

КАРОТИНОИДЫ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМАХ

Л.П. Нилова¹, И.Ю. Потороко²

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

² Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Каротиноиды пищевых продуктов растительного происхождения – растительные пигменты, обладающие биологической активностью и антиоксидантными свойствами, биодоступность которых зависит от механической и термической обработки и присутствия жиров. Из 40 каротиноидов, поступающих с пищей, главными являются каротины – β- и α-каротины, ликопин и ксантофиллы – лютеин, зеаксантин, β-криптоксантин. В статье представлены данные о содержании различных каротиноидов в свежих овощах, плодах и ягодах, опубликованные за последние годы. Свежие овощи содержат каротиноидов больше, чем плоды и ягоды, но обладают низкой биодоступностью. Основными источниками каротиноидов среди овощей являются морковь, плодовые и салатно-шпинатные овощи. Морковь является источником каротинов (β- и α-каротин до 58,4 и 40,4 %, соответственно) с максимальным количеством в оранжевой моркови. Среди плодовых овощей томаты являются источником ликопина (86 %), тыква – β-каротина (50–80 %), сладкий и острый красные перцы – капсантина (70 %) и капсорубина (10 %), оранжевые перцы – зеаксантина (85 %). Методами генной инженерии созданы сорта томатов, содержащих ликопин преимущественно в транс-форме (96 %), а также с повышенным содержанием зеаксантина (50 %). Среди салатно-шпинатных овощей каротиноиды преобладают в шпинате, руколе и кресс-салате преимущественно в виде ксантофиллов. В большинстве плодов и ягод преобладает β-каротин независимо от их окраски, который может маскироваться антоцианами (боярышник, рябина, вишня, шиповник, черника) или хлорофиллом (зеленые яблоки). Наибольшее количество каротиноидов содержат облепиха, шиповник, морощка. Они могут служить источником β-каротина, а также ликопина (облепиха, шиповник), рубликсантина (шиповник).

Ключевые слова: каротиноиды, биологическая активность, антиоксидантные свойства, плоды и овощи, пищевые продукты растительного происхождения.

Введение

Каротиноиды – группа биологически активных соединений, которая всегда привлекала внимание как диетологов за счет их пользы для здоровья и безопасного источника природного витамина А, который образуется при ферментативном метаболизме, так и работников пищевой промышленности – для формирования оптимальных цветовых характеристик и пищевой ценности пищевых продуктов.

Химическая природа каротиноидов определяет их множественные свойства: так, наличие системы сопряженных двойных связей обуславливает их окраску, количество двойных связей – антиоксидантную активность, наличие ионовых колец – провитаминные свойства [1–3]. В природе обнаружено около 750 каротиноидов, в большей степени они имеют растительную природу, но также содержатся в рыбе и морепродуктах (астаксантин) и водорослях (фукоксантин) [1, 4, 5]. В организм человека вместе с пищевыми про-

дуктами поступает только 40 каротиноидов, из них 10 % проявляют А-витаминную активность [1, 6–8].

Знание природы, химических свойств каротиноидов, присутствие и устойчивость в сложных пищевых системах позволит правильно регулировать технологические процессы с целью сохранения биоактивности.

Целью данного исследования стал аналитический обзор данных, опубликованных международным научным сообществом в последние десятилетия в области исследований каротиноидов как биологически активных соединений в составе пищевых систем.

В качестве основных информационных модулей, наиболее значимых для формирования пищевых систем нового формата, были определены польза для здоровья (биологическая активность, провитаминные и антиоксидантные свойства), природные источники, факторы, влияющие на содержание каротиноидов в пищевых продуктах растительного происхождения.

Химическая природа каротиноидов

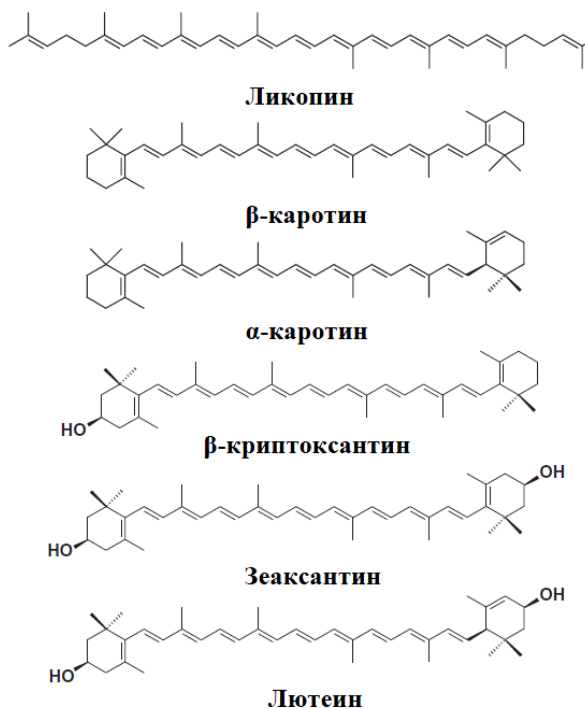
Каротиноиды представляют собой соединения, содержащие 40 углеродных атомов, построенных из 8 изопреновых фрагментов и образующих полипреноидную цепь с сопряженной системой двойных связей. Эта цепь может циклизироваться на концах, образуя несколько типов иононовых колец [1, 2, 5]. Длина цепи оказывает влияние на окраску каротиноидов (от желтого и оранжевого до глубокого красного), а наличие иононовых колец – на витаминную активность. При наличии в структуре каротиноидов 9 и более сопряженных связей они проявляют максимальное защитное действие от синглетного кислорода 1O_2 .

Каротиноиды делят на каротины, состоящие из атомов углерода и водорода, и ксантофиллы, имеющие в своем составе дополнительно атомы кислорода в виде гидроксигрупп, метокси-, эпокси- или кетогрупп.

Представители каротинов обычно оранжевого цвета (α - и β -каротины), ликопин – ярко-красный. Более разнообразны по цвету ксантофиллы: астаксантин – ярко-алый, капсантин – темно-красный, лютеин, зеаксантин и виолаксантин – желтые. При включении в цепь сопряжения кето-групп, например, при окислении зеаксантина до капсантина и капсорубина в перцах (*Capsicum annuum*) происходит замена оранжевой окраски на красную [7, 9]. Довольно часто оранжевая окраска каротиноидов маскируется другими пигментами, например хлорофиллом или антоцианами. Это наблюдается в листовых овощах, зеленых плодах, сине-окрашенных ягодах и др. [10–13].

