксиданты сельскохозяйственных растений –
медико-биологические и технологические аспекты
применения антиоксидантов в сельском хозяйстве,
медицине, косметологии, фармации,
функциональном питании**

ВЫБОР МЕТОДА АНАЛИЗА КОЛИЧЕСТВА И АКТИВНОСТИ АНТИОКСИДАНТОВ В ВИНОДЕЛЬЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Волков В.А.¹, к.х.н., н.с., помощник Первого заместителя
Председателя Комитета по образованию
и науке Государственной Думы ФС РФ, vl.volkov@mail.ru;

Сажина Н.Н.¹, к.ф.-м.н., с.н.с.,

Храмеева Н.П.¹, к.х.н., с.н.с.,

Кузичкина Т.И.²,

Евтеева Н.М.¹, к.х.н., с.н.с.,

Попов И.Н.³, д.м.н., зам. директора по науке,

Мисин В.М.¹, д.х.н., в.н.с.

¹ ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН
(ИБХФ РАН), г. Москва, Россия

² ФГБОУ ВО Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,
г. Москва, Россия

³ Институт антиокислительной терапии, г. Берлин, Германия

CHOICE OF THE METHOD OF ANALYSIS OF THE QUANTITY AND ACTIVITY OF ANTIOXIDANTS IN WINE PRODUCTS

**Volkov V.A.¹, Sazhina N.N.¹, Khrameeva N.P.²,
Kuzichkina T.I.², Evteeva N.M.¹, Popov I.N.³, Misin V.M.¹**

¹ NM Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy
of Sciences, Moscow, Russia

² Plekhanov Russian Economic University, Moscow, Russia

³ Research Institute for Antioxidant Therapy, Berlin, Germany

На примере исследования 21 сорта белых и красных виноградных вин проведен сравнительный анализ применения 8 различных аналитических методов для оценки антиоксидантных свойств продукции плодово-ягодного хозяйства. Окислительная модификация биополимеров и мембранных липидов является одной из фундаментальных причин старения живых организмов и основой патогенеза многих серьезных заболеваний –

онкологических, сердечно-сосудистых, нейродегенеративных и др. Свободные радикалы являются постоянно образующимися продуктами нормального метаболизма, и инициируемые ими реакции должны эффективно регулироваться системой ферментативной и неферментативной антиоксидантной защиты. Для оценки количества и эффективности антирадикальных АО в пищевой продукции растительного происхождения разработаны десятки методов, в основе которых лежат различные модельные аналитические системы. При этом обоснованный и корректный выбор метода анализа является существенной и нерешенной проблемой.

Объекты и методы. В качестве объектов были использованы 12 сортов красных и 9 сортов белых вин различных производителей. Исследования производились с помощью 8 наиболее распространенных аналитических методов: ДФПГ-метод, методы, основанные на индуцированной ААРН и $\text{Hb}/\text{H}_2\text{O}_2$ люминесценции люминола, метод Фолина–Чокальтеу, $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]/\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ -потенциометрический метод (прибор МПА-1), амперометрический (установка «ЦветЯуза-01-АА»), вольтамперометрический (аппарат «Анализатор АОА», НПП «Полиант», Томск) и волюмометрический (инициированное АИБН окисление кумола) методы.

Результаты и их обсуждение. Поскольку окисление органических соединений происходит с участием свободных радикалов, при планировании экспериментов по определению антиоксидантных свойств объектов растительного происхождения предпочтительным является выбор методики, основанной на свободнорадикальной модельной системе. Среди протестированных методик только 5 основаны на следующих модельных системах: ДФПГ-тест, люминесцентные методы, вольтамперометрия и волюмометрия.

Несмотря на то что волюмометрический метод, основанный на инициированном АИБН окислении кумола, является классическим методом определения антиоксидантной активности органических соединений, при анализе АОА вин этот метод показал результаты по соотношению концентрации АО в красных и белых винах, не согласующиеся с теоретическими представлениями и данными всех других методик.

Метод Фолина–Чиокалтеу дает многократную переоценку количественного содержания АО в образцах, вероятно, вследствие того, что данная методика чувствительна к редуцирующим сахарам.

При использовании вольтамперометрического метода в реакционной системе формируются активные формы кислорода, образующиеся и в живых организмах, что является достоинством метода. Однако взаимосвязь анализируемого сигнала с реакционной способностью АО в отношении этих АФК в данной системе и его физико-химический смысл не являются очевидными.

Амперометрический метод имеет существенный вклад в сигнал компоненты, не связанной с антиоксидантами, вследствие чего при анализе вин с малым и средним уровнем содержания АО дает завышенные результаты.

Метод ДФПГ-теста и два метода хемилюминесценции (с инициацией радикальных реакций ААРН и системой $\text{Hb}/\text{H}_2\text{O}_2$) демонстрируют очень тесную корреляционную связь между получаемыми результатами ($r \geq 99\%$). При использовании в качестве стандарта сравнения галловой кислоты результаты измерений с использованием ХЛ/ААРН имеют значения в $2,4 \pm 0,2$ раза более высокие, чем получаемые в системе ХЛ/ $\text{Hb}/\text{H}_2\text{O}_2$, поскольку в системе со вторым способом инициации галловая кислота имеет более высокое отношение своего периода индукции к периодам индукции других АО, чем в системе с инициацией $\text{Hb}/\text{H}_2\text{O}_2$. Результаты ДФПГ-теста превышают ХЛ/ $\text{Hb}/\text{H}_2\text{O}_2$ в $3,7 \pm 0,2$ раза. Возможной причиной этого является конкурентный характер ХЛ метода, вследствие чего эффективно защищают люминол от окисления только изначально содержащиеся в образце АО, в то время как ДФПГ-тест является статическим методом, чувствительным не только к исходным АО, но и к постепенно образующимся продуктам их олигомеризации, в ходе которой полифенолы могут восстанавливать активность ОН-групп.

АНТИОКСИДАНТЫ ЧЕРНОЗЕРНЫХ И КРАСНОЗЕРНЫХ СОРТОВ РИСА

Гончарова Ю.К., Харитонов Е.М.

Goncharova J.K., Kharitonov E.M.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт риса»,
Краснодар, yuliya_goncharova_20@mail.ru,
ООО «Аратай» Сколково, Москва*

Крупа чернозерных и краснозерных сортов риса функциональный продукт питания. Возможно использование их в фармакологической, косметологической, мясной, молочной, макаронной, кондитерской промышленности. Черный рис – один из лучших источников антиоксидантов и микроэлементов, витаминов группы В. Исследования показывают, что существуют значительные различия в фитохимическом содержании и антиоксидантной активности среди черных и красных сортов риса.

Ключевые слова: рис, чернозерные, краснозерные сорта, антиоксиданты, микроэлементы, функциональные продукты.

Groats of black and red varieties of rice are functional food stuff. The use of them is possible in pharmacological, cosmetology, meat, suckling, macaroni, pastry industry. Black rice – one of the best sources of antioxidants and microelements, antocians, homologucs of vitamin of E, the whole spectrum of vitamins of group B. Researches show, that considerable distinctions are in antioxidant activity among the black and red rice varieties.

Keywords: rice, black, red varieties, antioxidants, trace elements, functional food.

До недавнего времени рис не ассоциировался с культурой источником антиоксидантов. Сорта с окрашенным перикарпом становятся все более популярными, но до сих пор их используют не в полном объеме, так как потенциал этих сортов велик не только при прямом использовании крупы как функционального продукта питания. Возможно их использование в фармакологической промышленности (при производстве биологически активных добавок), косметологической (шампуни, кремы), пищевой (полезные красители от

розового до фиолетового), мясной, молочной, макаронной, кондитерской промышленности.

Для более полного использования потенциала культуры требуется диверсификация сортов риса. Необходима она и с точки зрения импортозамещения – в страну ввозится: вьетнамский, китайский, тайландский, итальянский черный рис, в то время как отечественные сорта остаются невостребованными (до сих пор нет допущенных к использованию сортов этого направления), несмотря на большую урожайность и высокое качество уже созданных российских сортов (Харитонов и др., 2016).

В то же время отечественные сорта могут не только повысить экспортный потенциал страны и разнообразить питание россиян, но и оздоровить население. По данным американского химического общества, черный рис – один из лучших источников антиоксидантов, он содержит фитиновую кислоту, γ -оризанол, антоцианы, гомологи витамина Е, целый спектр витаминов группы В. Исследования показывают, что существуют значительные различия в фитохимическом содержании и антиоксидантной активности среди черных и красных сортов риса. Цианидин-3-глюкозид и пеонидин-3-глюкозид – доминирующие антоцианы черного риса. Различные сорта этого злака содержат их в диапазоне от 19,4 до 140,8 мг/100 г и 11,1–12,8 мг/100 г соответственно (Zhang et al., 2006). Красный рис содержит фенольные соединения в диапазоне 165,8–731,8 мг/100 г (Shen et al., 2009). Накопление антоцианов в черном рисе у глютинозных сортов варьирует от 0,262 до 2,539 мг/г (Hiemori et al., 2009). Как правило, черно-фиолетовые сорта риса имеют более высокое количество Fe, Zn, Ca, Cu и Mg, чем красные. Цвет перикарпа в основном связан с содержанием фенольных соединений: чем темнее перикарп, тем больше в нем полифенолов (флавоноидов и других антиоксидантов) (Tian et al., 2004).

Антиоксидантные соединения в рисе в виде γ -оризанолов, токоферолов и фенольных кислот связаны со

сниженным риском развития хронических заболеваний (Kong, S. et al., 2010). Среди различных фенольных соединений в зерне окрашенных сортов установлены: феруловая кислота (56-77 %), обнаруженная в эндосперме, отрубях и цельном зерне, п-кумаровая кислота (8-24 %), синапиновая кислота (2-12 %), галловая кислота (1-6 %), протокатехиновая кислота (1-4 %), п-гидроксibenзойная кислота (1-2 %), ванилиновая кислота (1 %) и сиреневая кислота (1 %) (Goufo и Trindade, 2014). Эти соединения снижают риск развития многих заболеваний, включая сердечно-сосудистые, диабет 2 типа, некоторые виды рака (Courage H.K., 2010; Iqbal et al., 2005). Установлено, что флавоноиды в комплексе с аскорбиновой кислотой ускоряют протеолиз мяса и мясных продуктов. Полифенольные вещества в качестве пищевых добавок могут улучшать вкусовые и потребительские качества различных продуктов питания.

Библиографический список

1. Kong S., Junsoo L. Antioxidants in milling fractions of black rice cultivars // *Food Chem.* 2010. Vol. 120 (1). P. 278–281.
2. Zhang M.W., Zhang R.F., Zhang F.X., Liu R.H. Phenolic profiles and antioxidant activity of black rice bran of different commercially available varieties // *J. Agric. Food Chem.* 2010. 58. P. 7580–7587.
3. Shen Y., Jin L., Xiao P., Lu Y., Bao J.S. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight // *J. Cereal Sci.* 2009. 49: 106–111.
4. Hiemori M., Koh E., Mitchell A.E. Influence of cooking on anthocyanins in black rice (*Oryza sativa* L. japonica var. SBR) // *J. Agric. Food Chem.* 2009. 57:1908–1914.
5. Tian S., Nakamura K., Kayahara H. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice // *J. Agric. Food Chem.* 2004. 52: 4808–4813.
6. Goufo P., Trindade H. Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, γ -oryzanol, and phytic acid // *Food SciNutr.* 2014. 2(2): 75–104.

7. Courage H.K. White rice raises risk of type 2 diabetes. Observations Scientific American, Blog Network. 2010. 14.

8. Iqbal S., Bhanger M.I., Anwar F. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan // Food Chem. 2005. 93 (2): 265–272.

9. Харитонов Е.М., Гончарова Ю.К., Бушман Н.Ю., Малюченко Е.А., Брюяко В.Н. Повышение питательной ценности сельскохозяйственной продукции – создание индустрии здорового питания // Труды КубГАУ. 2016. № 59. С. 385-389.

DOI: 10.22363/09358-2019-259-265

УДК 615.01.3:582.27:581.45:547.455:547

АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА ЦВЕТКОВ И ПЛОДОВ СОРТА ЯБЛОНИ ВЫДУБЕЦКАЯ ПЛАКУЧАЯ

*Гончаровская И.В., ведущий инженер,
Левон В.Ф., кандидат химических наук,
старший научный сотрудник*

*Национальный ботанический сад имени Н.Н. Гришко
Национальной Академии наук Украины, Киев (НБС им. Н.Н. Гришко
НАН Украины), Inna_Lera@ukr.net, vfleron@gmail.com*

*N.N. Gryshko National Botanical Garden.
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*

Старинные сорта яблонь могут быть важным источником генов для селекции и дальнейшего выращивания новых сортов яблонь. В нашей работе мы провели биохимические исследования на количественное содержание флавоноидов в цветках и плодах у старинного сорта яблони Выдубецкая плакучая в связи с их антиоксидантными свойствами. Сорт яблони Выдубецкая плакучая был найден во второй половине XX века научными сотрудниками НБС на территории Выдубецкого Михайловского монастыря, который расположен возле НБС. Он представляет собой ценный генотип, так как известно, что старинные сорта яблонь имеют более высокие показатели содержания флавоноидов и антиоксидантной активности, чем коммерческие сорта.

