

УДК 634.1:634.743:581.19

ТОКОФЕРОЛЫ ПЛОДОВОЙ МЯКОТИ ЧЕТЫРЕХ ПОДВИДОВ ОБЛЕПИХИ (*HIPPOPHAE RHAMNOIDES* L.) В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

© А.Я. Земцова*, Ю.А. Зубарев, А.В. Гунин

Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Змеиногорский тракт, 49, Барнаул, 656045 (Россия), e-mail: anna-krysova@mail.ru

Целью исследования являлось изучение токоферолов в плодах различных экотипов облепихи подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* в сравнении с другими подвидами. В этой связи изучен состав токоферолов плодовой мякоти четырех подвидов облепихи – *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*, ssp. *turkestanica*, ssp. *fluviatilis* и ssp. *carpatica*, произрастающих в коллекции НИИ садоводства Сибири в условиях лесостепи Алтайского края. Основной акцент в работе сделан на наиболее перспективный для промышленного использования подвид облепихи – *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*, с целью установления возможных отличий в накоплении различных токоферолов в плодовой мякоти в зависимости от экотипа, сроков сбора плодов и условий года.

Установлено, что доминирующим токоферолом в мякоти плодов облепихи является α -токоферол. β -, γ - и δ -токоферолы в нашем исследовании явились минорными компонентами всего комплекса токоферолов. Отмечен высокий коэффициент вариации содержания большинства токоферолов (за исключением δ -токоферола) между экотипами подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*, превышающий таковой для всей совокупности изучаемых сортообразцов. Данный факт не позволяет использовать этот признак в качестве достоверного критерия при предварительной идентификации изучаемых подвидов.

Ключевые слова: облепиха, плодовая мякоть, токоферолы, подвиды, экотипы.

Введение

Облепиха (*Hippophae* L.) представляет собой одну из наиболее перспективных садовых культур для условий Сибири.

Значительный объем биохимических исследований, проводимых во многих странах мира за последние 50 лет, в существенной степени раскрыл лечебно-профилактическую значимость облепихи, благодаря наличию в ее плодах веществ, благотворно сказывающихся на здоровье человека. Глубокому изучению подвергся витаминный комплекс облепихи, жирнокислотный состав масла, группа полифенольных веществ, каротиноиды, фитостеролы, макро- и микроэлементы, другие компоненты.

Однако до настоящего времени глубокого изучения компонентного состава токоферолов, как исключительно ценной составляющей облепихового масла, проведено не было. Вместе с тем токоферолы являются чрезвычайно важным элементом для жизнедеятельности организма, обеспечивая антиоксидантный эффект за счет инактивации свободных радикалов, тем самым препятствуя развитию свободнорадикальных процессов перекисного окисления ненасыщенных липидов – важнейшего компонента биологических мембран [1].

Земцова Анна Яковлевна – кандидат сельскохозяйственных наук,
e-mail: anna-krysova@mail.ru
Зубарев Юрий Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук,
e-mail: niilisavenko@yandex.ru
Гунин Алексей Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук,
e-mail: alexeygunin@yandex.ru

Род *Hippophae* L. является весьма полиморфным и представлен, согласно современной таксономической классификации, 8 видами и 10 подвидами. Основные представители рода произрастают в Китае, однако ареал распространения наиболее ценного с точки зрения промышленного производства подвида облепихи *Hippophae rhamnoides* ssp. *mongolica* охватывает

* Автор, с которым следует вести переписку.

территорию Сибири и Северной Монголии. Этот подвид, в свою очередь, представлен так называемыми экотипами, приуроченными к определенным эколого-географическим провинциям.

НИИ садоводства Сибири имени М.А. Лисавенко с 30-х гг. прошлого столетия активно ведет селекционную работу по облепихе на основе подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*. К настоящему времени коллекция облепихи этого подвида в НИИСС является самой многочисленной в мире и включает в себя сортообразцы, представленные большим количеством экотипов, как чистых их представителей, так и гибридного происхождения.

Единичные исследования токоферолов встречаются в работах ученых Индии, Финляндии, Швеции, Польши, однако объектами этих исследований являются в основном виды и подвиды, отличные от *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*. Так, в работе С. Eccleston et al. [2] приведены данные по содержанию токоферолов в облепиховом соке, где общее их количество составило 1.3 мг/100 г. В то же время по данным R. Kumar et al. [3], содержание токоферолов в мякоти плодов облепихи составляет 3.7 мг/100 г, что в три раза превышает данные предыдущего автора. Работами Н. Kallio et al. [4] показано еще более высокое общее содержание токоферолов и токотриенолов (совокупный витамин Е) в плодах облепихи на уровне 5.6–14.0 мг/100 г, при этом указано, что токотриенолы составляют не более 10% от общего количества витамина Е. Полгода спустя группа профессора Н. Kallio провела более глубокое изучение компонентного состава токоферолов и токотриенолов в плодах нескольких подвидов облепихи, в том числе и *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*, показывая общее содержание витамина Е в этом подвиде на уровне 5.0 мг/100 г [5], что тем не менее значительно выше по сравнению с работами других авторов. В работах R. Zadernowski et al. [6], а также Ch. Otgonbayar et al. [7] данные представлены по содержанию токоферолов в масле, а не в целых плодах, что затрудняет сопоставление результатов. При пересчете на целые плоды результаты польских ученых находятся в пределах 2.5–3.3 мг/100 г, а монгольских – в пределах 2.3 мг/100 г. При этом следует отметить, что польские ученые работали с подвидом *H. rhamnoides* ssp. *rhamnoides*, а монгольские – с *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*. В работе Т.Г. Жмырко и др. [8] представлены данные по содержанию токоферолов в масле облепихи (200–260 мг/100 г), произрастающей на Западном Памире. В более поздних исследованиях В.В. Бондарь [9], Н.Д. Гачечиладзе [10] и И.Ф. Рахимова [11] содержание токоферолов в масле облепихи Западного Памира составило 178–680 мг/100 г. В масле облепихи, произрастающей на Алтае, содержание токоферолов по данным Г.А. Лоскутовой [12] 136–280 мг/100 г.