Из 40 каротиноидов, поступающих с пищей, основными являются три каротина (α - и β -каротин, ликопин) и три ксантофилла (β -криптоксантин, зеаксантин и лютеин) [1, 2, 5], имеющие типичное строение для соответствующей группы каротиноидов (см. рисунок).

В растительных объектах каротиноиды представлены в транс-, транс-цис- и цис-формах, а также этерифицированы жирными кислотами. Более стабильной и энергетически выгодной считается транс-форма, но теоретически цис-транс-изомеризация может происходить по каждой двойной связи, что частично или полностью происходит при приготовлении пищи. Цис-изомеры обладают большей биологической активностью, более легко встраиваясь в биомембраны и липопротеины, чем транс-изомеры [1, 2, 6, 8].



Химическая структура каротиноидов, наиболее часто встречающихся в свежих плодах и овощах и пищевых продуктах с их использованием

А-витаминные свойства. Каротиноиды являются безопасным и единственным источником природного витамина А, который образуется при ферментативном метаболизме каротиноидов в организме человека и животных. Однако не все каротиноиды обладают А-витаминной активностью. Из 40 каротиноидов, регулярно потребляемых человеком вместе с пищевыми продуктами, только некоторые из них (10 %) с β -кольцом без кислородсодержащих функциональных групп и полиеновой цепью не менее 11 атомов углерода, проявляют А-витаминные свойства [14]. К ним относятся транс- и транс-цис-изомеры α -, β -, γ -каротинов и β -криптоксантина (табл. 1) [3, 14]. Среди них β -каротин является наиболее мощным каротиноидом провитамина А, у которого каждая молекула расщепляется на два ретинола витамина А [2, 5].

Биоконверсия β -каротина в витамин А происходит путем окислительного метаболизма молекулы по центральной 15–15 π -связи под влиянием фермента β -каротин-15-15 диоксигеназы. В растениях этого фермента нет, поэтому растительные объекты витамина А не содержат. Из 1 молекулы β -каротина образуется 2 молекулы витамина А, а из α - и γ -каротинов – только одна. 6 мкг β -каротина

Пищевые ингредиенты, сырье и материалы

эквивалентны 1 мкг витамина А. Ликопин и δ -каротин витаминной активностью не обладают [2, 3, 5, 14].

Таблица 1
Каротиноиды с активностью провитамина А
[3, 14]

Каротиноиды (изомеры)	Активность провитамина А, %
Транс- β -каротин	100
9-цис- β -каротин	38
13-цис- β -каротин	53
Транс- α -каротин	53
9-цис- α -каротин	13
13-цис- α -каротин	16
Транс- β -криптоксантин	57
9-цис- β -криптоксантин	27
15-цис- β -криптоксантин	42
β -Carotene-5,6-эпоксид	21
γ -каротин	42–50

Каротиноиды сами нетоксичны, а образование из них витамина А энзиматически лимитировано. Поэтому при потреблении пищевых продуктов, содержащих каротиноиды, передозировки витамина А не происходит и верхний допустимый уровень потребления не установлен. Среднее потребление β -каротина в разных странах колеблется в пределах 1,8–5,0 мг/сутки. Для населения России установлена физиологическая потребность β -каротина для взрослых, которая составляет 5 мг/сутки (МР 2.3.1.2432-08).

Антиоксидантные свойства

Количество сопряженных двойных связей полиеновой цепи в структуре каротиноидов за счет обобщения π -электронов обуславливает их роль липофильных антиоксидантов. Каротиноид может взаимодействовать со свободными радикалами, передавая электроны, с образованием аддукта или отдавая водород с образованием относительно стабильных каротиноидных радикалов. С увеличением окислительного потенциала каротиноидов их антиоксидантная активность возрастает [1, 8, 15, 16].

Каротиноиды являются наиболее эффективной «ловушкой» синглетного кислорода $^1\text{O}_2$, переводя его в нормальное триплетное состояние, при этом рассеивая избыток энергии возбуждения. Каротиноиды принимают энергию возбуждения «триплетного» хлорофилла или реагируют непосредственно с $^1\text{O}_2$. Каждая молекула β -каротина способна разрушить до 300 молекул синглетного кислоро-

да. По сравнению с витамином Е каротиноиды улавливают $^1\text{O}_2$ более активно: β -каротин в 25 раз, ликопин в 100 раз, астаксантин в 500 раз. Наибольшее защитное действие от УФ-излучения за счет кетогруппы с обоих концов системы сопряженных двойных связей проявляет астаксантин. Его требуется в 100 раз меньше, чем β -каротина и в 1000 раз меньше, чем лютеина. Совместное присутствие ликопина, лютеина и β -каротина способно подавлять 40–50 % индуцированное УФ перекисное окисление липидов, но максимальную активность проявляет ликопин. На моделях *in vitro* установлен ряд антиоксидантной активности каротиноидов: ликопин > α -токоферол > α -каротин > β -криптоксантин > зеаксантин > β -каротин > лютеин. Цис-изомеры каротиноидов обладают большей антиоксидантной активностью, чем их транс-изомеры [1, 6, 15].

Обнаружен синергизм антиоксидантного действия каротиноидов с другими жирорастворимыми антиоксидантами – α -токоферолом и коэнзимом Q_{10} . Каротиноиды защищают токоферолы от окисления, в первую очередь, синглетным кислородом, а токоферолы улавливают пероксильные радикалы каротиноидов, способные инициировать развитие цепей свободно радикального окисления. Синергизм β -каротина с α -токоферолом проявляется лишь при соотношении 1:4, а для более ненасыщенного астаксантина с α -токоферолом в соотношении 1:12. Увеличение концентрации каротиноидов приводит к антагонизму. Включение в систему фосфолипидов увеличивает эффективность антиоксидантного действия даже при высоких концентрациях каротиноидов [1, 6, 8].