Ancient apple cultivars can be an important source of genes for breeding and for the further cultivation of new apple cultivars. In our work, we conducted biochemical studies on the presence of the quantitative content of flavonoids in flowers and fruits in an ancient apple cultivar Vydubetskaya plakuchaya due to their antioxidant properties. Apple cultivar Vydubetskaya plakuchaya was found in the second half of the twentieth century by researchers of the NBG in the territory of the Vydubetsky Mikhailovsky Monastery, which is located near the NBG. It represents a valuable genotype, since it is known that ancient apple cultivars have higher levels of flavonoids and antioxidant activity than commercial cultivars.

Введение. Флавоноиды – неоднородная группа кислородосодержащих гетероциклических соединений, которые часто отвечают за универсальную окраску растений и различные вкусы пищевых продуктов [5; 9; 10]. Эти соединения играют жизненно важную роль в метаболической пластичности, которая необходима во время каскадов передачи сигналов стресса. Антоцианы содержатся в вакуоли вскоре после их успешного гликозилирования [11], где они спонтанно связывают перекисные радикалы, действуя как ферментативный антиоксидантный метаболит.

Проблема поиска и углубленного изучения ингредиентов растительного сырья, богатого биологически активными веществами (БАВ), которые повышают неспецифическую резистентность организма к действию неблагоприятных факторов окружающей среды, предупреждая развитие ряда хронических заболеваний, всегда остается актуальной. Растительное сырье содержит антиоксидантную систему, сложившуюся из натуральных компонентов. Последние, попадая в организм, проявляют антиоксидантные свойства, противостоят воздействию избытка свободных радикалов, то есть молекул окислителей. Эти нестабильные молекулы возникают в организме в результате биохимического обмена веществ в клетках тканей и существуют достаточно короткое время.

В стрессовых ситуациях, под действием физических факторов или заболеваний, их количество резко возрастает. В это время свободные радикалы начинают повреждать мем-

браны клеток. При этом активизируются процессы старения организма. Защитным же действием обладают пищевые протекторы растений, в частности аскорбиновая кислота, фенольные соединения, каротиноиды и др. [4]. Антиоксидантная активность фенольных соединений объясняется тем, что они связывают ионы тяжелых металлов в устойчивые малоактивные комплексы, а также служат акцепторами, образованными при аутоксикации свободных радикалов, то есть фенольные соединения способны гасить свободно-радикальные процессы [6].

В настоящее время в химико-фармацевтической и пищевой промышленности очень актуальны вопросы получения антиоксидантов (антиоксидантов), к которым относятся флавоноиды, и в частности антоцианы и катехины.

Антоцианы – флавоноидные пигменты, которые широко известны в природе, от них зависит пигментация плодов, цветков и листьев, а также они важны для фотозащиты, особенно в условиях стресса [4]. Эти соединения могут также работать для инактивации свободных радикалов во время нормального роста и развития. Антоцианы широко распространены во всех высших растениях, за исключением Caryophyllales [6]. Они, как правило, содержатся в форме гликозидов, существует порядка 500 различных природных антоцианов [2].

Катехины являются ценными соединениями благодаря их различным положительным эффектам, влияющим на здоровье человека. Например, было показано, что катехины увеличивают секрецию инсулина из бета-клеток поджелудочной железы, демонстрируя перспективные преимущества для здоровья людей, страдающих диабетом типа 2 [8]. Катехины, будучи сильными антиоксидантами, в организме человека в определенной степени предотвращают возникновение рака клеток.

Материалы и методы. Целью нашей работы были биохимические исследования содержания биологически активных

веществ в цветках и плодах сорта яблони Выдубецкая плакучая (в условиях Национального ботанического сада имени Н.Н. Гришко, Киев, Лесостепь Украины).

Количество антоцианов определяли фотоэлектроколориметрическим методом при длине волны 530 нм, используя спиртовую вытяжку из гомогената растительного сырья, подкисленного 3,5 %-ной соляной кислотой [1].

Определение катехинов также проводили фотоэлектроколориметрическим методом. Метод основан на их взаимодействии с ванилином в присутствии соляной кислоты. Определение оптической плотности ведется при зеленом светофильтре (максимум пропускания 520 + 10 нм).

Результаты и их обсуждение. Исследовали содержание флавонолов и антоцианов в цветках сорта яблони Выдубецкая плакучая, антоцианов в кожце и мякоти плодов (рис. 1), катехинов – в плодах.

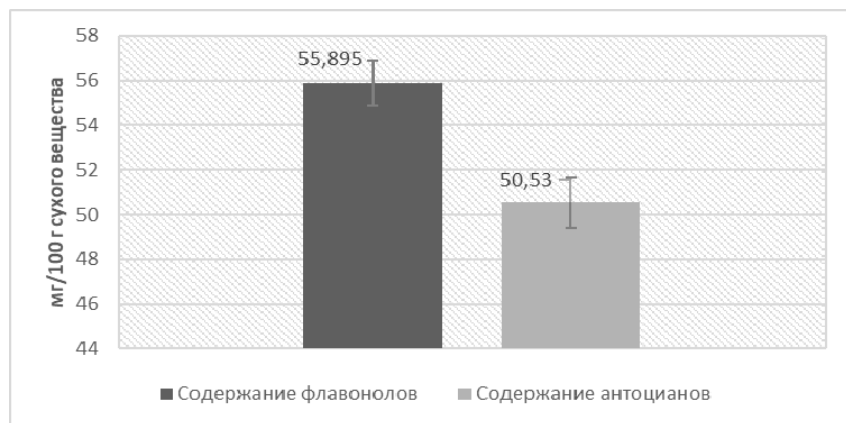


Рис. 1. Содержание флавонолов и антоцианов в цветках сорта яблони Выдубецкая плакучая

Содержание флавонолов в цветках сорта яблони Выдубецкая плакучая составляет 55,89 мг/100 г. Цветки этого сорта можно рекомендовать для использования в создании средств ароматерапии, поскольку в настоящее время для

научных исследований в области изучения пигментов и красителей все больше используют компоненты растительного происхождения.

Содержание антоцианов в цветках сорта яблони Выдубецкая плакучая – 50,53 мг/100 г сухого вещества, что также позволяет применять цветки в качестве сырья для создания фитопрепаратов, имеющих свойства антиоксидантов.

Определили содержание антоцианов и катехинов в плодах сорта яблони Выдубецкая плакучая (рис. 2).



Рис. 2. Содержание антоцианов и катехинов в плодах сорта яблони Выдубецкая плакучая

Показано, что наибольшее количество антоцианов (мг/100 г) в кожуре – 394,03, в мякоти – 45,61. Учитывая то, что в плодах яблок, по литературным данным, должно содержаться Р-активных веществ не менее 200 мг/100 г сухих веществ, то в кожуре плодов сорта яблони Выдубецкая плакучая в 2 раза больше антоцианов от среднестатистического показателя и в восемь раз больше, чем в мякоти.

Мы определяли содержание катехинов в плодах сорта яблони Выдубецкая плакучая – 77,84 мг/100 г сухого вещества. Такое количество фенольных веществ оказалось не очень высоким у Выдубецкая плакучая в сравнении с другими старинными сортами. На данном этапе исследований

плодов на содержание антиоксидантных веществ преобладают антоцианы в сравнении с катехинами.

Выводы. Биохимические исследования содержания биологически активных веществ из группы флавоноидов в цветках, кожуре и мякоти яблок подтвердили наличие катехинов и антоцианов. Установлено, что содержание как катехинов, так и антоцианов в плодах сорта яблони Выдубецкая плакучая имеет существенные отличия. При высоком содержании антоцианов в плодах сорта катехинов сравнительно меньше. Очевидно, это может быть связано с окислительно-восстановительными процессами, следствием которых является окисление катехинов до антоцианов, поскольку среди флавоноидов катехины являются наиболее восстановленными соединениями.

Сдвигу химического равновесия в сторону образования антоцианов может способствовать наличие свободных кислот, которые являются стабилизатором устойчивости антоцианов. Показано, что в кожуре яблок антоцианов примерно в восемь раз больше, чем в мякоти. Таким образом, изучение количественного содержания антоцианов и катехинов в плодах сорта яблони Выдубецкая плакучая показало, что они представляют интерес для пищевой и фармацевтической промышленности и могут служить сырьем для получения Р-витаминных препаратов.

Библиографический список

1. Кривенцов В.И. Методические рекомендации по анализу плодов на биохимический состав. Ялта, 1982. 21 с.
2. Andersen O.M. The anthocyanins // *Flavonoids: chemistry biochemistry and applications* / O.M. Andersen, M. Jordheim // CRC Press, Boca Raton, 2005. P. 471–552.
3. Bi X. Anthocyanin contributes more to hydrogen peroxide scavenging than other phenolics in apple peel / X. Bi, J. Zhang, C. Chen, D. Zhang, P. Li, F. Ma // *Food Chem.* 2014. № 152. P. 205–209.

4. Davies K.M. Modifying anthocyanin production in flowers / K.M. Davies, K. Gould, C. Winefield // *Anthocyanins: biosynthesis functions and applications*. Springer, New York, 2009. P. 471–552.
5. Gould K.S. Why some stems are red: cauline anthocyanins shield photosystem II against high light stress / K.S. Gould, D.A. Dudle, H.S. Neufeld // *J. Exp. Bot.* 2010. № 61. P. 2707–2717.
6. Harborne J.B. The evolution of flavonoid pigments in plants / J.B. Harborne, T. Swain // *Comparative photochemistry*. London: Academic Press, 1996. P. 271–295.
7. Harris S.A. Genetic clues to the origin of the apple / S.A. Harris, J.P. Robinson, B.E. Juniper // *Trends Genetic.* 2000. Vol. 18. № 8. P. 426–430.
8. Scalbert A. Dietary intake and bioavailability of polyphenols / A. Scalbert, G. Williamson // *J. Nutr.* 2000. № 130. P. 2073–2085.
9. Steyn W.J. Anthocyanins in vegetative tissues: A proposed unified function in photoprotection / W.J. Steyn, S.J.E. Wand, D.M. Holcroft, G. Jacobs // *New Phytol.* 2002. № 155. P. 349–361.
10. Sun S. Response of phenolic compounds in 'Golden Delicious' and 'Red Delicious' apples peel to fruit bagging and subsequent sunlight re-exposure // *Sci Hortic.* 2014. № 168. P. 161–167.
11. Zhang H. New insight into the structures and formation of anthocyanic vacuolar inclusions in flower petals / H. Zhang, L. Wang, S. Deroles, R. Bennett, K. Davies // *BMC Plant Biol.* 2006. № 29.

СИБИРСКИЕ ПЛОДЫ И ЯГОДЫ КАК ИСТОЧНИКИ ПРИРОДНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ

Ершова И.В.

ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий»

SIBERIAN FRUITS AND BERRIES AS A SOURCE OF NATURAL ANTIOXIDANTS

Ershova I.V.

Federal Altai Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, inessers@yandex.ru

В статье представлены результаты многолетнего изучения содержания биологически активных фенольных соединений в плодах садовых культур коллекции НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко. В связи с этим приводятся актуальные на сегодняшний день направления исследований в данной области.

This article discusses the results of long-term research of the content of biologically active phenol compounds in the fruits of horticultural crops of Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia. In relation to this, current research directions and priorities in this area are discussed.

В рамках актуальной на сегодняшний день проблемы лечения и профилактики воздействия на человека различного рода стрессов, экологически неблагоприятных факторов особую значимость приобретает здоровое питание, пищевая продукция направленного биологического действия с ярко выраженными антиоксидантными и адаптогенными свойствами. В настоящее время признается очевидным тот факт, что причиной развития многих патологических изменений в человеческом организме являются свободно-радикальные процессы и, как следствие, окислительный стресс [1]. Коррекция его негативного воздействия может осуществляться с помощью биологически активных веществ (БАВ), обладающих высокой антиоксидантной активностью. Особо ценными

в этом плане представляются экологически безопасные и малотоксичные, широко распространенные и доступные природные антиоксиданты (АО). Плоды и ягоды являются богатейшими источниками целых комплексов АО, способных при их употреблении многократно усиливать антиоксидантный статус организма. Одной из самых значимых групп биоантиоксидантов признаны соединения фенольной природы (ФС), в частности биофлавоноиды и токоферолы, обладающие широким спектром биологической активности и лечебно-профилактического действия. На сегодняшний день оценка уже имеющихся, а также создание и введение в производство новых селекционных сортов различных культур с повышенным содержанием в плодах БАВ, новых видов пищевой продукции, обогащенной АО, представляется особенно актуальным.

В НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко (НИИСС) (ныне – отдел НИИСС ФГБНУ ФАНЦА) в 2013-2018 гг. автором проводились исследования качественного и количественного состава биологически активных ФС плодов и ягод садовых культур, позволившие выделить ряд приоритетных задач в этой области. Материалом для них служили зрелые плоды сортов и гибридов садовых культур. Суммарное содержание и компонентный состав ФС определяли спектрофотометрическими и колориметрическими методами в этанольных экстрактах плодов [2]. Для количественного определения токоферолов был применен метод ОФ-ВЭЖХ на жидкостном хроматографе Agilent LC 1260 Infinity с использованием колонки Zorbax Eclipse Plus C18.

В ходе исследований была выявлена высокая изменчивость содержания биофлавоноидов у сортов и гибридов садовых культур, составляющих коллекцию НИИСС, при этом различия касались как общего содержания ФС, так и их фракционного состава. Согласно полученным данным, суммарное содержание ФС может достигать 2000,0 мг/100 г и более в плодах жимолости (Берель, Юмис, 36-23-07) и вишни

(Памяти Левандовского, ВЧ 89-95-51, ВЧ 89-95-48), 1300,0 мг/100 г – в плодах калины (Таежные рубины, 5-3-04, № 3). Потенциальные возможности смородины чёрной и золотистой лежат в пределах 1000,0 – 1,100 мг/100 г и более (сорта смородины черной – Забава, Лама, Сокровище, Агата, Гармония, золотистой – Барнаульская, Левушка, 3685/13), яблони, винограда и земляники садовой – 600,0 – 700,0 мг/100 г (лучшие сорта и формы: виноград – Московитянин, Память Лазаревского, Агат Донской, Катыр; яблоня – Сувенир Алтая, Алтайское багряное, Мулатка, Алтайское зимнее; земляника – Барабинская, Рубиновый кулон).

Во фракционном составе ФС для большинства культур характерным является преобладание проантоцианидинов и антоцианов, которые могут составлять 60–80 % всего комплекса биофлавоноидов. Катехинами богаты плоды жимолости (29 %), яблони (21 %), вишни (16 %), винограда (14 %). У смородины черной, калины и яблони, помимо антоциановых пигментов, существенная часть комплекса ФС приходится на флавонолы (12-17 %).

Ценнейшим источником природного витамина Е являются плоды ведущей культуры НИИСС – облепихи, превосходящей по содержанию данной группы БАВ почти все плодово-ягодные растения. Установлен высокий уровень содержания токоферолов, достигающий у лучших сортов и форм значения 140,0 мг/100 г (721-93-4, Чуйская, Огниво). Средний показатель также довольно значителен для культуры – 96,0 мг/100 г. Для ряда красноплодных форм облепихи с повышенным содержанием каротиноидов в плодах установлено и значительное количество витамина Е.

Дальнейшие исследования биологически активных ФС плодов и ягод в настоящее время направлены на создание продуктивного сортимента наиболее перспективных в этом плане культур: жимолости (перспективны межвидовые гибриды, и прежде всего с участием жимолости алтайской), вишни (новые полигенные сорта и гибриды вишни степ-

ной и вишни Маака), смородины золотистой, облепихи, земляники. Ведутся исследования по поиску сортов с минимальными потерями данной группы БАВ после замораживания плодов. Наряду с плодами предметом изучения являются и ФС вегетативных органов растений, что дает возможность решения ряда проблем селекции культур, а также получения дополнительной продукции с направленным биологическим действием, способной служить сырьем для приготовления пищевых добавок лечебно-профилактического назначения.

Библиографический список

1. Зенков Н.К. Окислительный стресс. Биохимический и патофизиологический аспекты / Н.К. Зенков, В.З. Ланкин, Е.Б. Меньшикова. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 343с.
2. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. 3-е изд. Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд., 1987. 430 с.

АНТИОКСИДАНТНАЯ СИСТЕМА ПРОРОСТКОВ ВИКИ В ПРИСУТСТВИИ ХЛОРИДА НИКЕЛЯ В СРЕДЕ

Иванищев В.В., доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой биологии и технологий живых систем

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Тульский государственный педагогический
университет им. Л.Н. Толстого»
(ФГБОУ ВО «ТГПУ им. Л.Н. Толстого»), *avdey_VV@mail.ru*

Ivanishchev V.V., Doctor of Biology, Professor, Head
of the Department of Biology and Technologies of Living Systems

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University”
(Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University)

Изучена возможность применения метода главных компонент (РСА) и кластерного анализа к интерпретации физиолого-биохимических показателей окислительного стресса проростков вики (*Vicia sativa* L.) в условиях широкого диапазона концентраций хлорида никеля в среде (0-1000 мкМ). Показано, что изученные характеристики могут быть объединены в 3-4 группы, которые отражают разнонаправленность изменений биохимических свойств, отражающих состояние побегов вики в условиях эксперимента.

The possibility of applying the principal component analysis (PCA) and cluster analysis method to interpreting the physiological and biochemical indicators of oxidative stress of vetch seedlings (*Vicia sativa* L.) in a wide range of nickel chloride concentrations in the medium (0-1000 μ M) was studied. It is shown that the studied characteristics can be combined into 3-4 groups, which reflect the multidirectionality of changes in the biochemical properties, reflecting the state of the vetch shoots in the experimental conditions.

Введение. Анализ данных по прорастанию семян вики методом кластерного анализа позволил установить конкретные границы для недостаточных и избыточных концентра-

ций хлорида никеля в среде [1]. Также показана возможность приложения метода для оценки физиолого-биохимических показателей и интерпретации результатов, полученных на проростках тритикале в условиях кратковременного солевого стресса [2-4]. Поэтому представляло интерес использовать аналогичный подход к анализу результатов работы антиоксидантной системы проростков вики в условиях присутствия хлорида никеля в среде.

Материалы и методы. Растения выращивали в условиях широкого диапазона концентраций (1-1000 мкМ) хлорида никеля [5]. Результаты исследований по влиянию соли на физиолого-биохимические характеристики побегов вики посевной брали из работ [6-8].

Результаты и их обсуждение. Применение метода главных компонент (РСА) для обработки результатов исследования показало, что изученные характеристики можно распределить в три группы, которые включают: (1) содержание пероксида водорода, перекисного окисления липидов и активность пероксидазы, (2) содержание аскорбиновой кислоты и активность каталазы и (3) только пролин.

Методом кластерного анализа показаны наиболее близкие взаимосвязи между активностью каталазы и пероксидазы, содержанием пероксида водорода и пролина. Более позднее включение величины ПОЛ в общий кластер можно интерпретировать как его зависимость от баланса между скоростью образования пероксида водорода и его нейтрализации этими ферментами. Вхождение аскорбиновой кислоты в завершающий кластер показывает ее наименьшую взаимосвязь со всеми изученными показателями в условиях эксперимента, что совпадает с ее высокой отрицательной корреляцией с содержанием пероксида водорода и активностью пероксидазы.

На основании проведённого анализа можно сделать вывод о сложности и разнонаправленности процессов адаптации проростков вики к повышенным концентрациям хлорида

никеля в среде. В то же время отмечено отсутствие специфичности накопления пролина в условиях эксперимента.

Библиографический список

1. Абрамова Э.А., Иванищев В.В. Особенности прорастания семян вики в присутствии ионов никеля в среде // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2016. Вып. 2-3. С. 70-78.

2. Иванищев В.В., Жуков Н.Н. Проявления окислительного стресса в проростках тритикале при кратковременном действии хлорида натрия // Бутлеровские сообщения. 2017. Т. 52 (11). С. 123-130.

3. Иванищев В.В., Жуков Н.Н. О взаимосвязи показателей водного обмена и фотосинтеза проростков тритикале при кратковременном действии хлорида натрия // Бутлеровские сообщения. 2018. Т. 53 (3). С. 35-42.

4. Иванищев В.В. Исследование влияния кратковременного солевого стресса методом кластерного анализа // Бутлеровские сообщения. 2018. Т. 54 (4). С. 134-139.

5. Абрамова Э.А., Иванищев В.В. Исследование морфогенеза проростков при прорастании семян вики в присутствии ионов никеля // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2012. Вып. 2. С. 246-252.

6. Абрамова Э.А., Иванищев В.В. Содержание флавоноидов в проростках вики в присутствии ионов никеля // Современное состояние естественных и технических наук: Материалы VIII Международ. научно-практ. конф. (14.09.2012). Москва, 2012. С. 25-28.

7. Абрамова Э.А., Иванищев В.В. Содержание фотосинтетических пигментов и аскорбиновой кислоты в проростках вики в присутствии хлорида никеля // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Серия Естественные науки. 2012. № 9 (128). Вып. 19. С. 152-155.

8. Ivanishchev V.V., Abramova E.A. Accumulation of nickel ions in seedlings of *Vicia sativa* L. and manifestations of oxidative stress // Environ. Sci. Pollut. Res. 2015. V. 22 (10). P. 7897-7905. DOI – 10.1007/s11356-015-4173-8.

АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ *HYSSOPUS OFFICINALIS* L.

Коваленко Н.А.¹, кандидат химических наук, доцент,
Супиченко Г.Н.¹, кандидат химических наук,
Сачивко Т.В.², кандидат с.-х. наук, доцент,
Босак В.Н.², доктор с.-х. наук, профессор

¹ Белорусский государственный технологический университет (БГТУ),
Минск, Беларусь

² Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (БГСХА),
Горки, Беларусь, bosak1@tut.by

¹ *Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus*

² *Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Belarus*

В исследовании с различными сортами иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.) установлено, что лучшей антиоксидантной активностью обладали растения с синей окраской венчика.

In research with different grades of hyssop it is established, that the best antioxidant activity possessed plants with a blue colouring of a flower.

Иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.) относится к ценным эфирномасличным, пряно-ароматическим и лекарственным культурам [3]. В этой связи значительный интерес представляет изучение его антиоксидантных свойств.

Исследования по установлению антиоксидантной активности проводили спектрометрическим определением суммы фенольных соединений с использованием 18-молибдодифосфорного гетерополикомплекса (18-МФК) структуры Доусона [1].

Объектами исследования были спиртовые извлечения из зеленой массы (фаза цветения) иссопа лекарственного трех районированных сортов с синей (сорт Лазурит), белой (сорт Завея) и розовой (сорт Розоцветковый) окраской венчика [2–3].

Для получения спиртовых экстрактов навеску измельченного растительного сырья (1 г) помещали в круглодонную колбу с обратным холодильником, добавляли 30 мл 70 % этанола и содержимое нагревали на кипящей бане в течение 30 мин. После отфильтровывания нерастворимого остатка полученный экстракт помещали в мерную колбу вместимостью 100 мл, охлаждали и доводили объем до метки 70 % этанолом. Сумму фенольных соединений определяли методом калибровочного графика в пересчете на рутин.

Для измерения антиоксидантной активности аликвоту (1,0 мл) анализируемого раствора помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, вносили 1,25 мл 10^{-3} моль/л 18-МФК, 5 мл фосфатного буферного раствора с pH 7,7 и доводили объем до метки дистиллированной водой. Оптическую плотность измеряли через 15 мин при 900 нм на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ.

Как показали результаты исследований, содержание полифенолов в спиртовых экстрактах (в пересчете на рутин) различалось в зависимости от сорта иссопа лекарственного.

Наибольшее содержание полифенолов отмечено в растениях иссопа лекарственного сорта Лазурит с синей окраской венчика – 10,2 г рутина/100 г сырья. У розоцветкового иссопа сорта Розоцветковый содержание полифенолов составило 9,4, у белоцветкового иссопа сорта Завая – 6,2 г рутина/100 г сырья.

Таким образом, антиоксидантная активность (по содержанию полифенольных соединений) *Hyssopus officinalis* L. различной ботанической формы убывает в ряду: синецветковая > розоцветковая > белоцветковая.

Библиографический список

1. Денисенко Т.А. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива

Фолина–Чокальтеу / Т.А. Денисенко, А.Б. Вишниккин, Л.П. Цыганов // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19. № 4. С. 373–380.

2. Особенности биохимического состава пряно-ароматических, зеленных и декоративных культур / В.Н. Босак, Т.В. Сачивко, Н.В. Максименко, М.В. Наумов // Вестник БГСХА. 2018. № 3. С. 93–96.