Также научные коллективы СССР проводили исследования, направленные на содержание токоферолов в плодах дикорастущей облепихи некоторых регионов: Алтай – 8 мг/100 г [13] и 20 мг/100 г [14]; Малый Кавказ – 2.5–15.0 мг/100 г [15]; Северный Кавказ – 16.8–28.0 мг/100 г, Грузия – 11.3–19.5 мг/100 г [16].

Данные по содержанию токоферолов в плодах облепихи сортов НИИСС разнятся в весьма широком диапазоне. Так, работами А.Я. Трибунской [17] показано содержание токоферолов в плодовой мякоти на уровне 8.3–14.6 мг/100 г. По данным И.В. Ершовой [18], в различных сортах и гибридах облепихи содержится от 12 до 65 мг/100 г токоферолов. Г.С. Гуленковой [19] было определено содержание токоферолов в плодах алтайских сортов облепихи, которое варьировало от 5.2 до 12.0 мг/100 г.

Данных по компонентному составу токоферолов в плодах алтайских сортов облепихи до настоящего времени представлено недостаточно.

В этой связи целью наших исследований являлось изучение токоферолов в плодах различных экотипов облепихи подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* в сравнении с другими подвидами.

Экспериментальная часть

Биохимические исследования проведены в 2014–2015 гг. в лаборатории UBF GmbH, Германия, на материале, хранившемся 6 месяцев при температуре -25 °С.

Сбор материала осуществлялся на территории экспериментальных участков отдела НИИСС ФГБНУ ФАНЦА, г. Барнаул.

Погодные условия в годы проведения исследований существенно различались. Летние месяцы 2015 г. были суше и теплее, чем в 2014 г. Осадков в 2014 г. выпало больше среднемноголетних значений на 39.3 мм, а в 2015 г. – меньше на 20.1 мм. Средняя температура воздуха в 2014 г. оказалась выше средней многолетней нормы на 1.2 °С, однако 2015 г. был еще теплее – выше нормы на 5.2 °С.

В сентябре количество осадков больше средних многолетних значений на 27.5 мм в 2014 г. и на 24 мм в 2015 г., температура воздуха ниже средней многолетней на 1.2 °С в 2014 г. и на 0.8 °С в 2015 г.

Определение токоферолов проводили на хроматографе Shimadzu Liquid Chromatograph LC – 6 A, оснащенным спектрофотометрическим детектором Shimadzu SPD – 6 AV и колонкой Nucleosil 100/5 размер 250 × 4.6 мм. Подвижная фаза изооктан/этилацетат 96/4 (%/%). Определение при UV 295 нм. Скорость подачи смеси растворителей 0.8 мл/мин. Время анализа – 47 мин. Перед определением подготовленную к испытанию пробу сырой мякоти плодов массой 2 г омыляли раствором гидроксида натрия (2.5 см³, массовая концентрация 60 г/100 см³) + смесь растворителей (0.5 г аскорбиновой кислоты, 4 см³ дистиллированной воды, 20 см³ этанола) и доводили до 100 см³ метанолом с добавлением нескольких кристаллов бутилгидрокситолуола. После омыления раствор пробы разбавляли водой, чтобы объемное отношение спирта и воды в полученном растворе составляло 1 : 1. Экстрагировали токоферолы петролейным эфиром порциями 20 см³ три-четыре раза. Объединенные экстракты промывали водой до нейтральной реакции. Из полученного экстракта удаляли растворитель путем отгонки на ротационном испарителе при пониженном давлении и температуре не выше 40 °С. Оставшиеся следы воды удаляли путем осушения безводным сульфатом натрия. Остаток экстракта растворяли в изооктане. Токоферолы идентифицировали по совпадению значений времен удерживания пиков токоферолов на хроматограммах исследуемых сортообразцов со значениями времен удерживания компонентов растворов стандартов. Количественно определяли при помощи внешнего стандарта по результатам измерений значений площадей пиков. В качестве стандартов использовали α-токоферол, β-токоферол, γ-токоферол, δ-токоферол. (Bestimmung der Tocopherole und Tocotrienole (Vitamin E) DGF-Einheitmethoden F-II 4a, SOP 3.IV.02. ver. 1.).