Биодоступность

Каротиноиды обладают многими биологическими свойствами, и их высвобождение из пищевой матрицы наиболее важно для усвоения человеком. Усвояемость каротиноидов зависит от пищевых источников. Из свежего (необработанного) растительного сырья в 3 раза большей биодоступностью обладают фрукты и ягоды, чем овощи. Причем биодоступность β -каротина сырой моркови составляет 17–25 %, а шпината – 5–10 %, так как в последнем он находится в связанном состоянии с хлоропластами [1, 17, 18]. Биодоступность каротиноидов оценивается в в следующем порядке: желтый перец > морковь > сладкий картофель > соцветия брокколи. Повышает биодоступность каротиноидов в растительном сы-

рье или пищевом рационе присутствие жиров в среднем в 2 раза, термическая и механическая обработка – в 3 раза [19–22].

Измельчение растительного сырья приводит к разрыву клеточных стенок, и с уменьшением размера частиц, например, моркови скорость высвобождения каротиноидов увеличивается [19]. Добавление липидов значительно улучшает биодоступность каротиноидов как из свежих, так и из сушеных овощей [17]. Так, при использовании наноэмульсий из пасты шпината и кукурузного масла биодоступность каротиноидов шпината увеличивается от 3,1 до 19,2 %, возрастая с увеличением в наноэмульсиях количества масла, что объясняют более высокой эффективностью переноса каротиноидов от шпината к каплям жира и смешанным мицеллам в повышении содержания липидов [21]. Эмульсия, приготовленная из вареных томатов и оливкового масла, повышала биодоступность каротиноидов на 10 % по сравнению с эмульсией без термической обработки томатов, а эмульсия из термически обработанных томатов вместе с оливковым маслом – на 23,4 %. Такой эффект объясняют способностью нагретого оливкового масла образовывать смешанные мицеллы в тонком кишечнике, который растворяет каротиноиды; и способностью природных антиоксидантов (фенолов) оливкового масла защищать каротиноиды от окисления [21].

Использование ферментации для разрушения клеточной структуры томатов и усиленное образование смешанных мицелл повысило биодоступность ликопина в томатном соке, увеличиваясь в следующем порядке: неферментированный (8,5 %) < ферментированный (11,4 %) < неферментированный-эмульгированный (13,6 %) < ферментированный-эмульгированный (22,7 %) [20].

С другой стороны, импульсные электрические поля и нагрев не привели к изменению биодоступности β -каротина и ликопина томатов, а при комбинировании импульсных электрических полей и нагревающего и импульсного электрических полей биодоступность β -каротина и ликопина в хромопластах только уменьшалась. Снижение биодоступности каротиноидов связывали с модификацией мембран хромопластов и каротиноид-белковых комплексов. Различия во влиянии импульсных электрических полей на биодоступность разных фракций томатов были связаны со сложностью структуры томата [22].

Природные каротиноиды (каротины и ксантофиллы). Растительные источники

Свежие овощи. Основными источниками природных каротиноидов в питании человека являются свежие овощи. Их количество варьирует в широких пределах в зависимости от вида овощей и ботанических сортов. Важными источниками каротиноидов являются: томаты (ликопин), морковь (β -каротин), тыква (β -каротин и лютеин). В табл. 2 представлено содержание основных шести каротиноидов в некоторых овощах.

Морковь является основным источником провитамина А и накапливает высокие уровни β - и α -каротина. При общем содержании каротиноидов 268,64 мг/100 г СВ, количество β -каротина составляет 156,91; α -каротин – 108,53 мг/100 г СВ или 58,4 и 40,4 %, соответственно [32]. В зависимости от окраски моркови содержание каротиноидов изменяется и может составлять, мг/кг СВ: желтая – 2–6; оранжевая – 98; темно-оранжевая – 160; красная – 73; фиолетово-желтая – 92; фиолетово-оранжевая – 40. Существуют желтые и красные разновидности, которые богаты лютеином и ликопином соответственно [24, 33].

В спелых плодах красных томатов в основном накапливается ликопин (около 85 %), хотя различные коммерческие сорта демонстрируют различную окраску и каротиноидные профили [25, 26, 34, 35]. Сумма каротиноидов может колебаться от 24,07 и 261,86 мкг/г СВ, что было установлено при исследовании 20 сортов томатов. В составе каротиноидов преобладал ликопин (всего транс- и цис-изомеров) в диапазоне от 9,61 до 227,11 мкг/г СВ, а количество β -каротина и лютеина составляло, мкг/100 г СВ: 6,89–110,40 2,85–9,23, соответственно [25]. Влияние степени зрелости и окраски томатов на содержание ликопина демонстрируют исследования корейских ученых, которые установили в томатах черри (Sugar Cherry, Sugar Red) в оптимальной зрелости содержание ликопина 64,4 и 76,7 мг/100 г. В то же время в зеленых томатах ликопин отсутствовал [26].

Ликопин неравномерно распределяется в плодах томатов, преобладая в кожице, чем в других тканях томатов, особенно в стадии полного созревания. На стадии спелости содержание ликопина в томатах составляло, мкг/100 г: в кожице 2644–7020; в мякоти – 1843 и 3302; в семенах – 597–1695. Содержание ликопина в кожице было выше, чем в мя-

Пищевые ингредиенты, сырье и материалы

Таблица 2

Содержание основных каротиноидов в некоторых овощах, мг/100 г [1–5, 9, 12, 17, 22–32, 35]

Овощи	Каротины			Ксантофиллы		
	β-каротин	α-каротин	ликопин	лютеин	зеаксантин	β-криптоксантин
Корнеплоды						
Морковь	5,36–19,20	0,39–12,8	н/о–10,0	0,15–0,51	н/о	н/о
Плодовые овощи						
Томаты	0,40–7,03	н/о–1,1	0,9–76,7	0,1–0,62	н/о	н/о
Тыква	0,05–29,4	0,05–8,2	н/о	0,03–12,9	0,06–2,24	н/о–1,8
Перец	0,9–2,38	0,06–0,60	2,2	н/о–2,8	8,5–15,1	0,003–0,8
Арбуз	2,29–2,37	н/о	3,55–4,86	н/о	н/о	н/о–1,03
Дыня	1,59	0,03	–	0,04	–	–
Капустные овощи						
Брюссельская капуста	0,45	0,06	–	1,59	–	–
Кудрявая бразильская капуста	4,12	н/о	н/о	5,25	н/о	–
Брокколи	0,78–1,89	0,01	–	1,1–3,51	–	0,015
Цветная капуста	0,005	–	–	0,005	0,016	0,080
Китайская капуста	0,008	–	–	0,024	0,003	0,0079
Салатно-шпинатные						
Шпинат	1,89–5,59	н/о	н/о	3,35–7,76	н/о–0,33	н/о
Салат Salada crua	1,76	0,18	0,89	2,22	–	сл.
Рукола	0,19–2,84	н/о	н/о	0,52–5,0	н/о–0,0015	н/о–0,0013
Кресс-салат	0,008–2,72	–	–	0,52–5,61	0,019	0,011
Мангольд	2,7	0,035	н/о	2,7	н/о	н/о

коти, и соотношение ликопин в кожуре/ликопин в мякоти колебалось от 1,20 до 3,47 [36].