3. Сачивко Т.В. Оценка сортов иссопа лекарственного по основным хозяйственно полезным признакам / Т.В. Сачивко // Овощеводство. 2018. Т. 26. С. 141–146.

DOI: 10.22363/09358-2019-275-278

УДК 581.1

**ВЛИЯНИЕ АНТИОКСИДАНТА ФЕНОЛЬНОЙ
ПРИРОДЫ ЭПИКАТЕХИНА
НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОРОСТКОВ ГРЕЧИХИ
(*FAGOPIRUM ESCULENTUM* L.)
К НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМУ СТРЕССУ**

***Казанцева В.В., Нечаева Т.Л., Николаева Т.Н.,
Цыпурская Е.В., Лапшин П.В., Гончарук Е.А.,
Зубова М.Ю., Катанская В.М., Загоскина Н.В.***

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева
Российской академии наук, Россия, 127276, Москва, Ботаническая ул., 35*

*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, IPP RAS,
35 Botanicheskaya St., Moscow, 127276 Russia*

Изучали устойчивость проростков гречихи (*Fagopirum esculentum* L.) после их обработки растворами эпикатехина (ЭК) различной концентрации (10^{-7} – 10^{-3} М) к действию низкой температуры (-1 °С, 2 часа). Показали, что при экзогенном воздействии этого соединения в семядольных листьях в условиях низкотемпературного стресса не происходило изменений в уровне ПОЛ.

Одними из наиболее распространенных в растениях вторичных метаболитов являются фенольные соединения

(ФС). Их образование происходит во всех клетках и тканях растений, хотя и с различной интенсивностью [1]. ФС участвуют во многих метаболических процессах, в том числе защищают клетки и ткани от активно образующихся в стрессовых условиях активных форм кислорода (АФК). Функциональная роль фенольных биоантиоксидантов растительного происхождения вызывает большой интерес как ученых, так и практиков в связи с их широким использованием в различных отраслях народного хозяйства, а также в качестве фармацевтически ценных препаратов [2].

Гречиха посевная (*Fagopirum esculentum* L.) является уникальной сельскохозяйственной культурой с высокой способностью к накоплению различных ФС флавоноидной природы. К их числу относится и один из представителей флаван-3-олов – эпикатехин, образование, которое отмечено и в некоторых ее органах [3].

Целью работы являлось изучение устойчивости проростков гречихи к действию низкой температуры после их обработки растворами эпикатехина различной концентрации.

Объект и методы исследования. Объектом исследования являлись проростки гречихи *Fagopirum esculentum* L. сорта «Девятка», выращенные рулонным способом на воде в факторостатной камере при 24 °С и 16-часовом фотопериоде. В возрасте 14 дней их опрыскивали водой или водными растворами эпикатехина (10^{-7} - 10^{-3} М). Через сутки после опрыскивания проростки подвергали действию низкой температуры (-1 °С, 2 часа).

Уровень ПОЛ оценивали по содержанию малонового диальдегида (МДА), основываясь на цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой [4]. Для его определения использовали замороженные в жидком азоте семядольные листья проростков.

Все определения проводили в трех биологических и 2-3 аналитических повторностях. Результаты обрабатывали статистически. На рисунках представлены средние арифметиче-

ские значения определений, стандартные ошибки которых не превышают 5 %. Для оценки достоверности различий использовали программу ANOVA.

Результаты и их обсуждение. Для проростков гречихи, выращиваемых рулонным способом, характерен интенсивный рост и быстрое формирование и развитие семядольных листьев. Именно этот процесс имеет важное значение для начальных этапов онтогенеза растений и их адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды, в том числе действию пониженных температур, как это наблюдается в природных условиях [5]. Гречиха относится к теплолюбивым культурам, поэтому в качестве стрессового фактора была использована температура -1°C , которая даже может приводить к ее гибели [3].

Поскольку нашей задачей являлась оценка уровня стрессовой реакции проростков гречихи, то в первую очередь было проведено сравнение уровня ПОЛ в семядольных листьях контрольных растений и после воздействия на них низкой температуры. В стрессовых условиях содержание МДА было на 15 % ниже, чем в контроле, что свидетельствует об активации системы антиоксидантной защиты. После опрыскивания проростков водными растворами эпикатехина уровень ПОЛ в семядольных листьях незначительно снижался (от 7 до 11 %, в зависимости от его действующей концентрации) по сравнению с контрольным вариантом и не изменялся при воздействии низкой температуры.

Заключение. При экзогенном воздействии эпикатехина в семядольных листьях проростков гречихи в условиях низкотемпературного стресса не происходило изменений в уровне ПОЛ, что свидетельствует о «стабильном» функционировании антиоксидантной системы (вне зависимости от действия стрессовых факторов). Это согласуется с представлениями об антиоксидантной активности ФС.

Библиографический список

1. Запретов М.Н. Фенольные соединения: Распространение, метаболизм и функции в растениях. М.: Наука, 1993. 272 с.
2. Меньщикова Е.Б., Ланкин В.З., Зенков Н.К., Бондарь И.А., Круговых Н.Ф., Труфакин В.А. Окислительный стресс. Проксиданты и антиоксиданты. М.: Слово, 2006. 556 с.
3. Kiprovski B., Mikulic-Petrovsek M., Slatnar A., Veberic R., Stampar F., Malencic D., Latkovic D. Comparison of phenolic profiles and antioxidant properties of European *Fagopyrum esculentum* cultivars // Food Chemistry. 2015. V. 185. P. 41-47.
4. Лукаткин А.С., Голованова В.С. Интенсивность перекисного окисления липидов в охлажденных листьях теплолюбивых растений // Физиология растений. 1988. Т. 35. С. 773-780.
5. Blokhina O., Virolainen E., Fagerstedt K.V. Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress // Ann. Bot. 2003. V. 91. P. 179-194.

DOI: 10.22363/09358-2019-278-284

УДК 582.998.2:547.587

АНТИОКСИДАНТНЫЕ И ДРУГИЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛОЕ

Сажина Н.Н.¹, к.ф.-м.н., с.н.с.,

Мотылева С.М.², к.с.-х.н., с.н.с.,

Лапшин П.В.³, к.б.н., н.с., **Загоскина Н.В.³**, д.б.н., в.н.с.

¹ Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН (ИБХФ РАН), Natnik48s@yandex.ru

² Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства (ВСТИСП), motyleva_svetlana@mail.ru

³ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (ИФР РАН), phenolic2012@yandex.ru

¹ Emanuel Institute of Biochemical Physics RAS

² All-Russian Horticultural Institute for Breeding, Agrotechnology and Nursery

³ Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS

В настоящей работе приведен краткий обзор биологических свойств различных видов *Алое*. Главный акцент сделан на антиоксидант-

ные свойства *Алое*. Представлены экспериментальные данные по определению антиоксидантной активности экстрактов некоторых видов *Алое* разными методами и выявлены наиболее активные из них.

Введение. Разнообразные виды рода *Алое*, которых в мире насчитывается более 500, считаются важными источниками биологически активных веществ и привлекают внимание исследователей многочисленными проявлениями их биологических свойств [1].

Для всех видов *Алое* характерно формирование «сочных» водозапасающих листьев, собранных в розетку, а в их листьях содержится более 200 соединений, обладающих различной биологической активностью. К фитохимическим классам, присущим *Алое*, относятся: антроны, антрахиноны, хромоны, кумарины, пираны и пироны, алкалоиды, флавоноиды, стеролы, энзимы, карбогидраты, протеины, жирные кислоты и другие липидные компоненты, практически все витамины (В₁, В₂, В₆, В₁₂, С, Е, бета-каротин, холин и др.) [1].

Благодаря разному биологическому действию компонентов этих классов *Алое* используют в традиционной и современной медицине. Для лечения таких заболеваний, как гепатит, алкогольная токсикация печени, фиброз печени и другие, экстракты и гель *Алое* применяют в качестве гепатопротекторных средств, в гастроэнтерологии сок и экстракты *Алое* помогают лечить гастриты, колиты, язвы желудка и двенадцатиперстной кишки благодаря пребиотической и антибактериальной активности [2].

Антидиабетическая и антигиперлипидемическая активность компонентов *Алое* позволяет бороться с сахарным диабетом, жировой болезнью печени и др. Экстракты и отдельные компоненты *Алое* (алое-эмодин, алоин и др), обладающие антивирусной, иммуномодулирующей, антиоксидантной активностями, используются для лечения заболеваний верхних дыхательных путей, бронхиальной астмы и других респираторных болезней. Экстракты *Алое* применяют также

при лечении дерматитов и других кожных заболеваний, а на основе некоторых компонентов *Алое* делают лекарства для лечения глазных заболеваний [3]. Препараты из *Алое*, благодаря их нейропротекторным свойствам, издавна помогали при лечении таких нервно-психических недугов, как головная боль, меланхолия, шизофрения, навязчивые идеи, эти препараты также служили для усиления памяти, улучшения сна и повышения интеллекта. Фармакологическое действие компонентов *Алое* на центральную и периферическую нервные системы выражается в седативном и гипнотическом эффектах, нейропротекторной и анальгезирующей активности, в улучшении когнитивных расстройств. На основе компонентов *Алое* разрабатываются лекарства против болезней Альцгеймера, Паркинсона, эпилепсии и депрессии [1; 3].

Одна из причин перечисленных выше болезней – окислительный стресс, обусловленный перекисным окислением липидов (ПОЛ) в мембранах нервных, мозговых, эпителиальных и других клеток организма, поэтому для ингибирования окислительного процесса важно найти *Алое* с высоким содержанием активных антиоксидантов. Наиболее исследованными и используемыми видами *Алое* являются *Aloe arborescens* Mill., *Aloe ferox* Mill. и *Aloe vera* (L.) Burm. f. [1].

В работе [4] был проведен скрининг 15 видов *Алое* по оценке антиоксидантной активности (АОА) их спиртовых экстрактов амперометрическим и хемилюминесцентным методами в тролоксовом эквиваленте. В табл. 1 приведены результаты этого скрининга.

Бесспорным «аутсайдером» оказался экстракт *A. pillansii* (№ 5). Оба метода показали для него почти одинаковые высокие значения АОА. Это послужило причиной для дополнительного изучения этого вида другим, более физиологичным методом.

**Антиоксидантная активность (АОА) образцов экстрактов,
измеренная двумя методами**

№ обр.	Название растения	Вид экстракта	АОА, мМ тролокса (амперометрия)	АОА, мМ тролокса (хемилюминесценция)
1	<i>A. arborescens</i>	70 % этанол 2 мл, 1 г алоэ	3,68 ± 0,26	0,44 ± 0,12
2	<i>A. vera</i>	-	0,24 ± 0,02	0,04 ± 0,01
3	<i>A. spinosissima</i>	-	2,16 ± 0,11	1,28 ± 0,15
4	<i>A. delaeti</i>	-	0,88 ± 0,07	0,19 ± 0,08
5	<i>A. pillansii</i>	-	5,16 ± 0,23	4,55 ± 0,32
6	<i>A. rauhii hybr.</i>	-	2,12 ± 0,11	0,29 ± 0,08
7	<i>A. jucunda</i>	-	0,78 ± 0,05	0,12 ± 0,02
8	<i>A. squarrosa</i>	-	1,73 ± 0,11	0,65 ± 0,05
9	<i>A. variegata</i>	-	0,85 ± 0,03	0,43 ± 0,09
10	<i>A. striata</i>	-	1,08 ± 0,04	0,60 ± 0,09
11	<i>A. dorotheae</i>	-	0,51 ± 0,02	0,19 ± 0,02
12	<i>A. hemmingii</i>	-	0,47 ± 0,04	0,07 ± 0,02
13	<i>A. broomii</i>	-	1,68 ± 0,15	2,65 ± 0,12
14	<i>A. plicatilis</i>	-	0,92 ± 0,04	0,75 ± 0,15
15	<i>A. brevifolia</i>	-	0,49 ± 0,03	0,40 ± 0,12

Цель настоящей работы – определение суммарного содержания фенольных соединений в экстрактах Алоэ: *A. pillansii*, *A. Arborescens* и *A. squarrosa* и изучение антиоксидантной активности этих экстрактов на модели инициированного окисления липосом соевого фосфатидилхолина (ФХ). Липосомы ФХ служат в этом случае моделями для изучения биохимических процессов в мембранах клеток человека и животных, в частности перекисного окисления липидов, и регулирования этого окисления различными субстанциями, встроенными в липосомы. Кроме *A. pillansii* для сравнения были взяты два других вида Алоэ: *A. arborescens* и *A. squarrosa*.