В качестве объектов исследований были взяты следующие образцы, принадлежащие подвиду *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*:

– Дар Катуня, Новость Алтая – сорта, полученные среди сеянцев катунского экотипа (далее – катунский экотип);

– Чуйская – сорт, полученный среди сеянцев чуйского экотипа (далее – чуйский экотип);

– Иня, Елизавета – сорта, полученные в результате использования химического мутагенеза путем обработки семян сорта Пантелеевская (далее – мутанты);

– Великан, Янтарная – сорта, полученные от скрещивания сорта Щербинки-1 с сеянцами катунского экотипа (далее – саянско-катунский экотип);

– Живко, 42-68-2 – сортообразцы, полученные от скрещивания сортообразца Красноярская-22 с сеянцами саянского экотипа (далее – красноярско-саянский экотип);

– Любимая, Чулышманка – сорта, полученные от скрещивания сорта Щербинки-1 с сеянцами чулышманского экотипа (далее – саянско-чулышманский экотип);

– Заря Дабат – сорт бурятской селекции (далее – бурятский экотип).

С целью расширения уровня вариации признака и установления достоверных различий внутри подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*, в исследования также были включены сортообразцы, не принадлежащие этому подвиду:

– КП-686 – сортообразец, полученный из Киргизии (*H. rhamnoides* ssp. *turkestanica*) (далее – киргизский экотип);

– Гибрид-1 – сортообразец европейского происхождения, с условным названием «Ютландская» (*H. rhamnoides* ssp. *fluviatilis*) (далее – ютландский экотип);

– Гибрид-2 – сортообразец европейского происхождения с условным названием «Дунайская» (*H. rhamnoides* ssp. *carpatica*) (далее – дунайский экотип).

Известно, что помимо генетических особенностей материала, значительное влияние на накопление биологически активных компонентов, в том числе и токоферолов, оказывают климатические условия года, а также в значительной степени период сбора плодов. В этой связи наши исследования проведены с повторностью в два года и в динамике – три срока сбора плодов.

Для исследований выбирали здоровые плоды в три срока (14 августа, 28 августа, 9 сентября в 2014 г. и 13 августа, 26 августа, 7 сентября в 2015 г.). Среднюю пробу отбирали с разных сторон одних и тех же опытных кустов. Анализы проведены в 3-кратной повторности.

Результаты обработаны методом математической статистики с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2007 по общепринятым формулам.

Обсуждение результатов

Установлено, что доминирующим токоферолом в плодовой мякоти облепихи является α -токоферол, содержание которого в среднем за два года исследований варьировало в изучаемых сортаобразцах от 2.1 (Гибрид-2) до 6.8 мг/100 г (Великан). В целом по всей изучаемой группе подвидов облепихи среднее значение содержания α -токоферола составило 3.5 ± 0.3 мг/100 г (табл. 1).

Коэффициент вариации этого показателя внутри подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* (36%) оказался выше, чем для трех других подвидов (21%) и на уровне его вариаций по всем исследуемым сортаобразцам в целом (36%). Это говорит о значительной вариабельности признака внутри изучаемого подвида, что дает основание для направленной селекции в этом направлении. В то же время, к сожалению, полученные результаты не дают предпосылок идентифицировать систематическую принадлежность подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* на основании данных по наличию α -токоферола в плодовой мякоти, как это было, в частности, показано нами ранее на примере данных по жирнокислотному составу [20].

Значительная вариабельность накопления α -токоферола еще в большей степени просматривается при анализе показателя отдельно по годам. Так, содержание α -токоферола в мякоти плодов облепихи в 2014 г. варьировало по сортаобразцам от 0.1 мг/100 г у сорта Елизавета в первый срок отбора проб, до 9.6 мг/100 г у сорта Великан во второй срок отбора проб, показав тем самым вариацию на уровне 58% (табл. 2). В среднем за три срока максимальное количество α -токоферола наблюдалось в мякоти плодов облепихи сорта Великан 9.0 мг/100 г, минимальное – у сорта Иня 2.1 мг/100 г. Нами не установлено устойчивой динамики в накоплении α -токоферола в плодах изучаемых сортаобразцов облепихи по мере созревания, как это было, например, сделано S.C. Andersson et al. [21]. Некоторые образцы показывали повышение показателя по мере созревания, некоторые – понижение, некоторые демонстрировали синусоидальный характер.

Анализируя результаты 2014 г. в отношении экотипов, можно отметить характерную особенность, связанную с относительно более высоким накоплением α -токоферола в гибридных экотипах – красноярско-саянском, саянско-катунском, саянско-чулышманском, а также бурятском экотипе и формах, не принадлежащих подвиду *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* – ютландском и киргизском.