С помощью методов генной инженерии постоянно создаются новые сорта томатов. В некоторых сортах и гибридах томатов, выращенных в Канаде, удалось увеличить содержание ликопина до 227,11 мкг/г СВ с преобладанием транс-ликопинов в количестве 218,64 мкг/г СВ. При этом сумма β-каротинов всех транс- и цис-форм снижалась [25]. Сорт томатов «Хантомато» обогащен зеаксантином, количество которого составляет 39 мкг/г (или 577 мкг/г СВ), что доходит до 50 % от общего количества каротиноидов в плодах [34, 35].

Основным каротиноидом тыквы является β-каротин. При суммарном содержании каротиноидов в пределах 2,5–8,6 мг/100 г, на долю

β-каротина приходится от 50 до 80 %, α-каротина – всего около 10 % [37]. В тыкве, выращенной в тропиках, содержание каротиноидов может доходить до 9,3 мг/100 г, а в тыкве *Cucurbita moschata* Duch, выращенной в Бразилии, до 40 мг/100 г [38–40]. На суммарное содержание каротиноидов тыквы оказывают влияние вид и ботанический сорт, но содержание β-каротина сильно варьирует в зависимости от ботанического сорта, чем от вида. Так, в тыкве *Cucurbita maxima* сумма каротиноидов колеблется от 0,47 до 7,09 мг/100 г в зависимости от сорта, а в тыкве *C. Pepo* и *C. Moschata* различия несущественны. Все они содержат β-каротин, но α-каротин найден только в тыкве *C. Moschata*, зеаксантин – только в тыкве *Cucurbita maxima* [28]. Различия между сортами одного вида в суммарном

содержании каротиноидов и β -каротина могут достигать до 2,5 раз и более, оказывая существенное влияние на окраску мякоти [37, 39, 40].

Как источник каротиноидов интерес представляют плоды перца, включая сладкие и острые сорта, состав которых сильно отличается от основных овощей, используемых в питании, а также влияет на окраску плодов. Суммарное содержание каротиноидов колеблется от 23,21–34,94 мг/100 г, но максимальное их количество накапливают оранжевые сорта. В красных сортах их количество в 4–5 раз меньше, а в белых – в 10 раз меньше [9]. Каротиноиды красного перца представлены в основном капсантином (70 %) и капсорубином (10 %). β -каротин и β -криптоксантин составляют не более 20 %. В некоторых сортах обнаружен зеаксантин, а лютеин, антераксантина и виолаксантин не обнаружены. В оранжевых сортах перца преобладает зеаксантин с количеством, достигающим до 85 %, затем лютеин (до 16 %), β -каротин, β -криптоксантин, антероксантин не превышают 1–2 % каждый, а капсантин и капсорубин не обнаружены. В белых сортах перца преобладает лютеин до 70 %, хотя общее содержание каротиноидов в них всего составляет 11,38–29,7 мг/100 г СВ. Остальные каротиноиды, характерные для плодов перца, присутствуют, за исключением капсантина и капсорубина. В белом болгарском перце также преобладает лютеин, но с меньшей долей – 44,6 %, у белого перца сорта Хабанеро – 48,3 % [9, 17, 35].

В капустных и листовых овощах суммарное содержание каротиноидов невелико – от 41 мкг/г СВ в цветной капусте до 215 в брокколи с преобладанием ксантофиллов, из которых идентифицированы не только лютеин, зеаксантин и β -криптоксантин (см. табл. 2), но и виолаксантин, неоксантин и антаксантин [31]. Преобладает лютеин, например, в брокколи его количество может составлять от 25 до 50 % общего количества каротиноидов [17, 31]. Но больше, чем капустные, каротиноидов содержат шпинат, руккола и кресс-салат также с преобладанием лютеина до 50 % и в целом ксантофиллов до 75 % [12, 31, 38, 41, 43]. В руколе содержится неоксантин и виолаксантин – 1,81 и 1,47 мг/100 г, соответственно, а в кресс-салате – 1,77 и 2,61, соответственно [12]. В шпинате суммарное количество каротиноидов может составлять 7,6–12,5 мг/100 г, из которых на долю ксантофиллов может приходиться 75 %. В составе ксантофиллов

идентифицированы: лютеин > виолаксантин \geq неоксантин [29].

Из клубнеплодов источником каротиноидов могут быть только сорта батата с оранжевой мякотью с суммарным количеством каротиноидов 25,94 мг/100 г СВ [17]. Сорта батата с оранжевой мякотью могут содержать β -каротин от 0,37 до 6,7 мг/100 г, после варки в них остается от 22 до 78 %. Ликопин в них при варке разрушается в большей степени и его может сохраниться от 4 до 62 %. Причем в сыром батате его содержание меньше, чем β -каротин, и составляет от 0,04 до 0,31 мг/100 г. β -криптоксантин обнаружен только в некоторых сортах батата в количестве 0,013–0,037 мг/100 г, который почти полностью разрушается при варке [42]. В картофеле каротиноидов очень мало, найдены в основном ксантофиллы, а β -каротин отсутствует или находится в количестве до 0,65 мкг/г СВ. При термической обработке картофеля (варке или запекании) каротиноиды почти полностью разрушаются. Наиболее термостабилен лютеин [43].

Плоды и ягоды. Суммарное содержание каротиноидов в плодах значительно ниже, чем в овощах, составляя 0,02–6,2 мг/100 г, но зато они обладают лучшей биодоступностью [11, 12, 27, 28, 38] и могут стать в питании источниками прежде всего β -каротина и лютеина (табл. 3).