Материалы и методы. Листья *A. arborescens*, *A. pillansii* и *A. squarrosa* срезали с взрослых растений (годовых), выращенных в коллекции суккулентных растений ИФР

им. К.А. Тимирязева РАН при естественном освещении и 16-часовом фотопериоде. Для получения экстрактов свежие листья *Алое* (0,5 г) гомогенизировали в 96 %-ном этаноле (1 мл), выдерживали на миксере (СМ70М-07, Elmi) при +45 °С (30 мин), центрифугировали (13000 об/мин) 20 мин при +4 °С, затем отбирали надосадочную жидкость (экстракт), которую хранили при +4 °С. Суммарное содержание фенольных соединений (СФС) определяли спектрофотометрическим методом ($\lambda=725$ нм) с помощью реактива Фолина–Чокальтеу. В качестве вещества сравнения использовали галловую кислоту (SigmaAldrich). Погрешность определения СФС по 8 повторным измерениям составила не более 3 %. Для приготовления липосом использовали суспензию соевого ФХ марки L- α -Phosphatidilcholine P 3644 (“Sigma-Aldrich”, Германия) в фосфатном буфере (рН 7,4, ионная сила 1 мМ). Суспензию готовили из известной навески ФХ с объемом буфера, необходимым для получения концентрации ФХ 1 мг/мл. Смесь перемешивали 20 мин в шейкере, добавляя разные объемы спиртовых экстрактов *Алое*. Липосомы формировали с использованием ультразвукового гомогенизатора VCX-130 (Sonics & Materials, США), после чего пропускали через мембранный фильтр экструдера AVANTI (PolarLipid, США) с диаметром пор 100 нм.

Для инициирования окисления липосом использовали водорастворимый азо-инициатор ААРН (Fluka, Германия) с конечной концентрацией в растворе липосом 0,3 мМ. Степень развития ПОЛ контролировали по УФ-спектрам поглощения (от 200 до 300 нм) на спектрофотометре (Perkin Elmer, Lambda-25, Германия). Окисление липосом с концентрацией 0,1 мг/мл проводили в спектрофотометрических кварцевых кюветах, термостатированных при физиологической (37 °С) температуре. Кинетику образования продуктов ПОЛ – диеновых конъюгатов (ДК) регистрировали во времени на длине волны максимума поглощения ДК $\lambda=234$ нм. Измерения повторяли не менее 3 раз, и погрешность определения антиокси-

дантной активности (АОА) экстрактов *Алое* не превышала 10 %. Калибровка в тех же условиях проводилась по тролоксу.

Результаты и их обсуждение

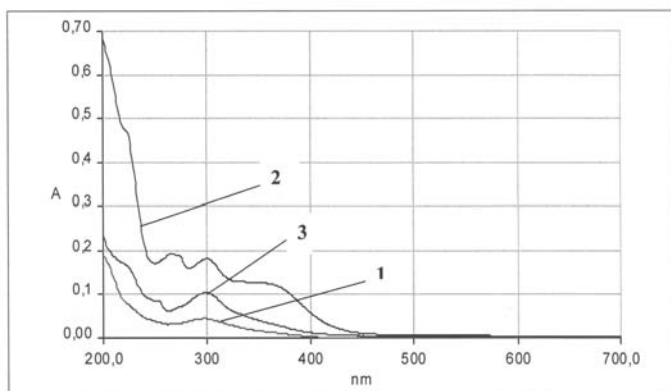


Рис. 1. Спектры поглощения экстрактов *Алое*: 1 – *A. arborescens*, 2 – *A. pillansii*, 3 – *A. squarrosa*

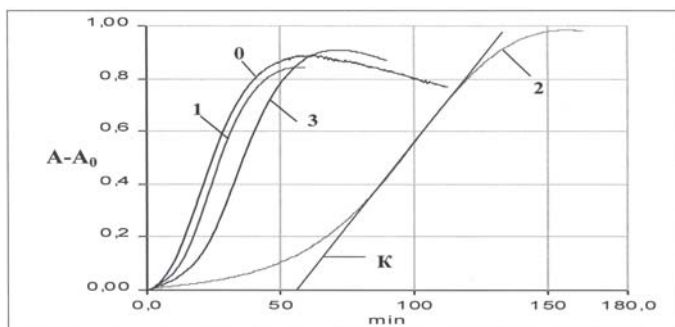


Рис. 2. Кинетика окисления липосом ФХ: 0 – без *Алое*: 1 – *A. arborescens*, 2 – *A. pillansii*, 3 – *A. squarrosa*

Таблица 2

Антиоксидантная активность (АОА) экстрактов листьев *Алое* и суммарное содержание в них фенольных соединений (СФС)

Образец	АОА, мМ тролокса	СФС, мг экв ГК/г свежих листьев $\pm SD$
<i>A. arborescens</i>	0,85 \pm 0,08	0,26 \pm 0,01
<i>A. pillansii</i>	10,14 \pm 0,71	1,28 \pm 0,04
<i>A. squarrosa</i>	2,66 \pm 0,22	0,52 \pm 0,02

Анализ материала рис. 1 и 2, а также табл. 2 позволяет сделать следующие выводы.

Выводы. Впервые изучена антиоксидантная активность (АОА) трех видов *Aloe*: *A. arborescens*, *A. pillansii*, *A. squarrosa* в модельной системе ААРН-индуцированного окисления ФХ-липосом.

Установлено, что экстракт *A. pillansii* обладает примерно в 12 раз большей антиоксидантной активностью, чем экстракт *A. arborescens*, и в 4 раза, чем *A. squarrosa*. Измеренные значения суммарного содержания фенольных соединений при этом показали значительно меньшую разницу между этими экстрактами, что может свидетельствовать о наличии в *A. pillansii* очень активных фенольных антиоксидантов в высоких концентрациях, которые отсутствуют в двух других. Для объяснения этого факта необходимы хромато-масс-спектрометрические измерения количественного состава экстрактов этого вида Алоэ. Результаты данной работы позволяют рекомендовать *A. pillansii* для более углубленных исследований его биологической активности и создания на его основе различных медицинских препаратов.

Библиографический список

1. Aloe Genus Plants: From Farm to Food Applications and Phytopharmacotherapy / Saleh B. et al. // International Journal of Molecular. Sciences. 2018. V. 19. P. 2843-2892.

2. Cock I. The genus Aloe: Phytochemistry and Therapeutic uses including treatments for gastrointestinal conditions and chronic inflammation // In Novel Natural Products: Therapeutic Effects in Pain, Arthritis and Gastro-Intestinal Diseases; Springer: Berlin, Germany. 2015. P. 179–235.

3. Therapeutic effect of Aloe spp. in traditional and modern medicine: A review / Akaberi M. et al. // Biomedicine & Pharmacotherapy. 2016. V. 84. P. 759-772.

4. Сажина Н.Н., Лапшин П.В., Загоскина Н.В. Сравнительное изучение антиоксидантных свойств экстрактов различных видов алоэ // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 169–176.

СЕМЕНА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ КАК СРЕДСТВО РАЗМНОЖЕНИЯ РАСТЕНИЙ, ПИЩА И ЛЕКАРСТВО

Мусаев Ф.Б.

*ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»,
musayev@bk.ru*

Семена культурных растений являются стратегическим товаром, и национальная система семеноводства является надежным залогом продовольственной безопасности любой страны.

Мировой семенной рынок составляет примерно 50 млрд дол. США в год. Лидерами рынка являются США и Китай, с объемом рынка 12 млрд и 9 млрд дол. США, соответственно, они держат более 40 % мирового оборота семян. Российский семенной рынок также внушительный и составляет 4 млрд дол. США [1].

В мире идет жесткая борьба за семенные рынки. Огромные транснациональные компании, приравняв в руки рынок, навязывают производителям свои условия, т.е. к семенам у них привязаны и агрохимикаты, и пестициды, сельхозтехника и др.

Семена обладают удивительной природой. Они являются носителем генетической информации об организме, средством размножения растений, пищей для человека и кормом для животных.

Семена самая удобная форма сохранения вида, поэтому крупные генетические коллекции растений содержатся в виде семян. Крупнейшие генетические коллекции собраны в США, Китае, Индии и России. Генетическая коллекция семян ФИЦ Всероссийского института генетических ресурсов

растений имени Н.И. Вавилова насчитывает более 300 тысяч и постоянно пополняется [2]. С целью сохранения генколлекции в живом виде проводится регулярная репродукция и «омоложение» партии семян, что связано с большими затратами. Ведется постоянный поиск благоприятных условий для длительного хранения семян.

В 2006 г. под эгидой ООН на о. Шпицберген (Норвегия) создан Всемирный банк-хранилище семян для сохранения всех образцов сельскохозяйственных растений, существующих в мире со вместимостью 4,5 млн образцов. Тут температура воздуха поддерживается на уровне -18°C , доступ кислорода ограничен. В нашей стране оборудовано хранилище семян в естественных условиях в вечной мерзлоте Якутии. Нами проводится длительный эксперимент по хранению в вечной мерзлоте на полуострове Таймыр семян и продовольствия [3].

Семена являются богатым источником питания человека. Преобладающее большинство населения Земли (77 %) живет в Азии и Африке, где преимущественно питается растительными продуктами [4]. Огромная доля растительной пищи принадлежит семенам – это хлеб, рис, другие крупы, зернобобовые, орехи и др.

Семена по биохимическому составу классифицируются следующим образом: крахмалистые, белковые, масличные, белково-масличные [5].

Крахмалистые семена составляют основу питания человека. Они служат сырьем для производства хлеба, булочных изделий, крупы, крахмала. Мировое производство зерновых составляет внушительную цифру – более 2 млрд т.

Растительные белки и масла также получают из семян. Доля растительного белка, потребляемого человеком в мировом масштабе, составляет 85 %, а животного белка – 15 %. Весь растительный белок получают и растительное масло из семян. Лидирующими видами тут являются соя, хлопчатник, арахис, подсолнечник и др. Также растительных жиров про-

изводится в мире более 160 млн т, почти на порядок больше, чем сливочного масла [6]. К основным масличным культурам относятся пальма, соя, рапс, подсолнечник, арахис, кокос и оливки.

Семена входят также большой долей в рацион сельскохозяйственных животных в виде фуражного зерна, комбикормов.

Широко известны лечебные свойства семян. Семена моркови, тмина, петрушки, тыквы, лука, щавеля и других культур успешно применяют для профилактики и лечения различных человеческих недугов.

За весь период онтогенеза в семенах протекают биохимические процессы. Сначала семя через материнское растение постепенно ассимилирует органические вещества: углеводы, белки, липиды и др. в запасующих органах, это и эндосперм, и утолщенные семядоли. В дальнейшем при посеве этих семян от прорастания до перехода проростка на автотрофное питание происходит постепенная утилизация этих веществ.

Жизнеспособность и сила роста семян в целом определяются количеством и качеством запасных органических веществ, а также состоянием зародыша. Их достаточное количество определяет выполненность, полноценность семян. В зависимости от степени вызреваемости семян и количество и качество питательных веществ разнится, что часто наблюдается в условиях нашей зоны с недостаточной тепло- и светобеспеченностью. Разнокачественные в биохимическом отношении семена дают неравномерные, изреженные всходы.

В целом следует отметить, что семена сельскохозяйственных культур являются стратегическим продуктом, как в плане сохранения селекционно-генетического разнообразия, так и для репродукции культурных растений. Кроме того, сами же семена являются основой питания человека, источником белка, жиров и углеводов, а целебные свойства семян общеизвестны. В контексте вышесказанного отношение к

семенам, семеноводству, семеноведению со стороны государства, аграрной науки должно строиться на научно-практических принципах, способствуя развитию отрасли в направлении полной независимости от импорта.

Библиографический список

1. Малько А.М. Мировой рынок семян и место России в нем // Картофель и овощи. 2013. № 4. С. 2-5.
2. URL: <https://www.vir.nw.ru>. (дата обращения: 05 марта 2018 г.).
3. Пивоваров В.Ф., Уланин С.Е. Белецкий С.Л., Мусаев Ф.Б., Тареева М.М. Длительное хранение семян в условиях вечной мерзлоты Арктики – история эксперимента и новые задачи // Овощи России. 2016. № 4. С. 76-79.
4. URL: <https://www.wikipedia.org> (дата обращения: 05 марта 2018 г.).
5. Макрушин Н.М., Макрушина Е.М., Петерсон Н.В., Мельников М. М. Физиология растений с основами биохимии. Симферополь: Таврия, 2005. 544 с.
6. FAOSTAT–2015. Электронный ресурс. URL: <http://faostat.fao.org>.

БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ИНЖИРА К ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ТЕМПЕРАТУРАМ

Гребенникова О.А., к.б.н., с.н.с. лаборатории биохимии,
физиологии и репродуктивной биологии растений,
Браилко В.А., к.б.н., с.н.с. лаборатории геномики растений
биоинформатики

Федеральное государственное бюджетное учреждение
Республики Крым «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский
ботанический сад – Национальный научный центр РАН»,
oksanagrebennikova@yandex.ru

Federal State Budgetary Scientific Institution «Nikita Botanical Gardens –
National Scientific Centre RAS»

Изучены повреждения тканей почек и однолетних побегов видов и сортов инжира при контролируемом понижении температуры. Выявлена связь морозостойкости растений инжира с активностью каталазы.

Введение. Инжир принадлежит к роду *Ficus* L., семейству Moraceae Link. Условия Южного берега Крыма благоприятны для возделывания инжира, тем не менее зимой случаются оттепели с возвратным похолоданием, что отрицательно сказывается на перезимовке растений. В связи с этим актуально установление степени морозостойкости видов и сортов инжира и ее связи с биохимическими параметрами устойчивости к низким температурам, что и явилось целью данной работы.

Объекты и методы. Объектами исследований служили три вида инжира: *Ficus carica* L., *Ficus palmata* Forsk., *Ficus virgata* Roxb., произрастающие на коллекционных участках Никитского ботанического сада. Вид *F. carica* L. представлен

четыре сортами: Крымский Черный, Сары Стамбульский, Сабруция Розовая и Опылитель Никитский (каприфига).

Морозостойкость побегов и почек изучалась в конце января–феврале 2019 г. при искусственном промораживании срезанных побегов в климатической камере «Votcsh VT-4004» (при температурах от -8 до -12 °С, градиент изменения температуры 2 °С/час). Материал анализировали с помощью бинокулярного микроскопа «Биолам» (увеличение $12,5\times 2$). Активность каталазы определяли титрометрическим методом, пероксидазы – по скорости реакции окисления бензидина, содержание пролина – по модифицированной методике Чинарда.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что при понижении температуры до отрицательных значений в первую очередь повреждаются терминальные почки, затем боковые. Промораживание при температуре до -12 °С не привело к повреждению тканей побегов.

Промораживание при температуре -8 °С позволило выявить межвидовые различия в морозостойкости. У вида *F. carica* морозостойкость терминальных почек составила 74,3-98,0 %, плодовых – 95,4-98,2 %. У видов *F. virgata* и *F. palmata* морозостойкость терминальных почек составила лишь 16,8 и 22,4 %, плодовых – 32,5 и 33,6%. Основным типом морозных повреждений являлись некрозы тканей основания почек. После промораживания активность каталазы изменилась неоднозначно: у видов *F. virgata* и *F. palmata* активность фермента снизилась, у сортов Крымский Черный и Опылитель Никитский – не изменилась, у сортов Сары Стамбульский и Сабруция Розовая – увеличилась в 1,8 и 2,2 раза. Активность пероксидазы снизилась у сортов Крымский Черный и Сары Стамбульский, достоверно не изменилась у вида *F. palmata* и сорта Опылитель Никитский и повысилась у сорта Сабруция Розовая и вида *F. virgata*. Содержание пролина увеличилось от 5 % (сорт Опылитель Никитский) до 35 % (сорт Сабруция Розовая).

Промораживание при температуре -10°C дало возможность установить различия в морозостойкости сортов. Максимальную криорезистентность проявил сорт Сабруция Розовая, в почках которого отмечены лишь единичные повреждения кроющих листьев. Морозостойкость его терминальных почек составила 95,3 %, плодовых – 93,2 %. Относительную морозостойкость проявил сорт Опылитель Никитский, у которого живые терминальные почки составили 46,2 %, плодовые – 65,3 %. У остальных видов и сортов морозостойкость терминальных почек составила 10,4-28,3 %, плодовых – 28,1-61,5 %. После промораживания активность каталазы снизилась у видов *F. virgata* и *F. palmata* (в 2-3 раза), а у сортов вида *F. carica* – увеличилась в 2-6 раз, причем наиболее существенно у сорта Сабруция Розовая. Активность пероксидазы в почках инжира достоверно не изменилась, за исключением сорта Крымский Черный (повысилась на 42,5 %). Концентрация пролина увеличилась от 2% (сорт Опылитель Никитский) до 41 % (сорт Крымский черный).

При температуре -12°C морозостойкость терминальных почек составила 8,2-26,7 %, плодовых – 22,2-56,5 %. В плодовых почках повреждались генеративные зачатки, в терминальных – основание. Максимальная морозостойкость установлена для сортов Опылитель Никитский и Сабруция Розовая. После промораживания активность каталазы изменилась неоднозначно. У видов *F. virgata* и *F. palmata* произошло значительное угнетение активности фермента (в 8-9 раз). У сортов Крымский Черный и Сары Стамбульский активность каталазы снизилась в 2,5 и 1,2 раза, у сортов Сабруция Розовая и Опылитель Никитский – увеличилась в 2,7 и 4,0 раза. Активность пероксидазы повысилась у видов *F. virgata* (9,8 %), *F. palmata* (36,0 %) и сортов Крымский Черный (28,7 %), Сары Стамбульский (28,6 %), достоверно не изменилась у сортов Опылитель Никитский и Сабруция Розовая. Содержание пролина увеличилось от 8 % (сорт Опылитель Никитский) до 52 % (вид *F. palmata*).

Выводы. Максимальной морозостойкостью отличаются сорта Опылитель Никитский и Сабруция Розовая.

Установлена связь между активностью каталазы и морозостойкостью инжира: при низкотемпературном стрессе в морозостойких сортах активность фермента повышается, а в неморозостойких сортах – снижается.

Связи активности пероксидазы и содержания пролина с морозостойкостью инжира не выявлено.

Секция 4

**Фотосинтез, фотоника, дыхание,
минеральное питание и водный обмен растений,
сигнальные системы клеток высших растений**

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА У РАСТЕНИЙ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ

***Антипина О.В., Попов В.Н.,
Дерябин А.Н., Рахманкулова З.Ф.***

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской
академии наук, 127276, Россия, Москва, ул. Ботаническая, д. 35,
trunova@ippras.ru*

*K. A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Science,
Botanicheskaya Str. 35, 127276, Moscow, Russia*

Изучали активность фотосинтетического аппарата (ФА) теплолюбивого табака (*Nicotiana tabacum* L., сортотип Sam-sun) и холодостойкого арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana* Heynh. (L.) экотип Columbia) при воздействии на молодые растения пониженной температурой. Установлены различия в реакции ФА теплолюбивых и холодостойких растений на действие низких положительных температур.

В естественных условиях произрастания растения периодически подвергаются действию неблагоприятных факторов окружающей среды. Низкая температура относится к числу наиболее распространенных стресс-факторов, оказывающих повреждающее воздействие на растительный организм.

Сохранение фотосинтеза при низких положительных температурах является важным фактором холодового закаливания и последующего выживания растений при низких повреждающих температурах. Считается, что у чувствительных к холоду растений именно фотосинтез подавляется в первую очередь [1].

Поэтому целью нашей работы было сравнительное исследование особенностей функционирования фотосинтетического аппарата теплолюбивых (табак) и холодостойких (арабидопсис) растений в условиях низкотемпературного закаливания.

Эксперименты показали, что растения табака и арабидопсиса при температурах холодого закаливания были способны сохранять фотосинтетическую активность, хотя интенсивность видимого фотосинтеза у них снижалась почти в 2 раза, по сравнению с контролем, уже в первые сутки закаливания. Столь резкое и сильное уменьшение интенсивности фотосинтеза может быть связано со снижением активности ключевых ферментов цикла Кальвина [2] и ингибированием флоэмого транспорта [3], поскольку эти процессы очень чувствительны к снижению температуры. Тем не менее, к концу периода закаливания интенсивность фотосинтеза у арабидопсиса несколько возросла, в отличие от табака, что указывает на повышенный адаптационный потенциал фотосинтетического аппарата *A. thaliana*.

Об эффективности световых реакций фотосинтеза судили по флуоресценции хлорофилла. В наших экспериментах значения максимального квантового выхода ФС II на первые и шестые сутки периода закаливания в целом повторяли динамику изменений интенсивности фотосинтеза, что подтверждает тесную связь между эффективностью световых реакций фотосинтеза и ферментативными реакциями фиксации CO₂. У табака при низкотемпературном закаливании показатели F_v/F_m были ниже оптимального уровня, что указывает на снижение эффективности ФС II. У арабидопсиса значения максимального квантового выхода ФС II к шестым суткам закаливания возвращались к уровню контроля, что свидетельствует о высоком адаптационном потенциале световых реакций фотосинтеза данного вида растений.

Известно, что образующиеся в процессе ассимиляции CO₂ продукты фотосинтеза экспортируются из стромы хло-

ропластов в виде триозофосфатов в цитозоль, где и происходит синтез сахарозы. К концу периода закаливания в листьях арабидопсиса количество растворимых сахаров увеличивалось более чем в 4 раза, а в листьях табака только на 30 %. Следует отметить, что ранее нами были получены данные, свидетельствующие о высокой эффективности закаливания растений арабидопсиса, которые в закаленном состоянии были способны выживать при температуре до $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4]. В то же время была показана способность закаленных растений табака выдерживать низкие температуры вплоть до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и неспособность переносить отрицательные температуры [5]. Можно предположить, что значительно более высокая эффективность закаливания арабидопсиса по сравнению с табаком может быть связана с различиями в накоплении сахаров, а следовательно, и с эффективностью фотосинтетического аппарата этих растений в условиях низких температур.

Показано, что теплолюбивые растения табака и холодостойкие растения арабидопсиса демонстрировали различные стратегии адаптации к низким температурам.

Табак реагировал на закаливающие температуры значительным снижением содержания фотосинтетических пигментов, уменьшением эффективности ФС II и интенсивности видимого фотосинтеза. Поскольку ранее нами было установлено, что закаливание растений табака сопровождалось почти двукратным уменьшением скорости генерации супероксидного анион-радикала и 30%-м снижением содержания перекиси водорода и малонового диальдегида [6], то можно предположить, что наблюдаемые нами реакции фотосинтетического аппарата растений табака, по-видимому, направлены на предотвращение перевосстановления ЭТЦ хлоропластов и, соответственно, недопущение чрезмерной генерации активных форм кислорода и защиту растений от развития окислительного стресса.

Ранее было показано, что растения арабидопсиса способны эффективно противостоять повреждающему действию

окислительного стресса в условиях низких положительных температур [7]. Поэтому, в отличие от теплолюбивого табака, стратегия низкотемпературной адаптации холодостойких растений арабидопсиса направлена, по-видимому, на поддержание функциональной активности фотосинтетического аппарата в условиях низких температур. Это служит предпосылкой для значительного накопления ассимилятов, обеспечивающих комплекс адаптивных перестроек метаболизма, благодаря которым растения арабидопсиса способны демонстрировать более высокую эффективность закаливания по сравнению с табаком.

Библиографический список

1. Климов С.В., Попов В.Н., Дубинина И.М., Бураханова Е.А., Трунова Е.А. Пониженная холодостойкость теплолюбивых растений связана с ингибированием ассимиляции CO_2 в листьях и накопления сахаров в корнях // Физиология растений. 2002. Т. 49. С. 871–877.
2. Du Y.C., Nose A., Wasano K. Effects of chilling temperature on photosynthetic rates, photosynthetic enzyme activities and metabolite levels in leaves of three sugarcane species // Plant., Cell. and Environment. 1999. V. 22. P. 317–324.
3. Sowinski P., Rudzinska-Langwald A., Kobus P. Changes in plasmodesmata frequency in vascular bundles of maize seedling leaf induced by growth at sub-optimal temperatures in relation to photosynthesis and assimilate export // Environmental and experimental botany. 2003. V. 50. P. 183–196.
4. Астахова Н.В., Попов В.Н., Селиванов А.А., Бураханова Е.А., Алиева Г.П., Мошков И.Е. Реорганизация ультраструктуры хлоропластов при низкотемпературном закаливании растений // Физиология растений. 2014. Т. 61. С. 790–797.
5. Попов В.Н., Антипина О.В., Трунова Т.И. Перекисное окисление липидов при низкотемпературной адаптации листьев и корней теплолюбивых растений табака // Физиология растений. 2010. Т. 57. С. 153–156.
6. Попов В.Н., Антипина О.В., Астахова Н.В. Изменения ультраструктуры хлоропластов растений табака в процессе защиты

от окислительного стресса при гипотермии // Физиология растений. 2016. Т. 63. С. 319–326.

7. Синькевич М.С., Селиванов А.А., Антипина О.В., Кропачева Е.В., Алиева Г.П., Суворова Т.А., Астахова Н.В., Мошков И.Е. Активность антиоксидантных ферментов у растений *Arabidopsis thaliana* при закаливании к гипотермии // Физиология растений. 2016. Т. 63. С. 777–782.