Таблица 1. Содержание основных токоферолов в мякоти плодов облепихи, мг/100 г

Экотип	Сорт, гибрид	α -токо			β -токо			γ -токо			δ -токо		
		2014	2015	среднее	2014	2015	среднее	2014	2015	среднее	2014	2015	среднее
Бурятский	Заря Дабаг	3.1	4.3	3.7	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1
	Дар Катунский	2.6	4.3	3.5	0.4	0.5	0.5	0.8	0.5	0.6	0.1	0.1	0.1
Катунский	Новость Алтая	2.1	3.3	2.7	0.2	0.7	0.4	0.5	0.4	0.5	0.1	0.0	0.1
	42-68-2	3.4	5.6	4.5	0.7	1.8	1.2	0.3	0.7	0.5	0.4	0.2	0.3
Красноярско-саянский	Живко	3.1	3.7	3.4	1.6	0.3	0.9	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
	Елизавета	2.7	2.6	2.7	0.4	0.2	0.3	0.5	0.2	0.4	0.1	0.1	0.1
Мутанты	Иня	2.1	3.8	2.9	0.0	0.4	0.2	0.7	0.6	0.7	0.1	0.1	0.1
	Великан	9.0	4.6	6.8	1.1	0.2	0.6	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
Саянско-катунский	Янтарная	2.5	1.9	2.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	Любимая	6.5	4.1	5.3	0.7	0.2	0.5	0.7	0.3	0.5	0.1	0.1	0.1
Саянско-чулышманский	Чулышманка	3.4	3.5	3.4	0.4	0.1	0.3	0.8	0.4	0.6	0.1	0.0	0.1
	Чуйская	2.9	2.3	2.6	0.3	0.1	0.2	0.8	0.4	0.6	0.1	0.0	0.1
V, %		56	28	36	87	114	72	58	42	42	61	69	63
Дунайский	Гибрид-2	2.3	2.0	2.1	0.4	0.1	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
Киргизский	КП-686	4.1	2.5	3.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.3
Ютландский	Гибрид-1	4.5	1.5	3.0	0.2	0.1	0.1	1.1	0.3	0.7	0.0	0.1	0.1
V, %		32	27	21	45	77	48	71	36	49	79	69	67
$\bar{X} \pm m$		3.6	3.3	3.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1
± 0.5		± 0.5	± 0.3	± 0.3	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.0	± 0.1	± 0.0	± 0.0	± 0.0
min-max		2.1–	1.5–	2.1–	0.0–	0.1–	0.1–	0.1–	0.2–	0.2–	0.0–	0.0–	0.1–
V, %		9.0	5.6	6.8	1.6	1.8	1.2	1.1	0.7	0.7	0.4	0.4	0.4
НСР ₀₅		51	35	36	86	119	74	59	41	42	76	89	77
НСР ₀₅		$F_{\phi} < F_{05}$	2.2	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	0.3	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	0.1	0.1

Таблица 2. Содержание основных токоферолов в мякоти плодов облепихи по срокам созревания, мг/100 г

Экотип	Сорт, гибри- д	Сроки отбора проб	α -toco		β -toco		γ -toco		δ -toco	
			2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Бурятский	Заря Дабат	I	3.4	3.9	0.2	0.2	0.5	0.4	0.1	0.1
		II	3.7	5.9	0.6	0.4	0.0	0.4	0.1	0.0
		III	2.3	3.3	0.2	0.1	0.1	0.5	0.2	0.1
Катунский	Дар Катуня	I	3.7	6.6	0.2	0.5	0.6	0.4	0.2	0.2
		II	0.6	2.5	0.2	0.3	1.3	0.3	0.0	0.1
		III	3.5	3.9	0.7	0.8	0.5	0.7	0.1	0.0
	Новость Ал- тая	I	1.7	4.6	0.2	0.9	0.3	0.6	0.2	0.0
		II	2.3	3.4	0.1	0.8	0.7	0.4	0.0	0.0
		III	2.4	2.0	0.1	0.3	0.6	0.2	0.1	0.0
Красноярско- саянский	42-68-2	I	2.5	8.7	0.4	1.8	0.7	0.7	0.0	0.3
		II	5.7	3.3	1.0	1.6	0.0	1.1	0.8	0.1
		III	2.1	4.8	0.6	1.9	0.2	0.4	0.2	0.2
	Живко	I	2.4	4.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
		II	4.7	3.9	4.2	0.4	0.0	0.6	0.3	0.1
		III	2.2	3.2	0.4	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1
Мутанты	Елизавета	I	0.1	3.5	0.3	0.2	0.4	0.2	0.1	0.1
		II	3.7	1.8	0.4	0.2	0.6	0.2	0.1	0.1
		III	4.3	2.6	0.4	0.2	0.4	0.3	0.1	0.1
	Иня	I	2.0	3.2	0.0	0.1	0.8	0.9	0.2	0.1
		II	2.4	4.5	0.1	0.5	0.8	0.3	0.1	0.1
		III	1.8	3.7	0.1	0.4	0.6	0.6	0.1	0.1
Саянско-катун- ский	Великан	I	–	6.3	–	0.3	–	0.3	–	0.1
		II	9.6	2.5	0.7	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
		III	8.3	5.1	1.4	0.2	0.2	0.5	0.2	0.1
	Янтарная	I	–	1.3	–	0.1	–	0.2	–	0.0
		II	2.8	2.4	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.0
		III	2.3	2.0	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.3
Саянско- чулышманский	Любимая	I	7.3	4.9	0.5	0.1	2.1	0.4	0.2	0.1
		II	4.1	3.7	0.2	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1
		III	8.1	3.6	1.5	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0
	Чулыш- манка	I	5.0	3.0	0.3	0.1	1.4	0.3	0.0	0.0
		II	2.7	2.2	0.6	0.2	0.6	0.3	0.1	0.0
		III	2.5	5.2	0.4	0.1	0.5	0.7	0.1	0.0
Чуйский	Чуйская	I	3.4	3.6	0.4	0.2	0.8	0.3	0.1	0.0
		II	3.1	1.9	0.1	0.1	0.9	0.6	0.1	0.0
		III	2.1	1.5	0.5	0.1	0.6	0.3	0.0	0.1
V, %			61	43	146	116	89	59	109	97
Дунайский	Гибрид-2	I	–	2.3	–	0.1	–	0.1	–	0.4
		II	–	2.6	–	0.1	–	0.4	–	0.3
		III	2.3	1.0	0.4	0.1	0.4	0.2	0.3	0.4
Киргизский	КП-686	I	–	2.2	–	0.1	–	0.8	–	0.2
		II	3.4	2.9	0.1	0.8	0.7	0.1	0.0	0.2
		III	4.8	2.4	0.7	0.1	0.0	0.4	0.8	0.2
Ютландский	Гибрид-1	I	–	1.5	–	0.1	–	0.6	–	0.0
		II	5.7	2.1	0.3	0.2	1.7	0.2	0.0	0.1
		III	3.4	0.8	0.0	0.1	0.5	0.2	0.0	0.1
V, %			34	37	90	132	99	71	138	62
$\bar{X} \pm m$			3.5±0.3	3.3±0.2	0.5±0.1	0.4±0.1	0.5±0.1	0.4±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0
min-max			0.1-9.6	0.8-8.7	0.0-4.2	0.1-1.9	0.0-2.1	0.1-1.1	0.0-0.8	0.0-0.4
V, %			58	48	145	123	90	61	123	99
НСР ₀₅			Fф<F ₀₅	2.2	Fф<F ₀₅	0.3	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅

В 2015 г. накопление α -токоферола в мякоти плодов облепихи в среднем по сортообразцам (3.3±0.2 мг/100 г) было ниже по сравнению с 2014 г. и варьировало в более узком диапазоне от 1.5 (Гибрид-1) до 5.6 мг/100 г (42-68-2). Коэффициент вариации содержания α -токоферола составил 28% внутри подвида *H. rhammoides* ssp. *mongolica*, 27% – для трех других подвигов и 35% в целом по всем исследуемым сортообразцам. Несмотря на более низкое среднее содержание α -токоферола в 2015 г., семь из пятнадцати сорто-

образцов показали накопление этого компонента, что в итоге не дает нам возможности выявить определенные закономерности его образования и, в частности, утверждать о заметном влиянии погодных условий на накопление α -токоферола в плодовой мякоти облепихи. Как и в 2014 г., в 2015 не выявлено закономерной динамики в накоплении α -токоферола в зависимости от степени зрелости плодов.

β -, γ - и δ -токоферолы в нашем исследовании явились минорными компонентами всего комплекса токоферолов, что полностью согласуется с имеющимися литературными данными [4–7, 22]. Так, в среднем за два года в плодовой мякоти облепихи содержание β -токоферола установлено на уровне 0.4 ± 0.1 мг/100 г, γ -токоферола – 0.4 ± 0.1 мг/100 г и δ -токоферола – 0.1 ± 0.0 мг/100 г. При этом в ряде случаев δ -токоферол идентифицировали в следовых количествах. Особенно заметно это проявилось в 2015 г. на сортах Новость Алтая, Янтарная, Чуйская, Чулышманка, входящих в подвид *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*, когда δ -токоферол проявлялся лишь к последнему сроку отбора проб.

Содержание β -токоферола в среднем за два года варьировало в значительной степени от 0.1 мг/100 г у сорта Янтарная до 1.2 мг/100 г у сортообразца 42-68-2, с коэффициентом вариации внутри подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* 72%, между тремя другими подвидами – 48% и между всей совокупностью изучаемых сортообразцов – 74%. Как и в случае с α -токоферолом, такой разброс показателей не позволяет рассматривать этот критерий как маркерный при идентификации видов и подвидов.

По аналогии с α -токоферолом, в 2015 г. среднее значение содержания β -токоферола в плодах облепихи всей совокупности изучаемых сортообразцов (0.4 ± 0.1 мг/100 г) были ниже по сравнению с 2014 г. (0.5 ± 0.1 мг/100 г), однако, как и в первом случае, несколько форм (4 из 15) продемонстрировали большее содержание (табл. 1).

В 2014 г. содержание β -токоферола варьировало от 0.0 мг/100 г у сорта Иня до 1.6 мг/100 г у сорта Живко. В 2015 г. – от 0.1 (Гибрид-2) до 1.8 мг/100 г (42-68-2).

За два года исследований нами не выявлено закономерностей в динамике накопления β -токоферола в зависимости от сроков созревания (табл. 2).

В отношении экотипов с низким содержанием β -токоферола характеризовались сорта, принадлежащие группе мутантов, а также бурятский и чуйский экотипы. Наиболее высокое содержание этого токоферола отмечено у красноярско-салянского экотипа. При этом отличительной особенностью сортообразцов, представленных этим экотипом, является их ярко-красная окраска плодов. В качестве гипотезы можно предположить имеющуюся корреляционную зависимость между накоплением β -токоферола в плодах и наличием у них красной окраски.

Содержание γ -токоферола в мякоти плодов облепихи за два года исследования варьировало от 0.2 (Живко) до 0.7 мг/100 г (Гибрид-1), со средним значением 0.4 ± 0.1 мг/100 г (табл. 1). Значительный уровень вариации по этому признаку отмечен внутри подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*, между тремя другими подвидами, а также по всей совокупности изучаемых сортообразцов в целом (коэффициент вариации 42; 49; 42% соответственно). При этом коэффициент вариации содержания γ -токоферола в мякоти плодов облепихи существенно ниже, чем таковой для β -токоферола у всех сортообразцов. Однако полученные результаты не дают оснований для выводов о возможности использования γ -токоферола в качестве идентификатора видовой принадлежности, так как коэффициент вариации по данному признаку внутри подвида больше, чем по всей совокупности сортообразцов.