Часто оранжевая окраска плодов свидетельствует о преобладании β -каротина, например, в абрикосах, манго, мандаринах [12, 28, 38]. Так, в абрикосах содержание β -каротина составляет от 1,44 до 39,07 мкг/г, а лютеина и зеаксантина не превышает 0,5 мкг/100 г, α -каротин и антероксантин не обнаружены [28]. Но окраска плодов с высоким содержанием β -каротина может маскироваться антоцианами, как в плодах вишни, боярышника и рябины [1, 5, 27] или хлорофиллом, как в зеленых яблоках, манго [11]. Так, в яблоках сумма каротиноидов составляет 29,48–49,17 мкг/г СВ, которые преимущественно сосредоточены в кожуре, и практически не зависят от их окраски. В зеленых яблоках содержание β -каротина и лютеина может быть такое же, как в красных или больше до 10 раз. В составе каротиноидов обнаружены лютеин, виолаксантин, неоксантин, β -каротин и этерифицированные каротиноиды (в основном виолаксантин и неоксантин). В желтых и красных яблоках количественно преобладают транс-неоксантин и транс-виолаксантин, в

Пищевые ингредиенты, сырье и материалы

Таблица 3

Содержание основных каротиноидов в некоторых плодах, мг/100 г [1, 2, 3, 5, 11, 12, 28, 38, 44]

Плоды	Каротины			Ксантофиллы		
	β-каротин	α-каротин	ликопин	лютеин	зеаксантин	β-криптоксантин
Семечковые плоды						
Яблоки красные	0,003–0,04	–	–	0,007–0,01	0,0013	–
Яблоки желтые	0,003–0,008	–	–	0,002–0,006	н/о–0,0003	–
Яблоки зеленые	0,009–0,026	–	–	до 0,003	н/о–0,0007	–
Рябина	3,2–5,1	–	–	–	–	–
Боярышник	0,3–6,2	–	–	–	–	–
Косточковые плоды						
Абрикос	0,14–3,9	н/о	–	0,01–0,036	0,011–0,046	–
Персик	0,04	н/о	н/о	н/о	н/о	0,64
Вишня	0,4–2,6	–	–	–	–	0,21–0,36
Цитрусовые плоды						
Грейпфрут розовый	0,96	–	3,4	–	–	–
Мандарин (сатсума)	0,002–0,3	0,01	–	0,04–0,1	0,04–0,14	1,8
Танжерин	0,21	н/о	–	–	–	0,84
Апельсин	0,021–0,053	0,15–0,16	н/о	0,04–0,07	0,03–0,06	0,12–0,18
Апельсин красный	0,18	0,15	0,3	0,03	0,03	0,13
Тропические плоды						
Манго	0,45–0,92	0,017	–	–	0,067	0,011–0,027
Папайя	0,61	–	4,0	–	–	0,97
Гуава красная	0,33	н/о	6,15	н/о	н/о	н/о
Маракуйя	0,76	н/о	н/о	н/о	н/о	0,136
Банан	0,11	0,14	–	0,05	–	–

зеленых – больше цис-неоксантина, а в сорте Granny Smith количество цис-виолаксантина превышает его транс-формы [3, 11].

Из субтропических плодов состав каротиноидов наиболее изучен в апельсинах. Содержание каротиноидов в мякоти апельсин может колебаться от 0,8 до 2,4 мг/100 г, а в мякоти красных апельсин – 2,8 мг/100 г. У большинства сортов каротиноидный профиль характеризуется преобладанием 5,6-эпокси-каротиноидов (виолаксантин и антраксантин геометрические изомеры), за которыми следуют 5,8-эпоксикаротиноиды (лютеоксантин и мутатоксантин), β-криптоксантин, зеинок-

сантин (моногоксикаротиноиды), зеаксантин, лютеин (дигидроксикаротиноиды) и α- и β-каротины). В целом мякоть оранжевых апельсин характеризуется преобладанием ксантофиллов (82,7–93,0 %), за исключением красных апельсин, с более высокой долей каротинов (около 70,0 %). β-криптоксантин был преобладающим каротиноидом в апельсинах рода Лате и Амберсвите [44].

Из тропических фруктов много каротиноидов в манго – 3,8 мг/100 г с преобладанием β-каротина, в папайе – с преобладанием ликопина [12, 38].

Из ягод с высоким содержанием суммарных каротиноидов можно выделить облепиху (до 15 мг/100 г), шиповник (до 30 мг/100 г), морошку (до 3 мг/100 г) с преобладанием каротинов (табл. 4) [47, 48, 50, 51].

Общее содержание каротиноидов в облепихе сильно варьирует от ботанического сорта и места произрастания и может находиться в диапазоне от 53 до 97 мг/100 г СВ. Большинство каротиноидов находятся в связанном состоянии в виде диэфиров (около 50 %) и моноэфиров (около 17 %). Свободные каротины представлены: транс- β -каротин > цис- β -каротин [46, 47].

Вариации содержания каротиноидов в шиповнике зависят от экотипа и условий выращивания. Наибольшая общая сумма каротиноидов (1590,4 мкг/ г СВ) были обнаружены в конце сезона сбора урожая в гибриде *R. dumalis*, а самые низкие количества – у видов *R. spinosissima* (684,5 мкг/ г СВ) [49]. В составе каротиноидов преобладают каротины, из которых наиболее высокая доля приходится на β -каротин и ликопин, но обнаружены также γ - и ζ -формы каротина. Содержание ксантофиллов порядка 10-ти раз меньше, чем ка-

ротинов. Ксантофиллы представлены нексантином, зеаксантином, лютеином, виолаксантином и рубиксантином с преобладанием последнего (около 70 %) [48, 49].

В дикорастущих северных ягодах содержание каротиноидов незначительно. Среди них выделяется морошка с общим содержанием каротиноидов 2,84 мг/100 г СВ с выраженным преобладанием β -каротина (83 %), количество которого доходит до 2,32 мг/100 г СВ. Зеаксантина содержится в 5 раз меньше, а количество остальных идентифицированных каротиноидов (лютеин, неоксантин, виолаксантин, антероксантин) не превышает 0,05 мг/100 г. В чернике общее содержание каротиноидов 2,14 мг /г СВ с преобладанием лютеина около 70 %. Клюква болотная и брусника содержат только 0,2 и 0,14 мг/100 г каротиноидов, но в бруснике преобладает лютеин (38 %), в клюкве – β -каротин (40 %) [50, 51].