DOI: 10.22363/09358-2019-299-303

УДК 582.71.1:58.032.3(477.75)

РЕГУЛЯЦИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА *CAPRIFOLIACEAE* JUSS. В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

Браилко В.А.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад –
Национальный научный центр РАН», Крым, г. Ялта, пгт. Никита,
ул. Никитский спуск, 52, valentina.brailko@yandex.ru*

*Federal State-Funded Institution of Science «The Labour Red Banner Order
Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS»*

Приводится исследование параметров водного режима некоторых декоративных представителей семейства *Caprifoliaceae* при подборе устойчивых к засухе растений для озеленения на Юге России. Проанализированы показатели общей оводненности, водоудерживающей и водопоглощающей способности, сосущей силы и водного дефицита в зоне интродукции. В результате проведенных исследований предлагается выделить *L. fragrantissima*, *L. henryi*, *L. maackii*, *L. nitida*, *L. pileata*, *L. nitida* 'Elegant' (род *Lonicera*), *W. floribunda*, *W. × 'Van Houttei'* *W. 'Red Prince'* (род *Weigela*) и *A. × grandiflora* (род *Abelia*) как засухоустойчивые растения, имеющие высокий адаптивный потенциал к субаридным условиям ЮБК.

Data of the water regime parameters in some ornamental species, hybrids and cultivars of *Caprifoliaceae* family, in order to select drought-resistant plants promising for the decorative gardening in south of Russia, are presented.

The values of total water content, water-holding and water-absorbing capacity, sucking power and water deficit in the zone of introduction have been analyzed. As a result of the research a number of drought-resistant plants with high adaptive capacity for subarid conditions of the Southern Coast of the Crimea have been selected: *L. fragrantissima*, *L. henryi*, *L. maackii*, *L. nitida*, *L. pileata*, *L. nitida* 'Elegant' (genus *Lonicera*), *W. floribunda*, *W. × 'Van Houttei'* *W. 'Red Prince'* (genus *Weigela*) and *A. × grandiflora* (genus *Abelia*).

Декоративное садоводство Юга России нуждается в рекомендациях относительно расширения ассортимента растений с длительным периодом вегетации, цветения и плодоношения и одновременно устойчивых к ряду стрессовых факторов зоны их выращивания. Особенностью климата Южного берега Крыма (ЮБК) является нерегулярное водообеспечение и засуха [2]. В свою очередь, при действии стресса нарушение физиологических функций проявляется в изменении метаболизма и внешних повреждениях [6], а формирование устойчивости экзотов к субаридным условиям выращивания представляет собой сложный многокомпонентный процесс, включающий в себя регуляцию водного режима. В связи с этим изучение способов регуляции водного баланса представителей семейства Caprifoliaceae при определении их засухоустойчивости весьма актуально.

Семейство жимолостных включает более 400 видов растений, произрастающих как в умеренных широтах, так и субтропических и тропических зонах [5]. К наиболее декоративно-вегетирующим и красивоцветущим растениям данного семейства относятся представители родов *Lonicera* L., *Weigela* Trunb. и *Abelia* R.Br.

В наше исследование были включены *L. tatarica* L., *L. maackii* (Rupr.) Maxim., *L. caprifolium* L., *L. etrusca* Santi., *L. japonica* Thunb., *L. henryi* Hemsl., *L. fragrantissima* Lindl. Et Paxt., *L. nitida* Wils., *L. nitida* 'Elegant', *L. pileata* Oliv., *Weigela* × 'Van Houttei', *W. floribunda* (Sieb. Et Zucc.), *W. florida* (Bge.) A. DC, *W. cv. Kosteriana* Variegata, *W. cv. Red Prince*, *W. hortensis* (Sieb. et Zucc. C.A. Mey.), *W. praecox*

(Lemoneine) Bailey и *Abelia* × *grandiflora* (Andre) Rehd., произрастающие в составе парковых композиций, на участках с соответствующим агротехническим уходом. В работе использовали полевую оценку и лабораторные методы изучения водного режима [3; 4] на протяжении вегетационных периодов 2012-2018 гг.

По результатам полевых исследований установлено, что для видов *L. fragrantissima* и *L. henryi* *L. tatarica*, *L. maackii*, *L. japonica*, *L. nitida*, *L. pileata*, *W. floribunda*, *A. × grandiflora* и садовых форм *L. nitida* 'Elegant', *L. pileata* 'Variegata', *W.* cv. Red Prince характерен высокий уровень засухоустойчивости: визуальные повреждения в виде хлорозов, солнечных ожогов, скручивания листовых пластинок и ранней дефолиации у них отмечались редко в отдельные годы.

Общая оводненность тканей листьев линейно снижалась: в начале вегетации (первая половина мая) листья содержали от 62 до 83 % воды, доля связанной – составляла 18-26 % для представителей родов *Lonicera* и *Weigela*, 10-12 % у *A. × grandiflora*. Водный дефицит в указанный период у всех исследованных таксонов не превысил 10 %. Водоудерживающая способность тканей листа низкая, через 6-8 ч листовые пластинки утрачивают 38-62 % воды. Сосущая сила листьев составляет 9-17 атм., максимальные значения определены у лиан рода *Lonicera*.

При действии летней засухи (июль-август) содержание воды в тканях листьев снижается, особенно у листопадных видов (до уровня 45 %). Определено, что для ряда жимолостных: *L. fragrantissima*, *L. nitida* 'Elegant', *L. pileata* 'Variegata', *L. nitida*, *L. pileata* и *A. × grandiflora* характерна изогидратная стратегия регуляции водного режима: при действии гидротермического стресса у данных растений значительно увеличивается водоудерживающая способность тканей листа (через 8 часов водоотдача не превышает 25 %) за счет накопления низкомолекулярных БАВ (пролина, фенольных веществ

и аскорбиновой кислоты), увеличения активности ферментов (СОД, ПФО и каталазы), устьичной и кутикулярной регуляции транспирации [1].

У *L. tatarica*, *L. maackii*, *L. caprifolium*, *L. etrusca*, *W.* × 'Van Houttei', *W. floribunda*, *W. florida*, *W.* cv. *Kosteriana Variegata*, *W.* cv. *Red Prince*, *W. hortensis* и *W. praecox* установлена анизогидратная стратегия: их оводненность в период засухи резко изменяется (коэффициент вариации составляет 9-21 %), водный дефицит достигает сублетальных значений (до 38 %; у *L. caprifolium*, *L. etrusca*, *W. hortensis*, *W. florida* и *W.* cv. *Kosteriana Variegata* превышал критические границы, что приводило в раннем расцветивании листы и дефолиации).

Таким образом, определено, что защитно-приспособительные реакции к засухе представителей семейства *Caprifoliaceae* носят комплексный характер. Высокая засухоустойчивость *L. fragrantissima*, *L. nitida*, *L. pileata* и *A.* × *grandiflora* реализуется с помощью изогидратной стратегии регуляции водного режима (высокой водоудерживающей способности и ксероморфных особенностей строения листа). У менее засухоустойчивых видов и садовых форм установлен анизогидратный тип регуляции водного статуса.

Библиографический список

1. Браилко В.А. Анатомическая характеристика листа некоторых видов рода *Lonicera* L., культивируемых на Южном берегу Крыма / В.А. Браилко // Интродукция растений. 2014. № 3 (63). С. 61-65.

2. Климатический атлас Крыма. Приложение к научно-практическому дискуссионно-аналитическому сборнику «Вопросы развития Крыма» / под ред. И.В. Веды. Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. 120 с.

3. Кушниренко М.Д. Методы сравнительного определения засухоустойчивости плодовых деревьев / М.Д. Кушниренко, Э.А. Гончарова, Г.П. Курчатова, Е.В. Крюкова // Методы оценки

устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды. Л., 1976. С. 87-101.

4. Лищук А.И. Физиологические и биофизические методы в селекции плодовых культур: методические рекомендации / А.И. Лищук. М.: ВАСХНИИ, 1991. 67 с.

5. Рябова Н.В. Жимолость. Итоги интродукции в Москве / Н.В. Рябова. М.: Наука, 1980. 160 с.

6. Levitt J. Responses of plants to environmental stresses. Chilling, freezing and high temperatures stresses. New York: Acad. Press, 1980. Vol. 1. 426 p.

DOI: 10.22363/09358-2019-303-306

УДК 633.16:632.4.01/.08:581.132

**АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ АППАРАТА
ФОТОСИНТЕЗА В ОНТОГЕНЕЗЕ ПРОРОСТКОВ
ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM SATIVUM* L.)
ПРИ ИНФИЦИРОВАНИИ ГРИБОМ
BIPOLARIS SOROKINIANA SACC. SCHOEM.**

**Викс Т.Н., аспирант,
Кабашникова Л.Ф., д. б. н., заведующий лабораторией,
Савченко Г.Е., к. б. н., старший научный сотрудник**

*Государственное научное учреждение «Институт биофизики
и клеточной инженерии Национальной академии наук Беларуси»,
(ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси»),
kabashnikova@mail.ru*

*State Scientific Institution «Institute of Biophysics and Cell Engineering
of National Academy of Sciences of Belarus» (Institute of Biophysics
and Cellular Engineering of NAS of Belarus)*

Установлена разная устойчивость фотосинтетического аппарата первого листа ячменя в онтогенезе к действию патогенного гриба *Bipolaris sorokiniana*: увеличение содержания пигментов в молодых листьях и снижение в стареющих, без существенного изменения в зрелых пластидах. Грибное заражение активизировало фотосинтез и дыхание в

молодых и стареющих тканях листа, но не влияло на эти процессы в зрелых проростках.

The different resistance of the photosynthetic apparatus of the first barley leaf in ontogenesis to the action of the pathogenic fungus *Bipolaris sorokiniana* was established: an increase in the pigment content in young leaves and a decrease in the aged, without a significant change in mature plastids. Fungal infection activated photosynthesis and respiration in young and aging leaf tissues, but did not affect these processes in mature seedlings.

Введение. В интегрированной защите растений ячменя как одной из важнейших сельскохозяйственных культур все большее практическое значение приобретает индуцированный иммунитет. Особое место отводится выяснению роли хлоропластов в иммунном ответе [1]. Целью настоящей работы являлось изучение влияния патогенного гриба *Bipolaris sorokiniana* на структурно-функциональное состояние фотосинтетического аппарата в онтогенезе проростков ячменя.

Материалы и методы. В работе использовали проростки ярового ячменя сорта Магутны, выращенные на водопроводной воде при 22 °С в течение разного времени. Длина светового периода полихроматичного белого света (120 мкмоль квантов м⁻²с⁻¹) составляла 16 ч. Часть растительного материала заражали грибом *Bipolaris sorokiniana* путем равномерного опрыскивания водным раствором, содержащим 10⁶ спор в 1 мл. Анализ проводили через сутки после инокуляции. Фотосинтетические пигменты экстрагировали 99,5 %-ным ацетоном из высечек листьев и рассчитывали их содержание по [2]. Интенсивность дыхания и фотосинтеза листовой пластинки оценивали по скорости поглощения и выделения O₂ (мкмоль·м⁻²·с⁻¹), соответственно, используя PlantVital 5030.

Результаты и их обсуждение. Инфицирование 3-дневных проростков ячменя вызывало увеличение количества фотосинтетических пигментов примерно в 1,2 раза по сравнению со здоровыми (табл. 1). Заражение в 7-дневном возрасте существенно не влияло на содержание хлорофиллов

и каротиноидов, а в 10-дневном – приводило к снижению содержания пигментов примерно в 1,4 раза по сравнению с контролем.

Таблица 1

Онтогенетические изменения содержания фотосинтетических пигментов (мг/г сырой массы) в листьях ячменя при грибном заражении *Bipolaris sorokiniana* (B.S.)

Возраст, дни	Вариант	Пигменты		
		Хл <i>a</i> ,	Хл <i>b</i>	Каротиноиды
3	Контроль	0,528±0,034	0,181±0,014	0,199±0,009
	B.S.	0,675±0,011*	0,226±0,010	0,239±0,003*
7	Контроль	1,234±0,027	0,367±0,008	0,220±0,010
	B.S.	1,238±0,060	0,367±0,020	0,219±0,010
10	Контроль	1,152±0,078	0,340±0,025	0,348±0,021
	B.S.	0,804±0,049*	0,241±0,014*	0,236±0,011*

Примечание. * – Различия значимы при $P \leq 0,05$.

В результате заражения 3-дневных проростков интенсивность дыхания увеличивалась по сравнению с контролем примерно в 1,2 раза, а интенсивность фотосинтеза – в 1,7 раза (табл. 2). Подобная тенденция прослеживалась и у 10-дневных растений.

Таблица 2

Онтогенетические изменения интенсивности дыхания и фотосинтеза (мкмоль $O_2 \cdot m^{-2} \cdot c^{-1}$) в листьях ячменя при грибном заражении *Bipolaris sorokiniana* (B.S.)