Содержание γ -токоферола в мякоти плодов облепихи в 2014 г. изменялось по сортообразцам от 0.1 (Живко) до 1.1 мг/100 г (Гибрид-1). Высоким содержанием γ -токоферола в 2014 г. отличались сортообразцы Дар Катуня, Иня, Любимая, Чулышманка, Чуйская, у которых содержание этого компонента превышало среднее значение 0.5 ± 0.1 мг/100 г (табл. 1).

В 2015 г. минимальное содержание γ -токоферола отмечено у сорта Янтарная – 0.2 мг/100 г, максимальное – у сортообразца 42-68-2 0.7 мг/100 г.

Несмотря на общую тенденцию снижения количественного содержания γ -токоферола в 2015 г. по сравнению с 2014 г., четыре сортообразца продемонстрировали повышение данного показателя.

Катунский, чуйский и саянско-чулышманский экотипы на общем фоне показали более высокое накопление γ -токоферола в среднем за два года исследований.

Как уже отмечалось ранее, наименее значимым токоферолом в изучаемых образцах облепихи явился δ -токоферол. Уровень его накопления варьировал в среднем за два года исследований от 0.1 до 0.4 мг/100 г при среднем значении 0.1 ± 0.0 мг/100 г (табл. 1). Отмечен более низкий уровень вариации содержания этого

токоферола между экотипами подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* по сравнению со всей выборкой. Отмечено, что два сортообразца, а именно Гибрид-2 и КП-686, относящиеся, соответственно, к подвидам *H. rhamnoides* ssp. *carpatica* и *H. rhamnoides* ssp. *turkestanica* (дунайскому и киргизскому экотипу), по содержанию δ -токоферола существенно превышали большинство сортообразцов из подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* (НСР₀₅ – 0.1 мг/100 г). Это говорит о возможности предварительной идентификации некоторых генотипов по содержанию этого компонента.

Как и по всем другим токоферолам, накопление δ -токоферола в плодовой мякоти облепихи в 2015 г. оказалось на более низком уровне по сравнению с 2014 г. При этом лишь два сортообразца (Гибрид-2 и Гибрид-1) в 2015 г. показали значения, немного превышающие уровень 2014 г. В этой связи уже можно говорить об определенном влиянии погодных условий на процессы накопления этого токоферола.

Внутри подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* лишь красноярско-саянский экотип показал более высокий уровень накопления δ -токоферола, в то время как остальные экотипы оказались на уровне ниже средних значений.

Таким образом, несмотря на незначительный уровень накопления δ -токоферола в плодах облепихи, он может иметь определенное значение для идентификации генотипов, что чрезвычайно важно в исследовательской работе.

Заключение

Доминирующим токоферолом в плодовой мякоти облепихи всех изученных подвигов является α -токоферол. β -, γ - и δ -токоферолы накапливаются в незначительных количествах, при этом в ряде случаев δ -токоферол идентифицировали лишь в следовых количествах. Группы α -, β -, и γ -токоферолов не могут являться маркерными признаками при предварительной идентификации подвигов и экотипов внутри подвида *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*, в то время как накопление δ -токоферола в подвидах *H. rhamnoides* ssp. *carpatica* и *H. rhamnoides* ssp. *turkestanica* отмечено на достоверно более высоком уровне.

Погодные условия не оказывают существенного влияния на накопление α -, β -, и γ -токоферолов, и в значительной степени влияют на накопление δ -токоферола.

Не установлено закономерной динамики накопления токоферолов в плодовой мякоти облепихи в процессе созревания.

Список литературы

1. Большая медицинская энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <http://бмэ.орг/index.php/ТОКОФЕРОЛЫ/>
2. Eccleston C., Baoru Y., Tahvonon R., Kallio H., Rimbach G.H., Minihane A.M. Effects of an antioxidant-rich juice (sea buckthorn) on risk factors for coronary heart disease in humans // Journal of nutritional biochemistry. 2002. Vol. 13. Pp. 346–354.
3. Kumar R., Kumar Phani G., Chaurasia O.P., Singh S.B. Phytochemical and Pharmacological Profile of Seabuckhorn Oil: A Review // Research Journal of Medicinal Plant. 2011. Vol. 5 (5). Pp. 491–499.
4. Kallio H., Yang B., Tahvonon R., Pan R. Triacylglycerols, glycerphospholipids, tocopherols, and tocotrienols in berries and seeds of two subspecies (ssp. *sinensis* and *mongolica*) of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) // J. Agric Food Chem. 2002a. Vol. 50 (10). Pp. 3004–3009.
5. Kallio H., Yang B., Peippo P. Triacylglycerols, glycerphospholipids, tocopherols, and tocotrienols in berries and seeds of two subspecies (ssp. *sinensis* and *mongolica*) of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) // J. Agric Food Chem. 2002b. Vol. 50 (21). Pp. 6136–6142.
6. Zadernowski R., Naczek M., Amarowicz R. Tocopherols in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berry oil // JAOCS. 2003. Vol. 80 (1). Pp. 55–58.
7. Otgonbayar Ch., Matthaus B., Odonmajig P. Fatty acids, Tocopherol and Sterol Composition in Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) of Mongolia // Mongolian Journal of Chemistry. 2011. Vol. 12 (38). Pp. 126–130.
8. Жмырко Т.Г., Гиgienова Э.И., Умаров А.У. Витамины масел плодов *Hippophae rhamnoides* // Химия природных соединений. 1978. №3. С. 313–317.
9. Бондарь В.В., Гачечиладзе Н.Д., Халиулина Ф., Глазунова Е.М. Токоферолы масла мякоти плодов облепихи, произрастающей на Западном Памире // Биологические аспекты интродукции, селекции и агротехники облепихи. Горький, 1985. С. 129–131.
10. Гачечиладзе Н.Д. Химическое изучение облепихи *Hippophae rhamnoides* L., произрастающей на Западном Памире: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Душанбе, 1984. 23 с.
11. Рахимов И.Ф. Биохимический состав и фармакологические свойства масел облепихи и каперсов колючих, произрастающих в Таджикистане: дис. ... док. мед. наук. Душанбе, 2006. 251 с.