В остальных ягодах самый высокий уровень каротиноидов был у ежевики, а у клубники самое низкое содержание каротиноидов. По данным [13] ежевика имела самое высокое содержание β -каротина (101,4 мкг/100 г), за ней следовала черная смородина (61,6 мкг/100 г).

Таблица 4
Содержание основных каротиноидов в некоторых ягодах, мг/100 г [1, 2, 13, 38, 45, 48–51]

Плоды	Каротины			Ксантофиллы		
	β -каротин	α -каротин	ликопин	лютеин	зеаксантин	β -криптоксантин
Настоящие ягоды						
Облепиха	5,69–9,67	–	3–5	0,8	5	0,2
Красная смородина	0,013	–	–	0,028	0,0038	–
Черная смородина	0,062	–	–	0,21	0,0057	–
Виноград	0,603	0,005	0,012	0,013		
Черника	0,049–0,36			0,23–1,5	0,014–0,02	0,005
Брусника	0,027	–	–	0,076	0,009	–
Клюква болотная	0,056	–	–	0,048	0,031	–
Сложные ягоды						
Морошка	2,3	–	–	0,05	0,41	–
Ежевика	0,1–1,0	0,009	–	0,27	0,03	0,03–0,3
Малина	0,009	0,024	–	0,32	0,011	0,006
Ложные ягоды						
Клубника	0,0049	–	–	0,021	н/о	–
Шиповник	2,0–5,9	–	16,3	0,1–0,7	0,3–2,7	0,06–1,2

Наибольшее количество α -каротина было в малине (23,7 мкг/100 г). Лютеин присутствовал в малине в более высоких количествах (317,0 мкг/100 г), а затем в ежевике (270,1 мкг/100 г). Самый высокий уровень зеаксантина был обнаружен в ежевике (29,0 мкг/100 г), за которой следует черника (14,0 мкг/100 г). Ежевика имела самое высокое значение β -криптоксантина (30,1 мкг/100 г).

Заключение

В последние годы международным научным сообществом опубликован ряд исследований о суммарном содержании каротиноидов и их составе в свежих овощах, плодах и ягодах, биологической активности, антиокси-

дантных свойствах и факторах, способствующих повышению биодоступности. Методами генной инженерии создаются новые сорта томатов с повышенным содержанием транс-ликопина и зеаксантина.

Основными источниками каротиноидов в питании человека являются свежие овощи: морковь, плодовые (томаты, тыква, перец) и салатно-шпинатные овощи (шпинат, рукола, кресс-салат) не смотря на низкую биодоступность. Плоды и ягоды, уступая овощам в суммарном содержании каротиноидов, обладая более высокой биодоступностью, являются источниками преимущественно каротинов с провитаминной активностью.

Литература

1. Дадали В.А., Каротиноиды: биодоступность, биотрансформация, антиоксидантные свойства / В.А. Дадали, В.А. Тутельян, Ю.В. Дадали, Л.В. Кравченко // Вопросы питания. – 2010. – Т. 79, № 2. – С. 4–18.
2. Дейнека, В.И. Каротиноиды: строение, биологические функции и перспективы применения / В.И. Дейнеко, А.А. Шапошников, Л.А. Дейнеко и др. // Научные ведомости. – 2008. – № 6. – С. 19–25.
3. Saini, R. K. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities / R. K. Saini, Sh. H. Nile, S. Park // Food Research International. – 2015. – № 76. – P. 735–750. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.047>
4. Fernández-García, E. Carotenoids bioavailability from foods: From plant pigments to efficient biological activities / E. Fernández-García, I. Carvajal-Lérida, M.I. Jarén-Galán, Ju. Garrido-Fernández, A. Pérez-Gálvez, D. Hornero-Méndez // Food Research International. – 2012. – № 46. – P. 438–450. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.06.007
5. Britton, G. Carotenoids in food. / G. Britton, F. Khachik // Carotenoids. Nutrition and health. – 2009. – V. 5. – P. 45–66.
6. Завьялова, А.Н. Физиологическая роль природных каротиноидов / А.Н. Завьялова, А.В. Суржик // Вопросы современной педиатрии. – 2008. – Т. 7, № 6. – С. 145–149.
7. Кричковская, Л.В. Природные антиоксиданты (биотехнологические, биологические и медицинские аспекты): монография / Л.В. Кричковская, Г.В. Донченко, С.И. Чернышов и др. – Харьков: ОАО «Модель Вселенной», 2001. – 376 с.
8. Дадали, В.А. Каротиноиды. Биологическая активность / В.А. Дадали, В.А. Тутельян, Ю.В. Дадали, Л.В. Кравченко // Вопросы питания, 2011. – Т. 80, № 4. – С. 4–17.
9. Hassan, N.M. Carotenoids of Capsicum fruits: pigment profile and health-promoting functional attributes / N.M. Hassan, N.A. Yusof, A.F. Yahaya, N.N. Mohd Rozali, R. Othman // Antioxidants (Basel). – 2019. – № 8. – P. 469. DOI: 10.3390/antiox8100469
10. Frede, K. Light quality-induced changes of carotenoid composition in pak choi Brassica rapa ssp. chinensis/ K. Fredea, M. Schreiner, S. Baldermann // Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology. – 2019. – № 193. – P. 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.02.001>
11. Delgado-Pelayo, R. Chlorophyll and carotenoid pigments in the peel and flesh of commercial apple fruit varieties / R. Delgado-Pelayo, L. Gallardo-Guerrero, D. Hornero-Méndez // Food Research International. – 2014. – № 65. – P. 272–281. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.025>
12. Vargas-Murga, L. Fruits and vegetables in the Brazilian Household Budget Survey (2008–2009): carotenoid content and assessment of individual carotenoid intake / L. Vargas-Murgaa, V.V. de Rosso, A. Z. Mercadante, B. Olmedilla-Alonso // Journal of Food Composition and Analysis. – 2016. – № 50. – P. 88–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.012>