Возраст, дни	Вариант	Дыхание, поглощение O_2	Фотосинтез, выделение O_2
3	Контроль	0,544±0,04	0,377±0,03
	B.S.	0,657±0,03*	0,62±0,11*
7	Контроль	0,505±0,05	0,423±0,07
	B.S.	0,543±0,05	0,422±0,06
10	Контроль	0,556±0,04	0,482±0,02
	B.S.	0,689±0,04*	0,562±0,03*

Примечание. * – Различия значимы при $P \leq 0,05$.

При инфицировании 7-дневных проростков скорости поглощения и выделения O_2 листовой пластинкой существенно не отличались от контрольных значений.

Заключение. Обнаружена разная реакция пигментного аппарата в процессе развития проростков ячменя на инфицирование грибом *Bipolaris sorokiniana*: увеличение количества пигментов в молодом листе и снижение – в стареющем. Тенденция к увеличению интенсивности дыхания и фотосинтеза на фоне грибного заражения обнаружена как на анаболической, так и на катаболической ветвях метаболизма пигментов. Наибольшей устойчивостью к грибному заражению отличались зрелые 7-дневные проростки, имеющие наиболее активный аппарат фотосинтеза.

Библиографический список

1. Chloroplast Signaling and LESION SIMULATING DISEASE1 Regulate Crosstalk between Light Acclimation and immunity in Arabidopsis / P. Mühlenbock [et al.] // Plant Cell. 2008. Vol. 20. P. 2339–2356.
2. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зелёных листьев // Биохимические методы в физиологии растений: сб. ст. М.: Наука, 1971. С. 154–170.

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ДИНАМИКИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ГОРЧИЦЫ САЛАТНОЙ И АМАРАНТА В ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМЕ СИНЕРГОТРОНА ИСР-1.1

Зеленков В.Н.^{1,2}, д.с.-х.н., г.н.с.,

Иванова М.И.², д.с.-х.н., зам. руководителя,

Латушкин В.В.³, к.с.-х.н., ученый-агроном,

Марков М.В.⁴, д.б.н., профессор,

Карпачев В.В.⁵, д.с.-х.н., зав. отделом,

Верник П.А.³, директор института,

Гаврилов С.В.³, нач. отдела, Новиков В.Б.³, нач. отдела

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» (ФГБНУ ВИЛАР), *zelenkov-raen@mail.ru*

² Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО)

³ Автономная некоммерческая организация «Институт стратегий развития»

⁴ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский педагогический государственный университет (ФГБОУ ВО МПГУ)

⁵ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рапса» (ФГБНУ ВНИИ рапса)

В работе проведены исследования влияния импульсного облучения на динамику прорастания семян горчицы салатной и амаранта в режимах 1/3 с, 1/3 мс, 1/2 мс и 1/1 мс на синерготроне ИСР-1.1. Показано, что энергия прорастания и всхожесть снижалась до 4,7 % по сравнению с контролем (проращивание в темноте). Прорастание семян амаранта угнеталось в режиме 1/3 мс (снижение всхожести на 38 % и энергии прорастания на 35,3 %), при других режимах снижение менее явное. Надземная биомасса сеянцев в конце периода проращивания при импульсном облу-

чении уменьшалась для горчицы на 16-29 % и на 13-26 % – для амаранта. В меньшей степени отрицательный эффект проявился при режиме 1/3 с. Активный рост сеянцев при импульсном облучении практически прекращается на этапе образования 1-го настоящего листа, вероятно, вследствие исчерпания запасов питательных веществ семени и недостаточно активного фотосинтеза.

Введение. В последние годы в связи с развитием научных подходов в области фотонного управления продукционным процессом растений придается большое значение изучению импульсных режимов облучения, в частности их влиянию на прорастание семян и рост сеянцев сельскохозяйственных культур. Настоящая работа посвящена экспериментальному изучению данного вопроса на примере горчицы салатной и амаранта в условиях фитотрона модели ИСР-0.1.

Материалы и методы. Эксперимент проводили в синерготроне модели 1.1. конструкции АНО «Институт стратегий развития» (закрытой камере с цифровым программным управлением). Объектом исследования служили семена и проростки горчицы салатной «Мэй Лин» (селекции ФГБНУ ФНЦ овощеводства) и амаранта сорта «Липецкий» (селекции ФГБНУ «ВНИИ рапса»). Проращивание семян проводили согласно ГОСТ 12038-84 с изменениями – использовалась подложка из минеральной ваты. Количество семян по 50 семян в чашке Петри, повторность трехкратная. Уровень интенсивности света, создаваемый светодиодными светильниками красного и синего света на уровне чашек Петри в период действия импульса составил 240-290 мкМоль/м²*с, 24 ч в сутки. Использовались режимы импульсного облучения: 1 с/3 с (длительность импульса 1 с, перерыв – период следования импульса 3 с); 1 с/2 с; 1 с/1 с; 1 мс/3 мс. Температура проращивания в синерготроне 23-25 °С. Контроль – проращивание в темноте. На 7-й день проращивания этиолированные сеянцы помещали на свет 1с /3 с

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных экспериментов выявлено следующее:

– При импульсном облучении семян горчицы прорастание семян снижалось (до 4,7 % по сравнению с контролем). Заметного изменения всхожести при разных режимах облучения не установлено. Прорастание семян амаранта угнеталось при режиме 1/3 мс (снижение всхожести на 38 % и энергии прорастания на 35,3 %). При других режимах облучения всхожесть семян амаранта по сравнению с контролем также понижалась, но в меньшей степени.

– Основная масса семян горчицы салатной проросла на 3-4-е сут во всех вариантах, и в дальнейшем количество проросших семян почти не увеличивалось. Заметных различий по вариантам облучения не отмечено. Семена амаранта более тугорослые, интенсивное прорастание наблюдалось в течение примерно 7 сут после посева.

– Надземная биомасса сеянцев в конце периода выращивания при импульсном облучении уменьшалась по сравнению с контролем для горчицы на 16-29 % и на 13-26 % для амаранта.

– В контроле (проращивание без света в течение 7 сут) формировались этиолированные, вытянутые растения средней высотой в конце периода проращивания 6,9 см (горчица) и 4,6 см (амарант). После помещения на свет растения приобретали зеленую окраску, толщина стебля увеличивалась, но роста в высоту не было. При импульсном облучении максимальная высота растений была в варианте 1/3 с, при минимальной высоте в режиме 1/1 с.

– Активный рост сеянцев при всех исследованных режимах импульсного облучения практически прекращается на этапе образования 1-го настоящего листа (примерно через 6-7 сут после посева семян горчицы и 8-10 сут для амаранта), вероятно, вследствие исчерпания запасов питательных веществ семени и недостаточно активного перехода к автотрофному питанию.

Заключение. Впервые получены экспериментальные данные по влиянию импульсного освещения на прорастание семян горчицы салатной и амаранта в условиях замкнутой

системы синерготрона модели ИСР-1.1. Полученные результаты используются для систематизации закономерностей роста и развития растений различных видов в условиях импульсного освещения на этапе проращивания и начала фотосинтеза.

DOI: 10.22363/09358-2019-310-313

УДК 631.53.011:57.043:633.81

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ДИНАМИКИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ЛЕКАРСТВЕННЫХ И ЭФИРОМАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМЕ СИНЕРГОТРОНА ИСР-1.1

**Зеленков В.Н.^{1,2}, д.с.-х.н., г.н.с., Свистунова Н.Ю.¹, к.б.н., в.н.с.,
Латушкин В.В.³, к.с.-х.н., ученый-агроном,
Верник П.А.³, директор института,
Гаврилов С.В.³, нач.отдела, Новиков В.Б.³, нач. отдела,
Поверина Н.В.³, менеджер проекта**

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных
и ароматических растений» (ФГБНУ ВИЛАР), zelenkov-raen@mail.ru

² Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства –
филиал Федерального государственного бюджетного научного
учреждения «Федеральный научный центр овощеводства»
(ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО)

³ Автономная некоммерческая организация
«Институт стратегий развития»

В работе выявлено влияние импульсного облучения на показатели динамики прорастания семян для разного вида лекарственных и эфиромасличных растений: календулы, тмина пажитника и змееголовника. Импульсное облучение в режиме 1/3 мс стимулировало прорастание семян календулы (увеличение всхожести на 11,25 %), мало изменяло прорастание семян пажитника и ослабляло всхожесть семян тмина. По эффективности к режиму 1/3 мс близок режим 1/3 с, наименее благоприятен режим – 1/1 с (в частности, всхожесть семян тмина снижалась на 62 %). Прирост надземной биомассы сеянцев при импульсах 1/3 мс по сравне-

нию с контролем (темнота) составил для тмина 57 %, для змееголовника 60 %, для календулы 112 %, для пажитника 107 %. Активный рост сеянцев при всех исследованных режимах импульсного облучения практически прекращается на этапе образования 1-го настоящего листа, вероятно, вследствие исчерпания запасов питательных веществ семени и недостаточно активного перехода к автотрофному питанию (фотосинтез).

Введение. Вопрос о влиянии светового фактора, в частности импульсного режима облучения, на прорастание семян имеет большое теоретическое и прикладное значение. Целью настоящей работы явилось определение влияния импульсного освещения на динамику прорастания семян некоторых эфиромасличных и лекарственных культур – тмина обыкновенного, змееголовника молдавского, пажитника сеного и календулы лекарственной из коллекционного фонда ВИЛАР.

Материалы и методы. Эксперимент проводили в синерготроне модели ИСП-1.1 конструкции АНО «Институт стратегий развития» (закрытой камере с цифровым программным управлением) и водяном термостате. Проращивание семян проводили согласно ГОСТ 12038-84 [1] с изменениями при использовании подложки из минеральной ваты. Количество семян по 25 семян в чашке Петри, повторность трехкратная. Уровень интенсивности света, создаваемый светодиодными светильниками красного и синего света на уровне чашек Петри в период действия импульса составил 240-290 мкМоль/м²*с. Использовали следующие режимы импульсного облучения: 1 с/3 с (длительность импульса 1 с, перерыв – период следования импульса 3 с); 1 с/2 с; 1 с/1 с; 1 мс/3 мс. Температура проращивания в синерготроне 23-25 °С. Контроль – проращивание в темноте, проводили в термостате при температуре для семян календулы 20 °С, остальных видов – переменная 20 °С (16 ч в сутки) и 30 °С (8 ч).

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований установлено:

– Влияние импульсного облучения на показатели динамики прорастания семян варьирует в зависимости от вида растений. Импульсное облучение в режиме 1/3 мс стимулировало прорастание семян календулы, мало изменяло прорастание семян пажитника и ослабляло прорастание семян тмина. Прорастание семян тмина снижалось при всех режимах импульсного облучения. Энергия прорастания семян пажитника превышала показатели контроля, однако всхожесть была ниже.

– Из режимов импульсного облучения наиболее благоприятен для прорастания семян изученных видов были 1/3 мс и 1/3 с. Импульсное облучение 1/3 мс стимулировало прорастание семян календулы (увеличение всхожести на 11,25 %, тогда как в режиме 1/1 с всхожесть снижалась на 8,8 % при одинаковой с контролем энергии прорастания). Режим 1/1 с оказывает в большинстве случаев ингибирующий эффект (В частности, энергия прорастания семян тмина снижалась на 50 % по сравнению с контролем, всхожесть – на 62,6 %.)

– Наиболее тугорослыми оказались семена тмина, для которых активное прорастание происходило примерно до 11 сут с момента посева семян. Семена пажитника и календулы массово прорастали через 3-4 сут, и в дальнейшем количество проросших семян практически не увеличивалось. Семена змееголовника показали промежуточные результаты.

– Надземная биомасса сеянцев в конце периода выращивания увеличивалась при импульсном облучении по сравнению с контролем (темнота, отсутствие фотосинтеза). Так, при режиме 1/3 мс прирост составил для тмина 57 %, для змееголовника 60 %, для календулы 112 %, для пажитника 107 %. По эффективности к режиму 1/3 мс близок режим 1/3 с, наименее эффективен – 1/1 с.

– Различия вариантов по высоте сеянцев не были столь значительны, как различия по биомассе. Наименьшая высота характерна при облучении в режиме 1/1 с. В темноте формировались тонкие этиолированные, вытянутые растения.

– Активный рост сеянцев при всех исследованных режимах импульсного облучения практически прекращается на этапе образования 1-го настоящего листа (примерно на 11-й день после посева, для тмина – на 14-й день).

Заключение. Впервые экспериментально установлено различие ответных реакций семян лекарственных и эфиромасличных культур на импульсное круглосуточное облучение в зависимости от вида растения.