12. Лоскутова Г.А. Химический состав плодов облепихи культурных сортов и создание безотходной технологии ее переработки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1988. 21 с.
13. Ободовская Д.А. Облепиха как сырье для витаминной промышленности (Алтайский край). М., 1957. 27 с.
14. Шугам Н.А. Изучение биологически активных веществ облепихи: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1969. 25 с.
15. Мамедов С.Ш. Биологические особенности и фитохимическое исследование облепихи крушиновидной Малого Кавказа (в пределах Азербайджанской ССР): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Баку, 1983. 25 с.
16. Муравьев И.А., Лагазидзе Д.С., Бостогановили В.С. Физико-химические свойства жирных масел мякоти плодов и семян облепихи, произрастающей в Грузии // Биологические аспекты интродукции, селекции и агротехники облепихи. Горький, 1985. С. 132–135.
17. Трибунская А.Я., Вигоров Л.И., Степанова И.П. Новые данные по биологически активным веществам плодов и масла облепихи // Облепиха в культуре. 1970. №1. С. 60–65.
18. Ершова И.В. Селекция плодовых и ягодных культур на улучшение биохимического состава плодов // Проблемы устойчивого развития садоводства Сибири. Барнаул, 2003. С. 216–221.
19. Гуленкова Г.С. Особенности биохимического состава плодов облепихи // Вестник КрасГАУ. 2013. №11. С. 262–265.
20. Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Морсель Дж.Т., Земцова А.Я. Состав основных жирных кислот плодовой мякоти и семян сортообразцов облепихи различного экологического происхождения // Сборник научных статей международной конференции «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования». Барнаул, 2015. С. 1588–1594.
21. Andersson S.C., Rumpunen K., Johansson E., Olsson M.E. Tocopherols and Tocotrienols in Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Berries During Ripening // J. Agric. Food Chem. 2008. Vol. 56 (15). Pp. 6701–6706.
22. Ranjith A., Kumar Sarin K., Venugopalan V.V., Arumughan C., Sawhney R.C., Singh V. Fatty Acids, Tocols, and Carotenoids in Pulp Oil of Three Sea Buckthorn Species (*Hippophae rhamnoides*, *H. salicifolia*, and *H. tibetana*) Grown in the Indian Himalayas // JAOCS. 2006. Vol. 83 (4). Pp. 359–364.

Поступила в редакцию 5 июля 2018 г.

После переработки 19 сентября 2018 г.

Принята к публикации 10 октября 2018 г.

Для цитирования: Земцова А.Я., Зубарев Ю.А., Гунин А.В. Токоферолы плодовой мякоти четырех подвидов облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.) в условиях лесостепи Алтайского края // Химия растительного сырья. 2019. №1. С. 147–155. DOI: 10.14258/jcprm.2019014256.

Zemtsova A.Y.*, Zubarev Yu.A., Gunin A.V. TOCOPHEROLS OF FRUIT PULP OF FOUR SEABUCKTHORN (*HIPPOPHAE RHAMNOIDES* L.) SUBSPECIES IN FOREST-STEPPE CONDITIONS OF ALTAI TERRITORY

Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, Zmeinogorskii Tract, 49, Barnaul, 656045 (Russia),
e-mail: anna-krysova@mail.ru

The aim of the study was to study tocopherols in the fruits of various sea buckthorn ecotypes ssp. *mongolica* in comparison with other subspecies. The composition of tocopherols in fruit pulp of four subspecies of sea buckthorn – *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*, ssp. *turkestanica*, ssp. *fluviatilis* and ssp. *carpatica*, growing at Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia in forest-steppe conditions of Altai territory has been studied. The research has been focused on the most promising subspecies from the point of view of industrial utilization – *H. rhamnoides* ssp. *mongolica*, in order to identify possible variation in accumulation of different tocopherols in fruit pulp depending on ecotype, period of collection of fruits as well as conditions of the year.

It was established that the major tocopherol in the pulp of the fruit of sea buckthorn is α -tocopherol. β -, γ - and δ -tocopherols were characterized by low content. Within subspecies *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* most fractions of tocopherols (except δ -tocopherol) have relatively high coefficient of variation, which exceeds of that for the whole group of evaluated varieties. That result does not allow us to use this criteria as a reliable background for preliminary systematic identification of evaluated varieties.

Keywords: sea buckthorn, fruit pulp, tocopherols, subspecies, ecotypes.

* Corresponding author.