13. Marinova, D. HPLC determination of carotenoids in Bulgarian berries / D. Marinova, F. Ribarova // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2007. – № 20. – P. 370–374. DOI: 10.1016/j.jfca.2006.09.007
14. Schulz, H. Carotenoid Bioavailability from the Food Matrix: Toward Efficient Extraction Procedures / H. Schulz // In book: *Carotenoids: Nutrition, Analysis, and Technology Chapter: Carotenoid bioavailability from the food matrix: toward efficient extraction procedures*. – 2016. – P. 191–216. DOI: 10.1002/9781118622223.ch11
15. Поляков, Н.Э. Некоторые аспекты реакционной способности каротиноидов. Окислительно-восстановительные процессы и комплексообразование / Н.Э. Поляков, Т.В. Лешина // *Успехи химии*, 2006. – Т. 75, № 12. – С. 1175–1192.
16. Gao, Yu. The effect of polarity of environment on the antioxidant activity of carotenoids / Yu. Gao, A.L. Focsan, L.D. Kispert // *Chemical Physics Letters*. – 2020 – № 761. – 138098. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2020.138098>
17. Zhang, Zh. Microstructure and bioaccessibility of different carotenoid species as affected by hot air drying: Study on carrot, sweet potato, yellow bell pepper and broccoli / Zh. Zhang, Qi. Wei, M. Nie, N. Jiang, Ch. Liu, Ch. Liu, D. Li, L. Xu // *LWT – Food Science and Technology*. – 2018. – № 96. – P. 357–363. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.061>
18. Feng, L. Effect of particle size distribution on the carotenoids release, physicochemical properties and 3D printing characteristics of carrot pulp / L. Feng, Ji. Wu, Ji. Song, D. Li, Zh. Zhang, Ya. Xu, R. Yang, Ch. Liu, M. Zhang // *LWT – Food Science and Technology*. – 2021. – № 139. – 110576. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110576>
19. Yao, K. In vitro and in vivo study of the enhancement of carotenoid bioavailability in vegetables using excipient nanoemulsions: Impact of lipid content / K. Yao, D. Ju. McClements, Ch. Yan, Jie Xiao, H. Liu, Zh. Chen, X. Hou, Yo. Cao, H. Xiao, X. Liu // *Food Research International*. – 2021. – № 141. – 110162. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110162>
20. Lu, Yu. Fermentation of tomato juice improves in vitro bioaccessibility of lycopene / Yu. Lu, K. Mu, D. Ju. McClements, X. Liang, Xu. Liu, F. Liu // *Journal of Functional Foods*. – 2020. – № 71. – 104020. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104020>
21. Li, Q. Potential physicochemical basis of Mediterranean diet effect: Ability of emulsified olive oil to increase carotenoid bioaccessibility in raw and cooked tomatoes / Q. Li, T. Li, Ch. Liu, Ju. Chen, R. Zhang, Z. Zhang, T. Dai, D. Ju. McClements // *Food Research International*. – 2016. – № 89. – P. 320–329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.014>
22. Bot, F. The effect of pulsed electric fields on carotenoids bioaccessibility: The role of tomato matrix / F. Bot, R. Verkerk, H. Mastwijk, M. Anese, V. Fogliano, E. Capuano // *Food Chemistry*. – 2018. – № 240. – P. 415–421. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.102>
23. Arscott, S.A. Carrots of Many Colors Provide Basic Nutrition and Bioavailable Phytochemicals Acting as a Functional Food / S.A. Arscott, S.A. Tanumihardjo // *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2010. – V. 9. – P. 223–239. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2009.00103.x
24. Pace, B. Evaluation of quality, phenolic and carotenoid composition of fresh-cut purple Polignano carrots stored in modified atmosphere / B. Pace, I. Capotorta, M. Cefola, P. Minasi, N. Montemurro, V. Carbone // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2020. – № 86. – 103363. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103363>
25. Li, H. Ultra-performance liquid chromatographic separation of geometric isomers of carotenoids and antioxidant activities of 20 tomato cultivars and breeding lines / H. Li, Z. Deng, R. Liu, S. Loewen, R. Tsao // *Food Chemistry*. – 2012. – № 132. – P. 508–517. doi:10.1016/j.foodchem.2011.10.017
26. Choi, S. H. Protein, free amino acid, phenolic, β -carotene, and lycopene content, and antioxidative and cancer cell inhibitory effects of 12 greenhouse-grown commercial cherry tomato varieties / S. H. Choi, D.-S. Kim, N. Kozukue, H.-Je. Kim, Yo. Nishitani, M. Mizuno, C. E. Levin, M. Friedman // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2014. – № 34. – P. 115–127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2014.03.005>
27. Delia, B. Rodriguez-Amaya. A guide to carotenoid analysis in foods: Doctoral Thesis / B. Delia Brasil, 2001. – 64 p.