References

1. *Bol'shaya meditsinskaya entsiklopediya* [Big medical encyclopedia] [Electronic resource]. URL: <http://бмэ.орг/index.php/ТОКОФЕРОЛЫ/> (in Russ.).
2. Eccleston C., Baoru Y., Tahvonen R., Kallio H., Rimbach G.H., Minihane A.M. *Journal of nutritional biochemistry*, 2002, vol. 13, pp. 346–354.
3. Kumar R., Kumar Phani G., Chaurasia O.P., Singh S.B. *Research Journal of Medicinal Plant*, 2011, vol. 5 (5), pp. 491–499.
4. Kallio H., Yang B., Tahvonen R., Pan R. *J. Agric Food Chem.*, 2002a, vol. 50 (10), pp. 3004–3009.
5. Kallio H., Yang B., Peippo P. *J. Agric Food Chem.*, 2002b, vol. 50 (21), pp. 6136–6142.
6. Zadernowski R., Nacz M., Amarowicz R. *JAOCS*, 2003, vol. 80 (1), pp. 55–58.
7. Otgonbayar Ch., Matthaus B., Odonmajig P. *Mongolian Journal of Chemistry*, 2011, vol. 12 (38), pp. 126–130.
8. Zhmyrko T.G., Gigenyova E.I., Umarov A.U. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1978, no. 3, pp. 313–317. (in Russ.).
9. Bondar' V.V., Gachechiladze N.D., Khaliulina F., Glazunova Ye.M. *Biologicheskiye aspekty introduktsii, selektsii i agrotekhniki oblepikhi*. [Biological aspects of the introduction, selection and agricultural practices of sea-buckthorn]. Gor'kiy, 1985, pp. 129–131. (in Russ.).
10. Gachechiladze N.D. *Khimicheskoye izucheniyе oblepikhi Hippophae rhamnoides L., proizrastayushchey na Zapadnom Pamire: avtoref. dis. ... kand. khim. nauk*. [Chemical study of sea buckthorn *Hippophae rhamnoides L.*, growing in the Western Pamirs: Author. dis. ... Cand. chemical sciences]. Dushanbe, 1984, 23 p. (in Russ.).
11. Rakhimov I.F. *Biokhimicheskiy sostav i farmakologicheskiye svoystva masel oblepikhi i kapersov kolyuchikh, proizrastayushchikh v Tadzhikistane: dis. ... dok. med. nauk*. [Biochemical composition and pharmacological properties of sea buckthorn oils and prickly capers growing in Tajikistan: dis. ... doctors of medical sciences]. Dushanbe, 2006, 251 p. (in Russ.).
12. Loskutova G.A. *Khimicheskiy sostav plodov oblepikhi kul'turnykh sortov i sozdaniye bezotkhodnoy tekhnologii yeye pererabotki: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk*. [The chemical composition of the fruit of sea buckthorn cultivated varieties and the creation of non-waste technology for its processing: author. dis. ... Cand. tech. sciences]. Moscow, 1988, 21 p. (in Russ.).
13. Obodovskaya D.A. *Oblepikha kak syr'ye dlya vitaminnoy promyshlennosti (Altayskiy kray)*. [Sea buckthorn as a raw material for the vitamin industry (Altai Territory)]. Moscow, 1957, 27 p. (in Russ.).
14. Shugam N.A. *Izucheniyе biologicheskii aktivnykh veshchestv oblepikhi: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk*. [The study of biologically active substances of sea buckthorn: author. dis. ... Cand. biol. sciences]. Moscow, 1969, 25 p. (in Russ.).
15. Mamedov S.Sh. *Biologicheskiye osobennosti i fitokhimicheskoye issledovaniye oblepikhi krushinovidnoy Malogo Kavkaza (v predelakh Azerbaydzhanskoй SSR): avtoref. dis. ... kand. biol. nauk*. [Biological features and phytochemical study of the sea buckthorn of the Lesser Caucasus (within the Azerbaijan SSR): author. dis. ... Cand. biol. sciences]. Baku, 1983, 25 p. (in Russ.).
16. Murav'yev I.A., Lagazidze D.S., Bostoganoshvili V.S. *Biologicheskiye aspekty introduktsii, selektsii i agrotekhniki oblepikhi*. [Biological aspects of the introduction, selection and agrotechnology of sea buckthorn]. Gor'kiy, 1985, pp. 132–135. (in Russ.).
17. Tribunskaya A.Ya., Vigorov L.I., Stepanova I.P. *Oblepikha v kul'ture*, 1970, no. 1, pp. 60–65. (in Russ.).
18. Yershova I.V. *Problemy ustoychivogo razvitiya sadovodstva Sibiri*. [Problems of sustainable development of gardening in Siberia]. Barnaul, 2003, pp. 216–221. (in Russ.).
19. Gulenkova G.S. *Vestnik KrasGAU*, 2013, no. 11, pp. 262–265. (in Russ.).
20. Zubarev Yu.A., Gunin A.V., Morsel' Dzh.T., Zemtsova A.Ya. *Sbornik nauchnykh statey mezhdunarodnoy konferentsii «Lomonosovskie chteniya na Altaye: fundamental'nyye problemy nauki i obrazovaniya»*. [Collection of scientific articles of the international conference "Lomonosov readings in Altai: fundamental problems of science and education"]. Barnaul, 2015, pp. 1588–1594. (in Russ.).
21. Andersson S.C., Rumpunen K., Johansson E., Olsson M.E. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, vol. 56 (15), pp. 6701–6706.
22. Ranjith A., Kumar Sarin K., Venugopalan V.V., Arumughan C., Sawhney R.C., Singh V. *JAOCS*, 2006, vol. 83 (4), pp. 359–364.

Received July 5, 2018

Revised September 19, 2018

Accepted October 10, 2018