28. Kurz, Ch. HPLC-DAD-MSn characterisation of carotenoids from apricots and pumpkins for the evaluation of fruit product authenticity / Ch. Kurz, R. Carle, A. Schieber // *Food Chemistry*. – 2008. – № 110. – P. 522–530. doi:10.1016/j.foodchem.2008.02.022
29. Bunea, A. Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach (*Spinacia oleracea* L.) / A. Bunea, M. Andjelkovic, C. Socaciu, O. Bobis, M. Neacsu, R. Verher, Jo. V. Camp // *Food Chemistry*. – 2008. – № 108. – P. 649–656. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.11.056
30. Zhang, W. High pressure homogenization versus ultrasound treatment of tomato juice: Effects on stability and in vitro bioaccessibility of carotenoids / W. Zhang, Yi. Yu, F. Xie, X. Gu, Ji. Wu, Zh. Wang // *LWT – Food Science and Technology*. – 2019. – № 116. – 108597. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108597>
31. Lee, Hu. W. Simultaneous determination of carotenoids, tocopherols and phylloquinone in 12 Brassicaceae vegetables / Hu. W. Lee, Hu. Zhang, Xu Liang, Ch. N. Ong // *LWT – Food Science and Technology*. – 2020. – № 130. – 109649. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109649>
32. Wang, Y.H., Transcript profiling of genes involved in carotenoid biosynthesis among three carrot cultivars with various taproot colors / Y.H. Wang, T. Li, R.R. Zhang, A. Khadr, Y.S. Tian, Z.S. Xu, A.S. Xiong // *Protoplasma*. – 2020. – № 257. – P. 949–963. DOI: 10.1007/s00709-020-01482-4
33. Gajewski, M. Some aspects of nutritive and biological value of carrot cultivars with orange, yellow, and purple colored roots / M. Gajewski, P. Szymczak, K. Elkner, A. Dabrowska, A. Kret, Danilcenko H. // *Veg Crop Res Bull*. – 2007. – № 61. – P. 67–149.
34. Karniel, U., Development of zeaxanthin-rich tomato fruit through genetic manipulations of carotenoid biosynthesis / U. Karniel, A. Koch, D. Zamir, J. Hirschberg // *Plant Biotechnol J*. – 2020. – № 18. – P. 2292–2303. DOI: 10.1111/pbi.13387
35. Hermanns, A. S. Carotenoid Pigment Accumulation in Horticultural Plants / A. S. Hermanns, X. Zhou, Q. Xu, Ya. Tadmor, L. Li // *Horticultural Plant Journal*. – 2020. – № 6 (6). – P. 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.10.002>
36. Georgiadou, E. C. Tissue-specific elucidation of lycopene metabolism in commercial tomato fruit cultivars during ripening / E. C. Georgiadou, Ch. Antoniou, I. Majak, V. Goulas, P. Filippou, B. Smolińska, Jo. Leszczyńska, V. Fotopoulos // *Scientia Horticulturae*. – 2021. – № 284. – 110144. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110144>
37. Quijano-Ortega, N. FTIR-ATR Spectroscopy Combined with Multivariate Regression Modeling as a Preliminary Approach for Carotenoids Determination in *Cucurbita* spp. / N. Quijano-Ortega, C.A. Fuenmayor, C. Zuluaga-Dominguez, C. Diaz-Moreno, S. Ortiz-Grisales, M. García-Mahecha, S. Grassi // *Appl. Sci*. – 2020. – № 10. – P. 3722–3732. DOI:10.3390/app10113722
38. Ellong, E. N. Polyphenols, Carotenoids, Vitamin C Content in Tropical Fruits and Vegetables and Impact of Processing Methods / E. N. Ellong, C. Billard, S. Adenet, K. Rochefort // *Food and Nutrition Sciences*. – 2015. – № 6. – P. 299–313. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2015.63030>
39. Нилова, Л.П. Влияние режимов сушки на содержание каротиноидов в тыквенных полуфабрикатах / Л.П. Нилова, С.М. Малютенкова // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2021. – Т. 10, № 3 (55). – С. 125–128. DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0024
40. de Carvalho, L.M.Ja. Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A preliminary study / L.M.Ja. de Carvalho, P.B. Gomes, R.L. de Oliveira Godoy, S. Pacheco, P.H.F. do Monte, J.L.V. de Carvalho, M.R. Nutti, A.C.L. Neves, A.C.R. Vieira, S.R.R. Ramos // *Food Research International*. – 2012. – № 47. – P. 337–340. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.07.040
41. Raju, M. Carotenoid composition and vitamin A activity of medicinally important green leafy vegetables / M. Raju, S. Varakumar, R. Lakshminarayana, Th.P. Krishnakantha, V. Baskaran // *Food Chemistry*. – 2007. – № 101. – P. 1598–1605. doi:10.1016/j.foodchem.2006.04.015
42. Alam, M. Kh. Minerals, vitamin C, and effect of thermal processing on carotenoids composition in nine varieties orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) / M.Kh. Alam, S. Samsa, Z.H. Rana, M. Akhtaruzzaman, Sh.N. Islam // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2020. – № 92. – 103582. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103582>

43. Kotíková, Z. Carotenoid profile and retention in yellow-, purple- and red-fleshed potatoes after thermal processing / Z. Kotíková, M. Šulc, Ja. Lachman, V. Pivec, M. Orsák, K. Hamouz // *Food Chemistry*. – 2016. – № 197. – P. 992–1001. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.072>
44. Stinco, C. M. Multivariate analyses of a wide selection of orange varieties based on carotenoid contents, color and in vitro antioxidant capacity / C. M. Stinco, M. L. Escudero-Gilete, F. J. Heredia, I. M. Vicario, A. J. Meléndez-Martínez // *Food Research International*. – 2016. – № 90. – P. 194–204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.005>
45. Abliz, A. Effect of dynamic high pressure microfluidization treatment on physical stability, microstructure and carotenoids release of sea buckthorn juice / A. Abliz, Ji. Liu, L. Mao, F. Yuan, Ya. Gao // *LWT – Food Science and Technology*. – 2021. – №135. – 110277. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110277>
46. Pop, R. M. Carotenoid composition of berries and leaves from six Romanian sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) varieties / R.M. Pop, Ya. Weesepeel, C. Socaciu, A. Pinteá, Je.-P. Vincken, H. Gruppen // *Food Chemistry*. – 2014. – № 147. – P. 1–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.083>
47. Нилова, Л.П. Антиоксидантные профили облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) северо-запада России / Л.П. Нилова, С.М. Малютенкова // *Вестник ВГУИТ*. – 2021. – Т. 83, № 1. – С. 108–114. <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-108-114>
48. Al-Yafeai, A. Characterization of carotenoids and vitamin E in *R. rugosa* and *R. canina*: Comparative analysis / A. Al-Yafeai, A. Malarski, V. Böhm // *Food Chemistry*. – 2018. – № 242. – P. 435–442. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.070>
49. Andersson, S. C. Carotenoid content and composition in rose hips (*Rosa* spp.) during ripening, determination of suitable maturity marker and implications for health promoting food products / S. C. Andersson, K. Rumpunen, E. Johansson, M. E. Olsson // *Food Chemistry*. – 2011. – № 128. – P. 689–696. doi:10.1016/j.foodchem.2011.03.08
50. Головки, Т.К. Содержание и состав желтых пигментов в плодах морошки и черники в условиях среднетаежной зоны европейской части России / Т.К. Головки, О.В. Дымова, Е.А. Лашманова, О.А. Кузванова // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 2011. – Т. 13. № 1(4). – С. 813–816.
51. Lashmanova, K.A. Northern berries as a source of carotenoids / K.A. Lashmanova, O.A. Kuzivanova, O.V. Dymova // *Acta Biochimica Polonica*. – 2012. – V. 59, № 1. – P. 133–134.

Нилова Людмила Павловна, кандидат технических наук, доцент, доцент Высшей школы сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (г. Санкт-Петербург), nilova_l_p@mail.ru

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), potorokoi@susu.ru

Поступила в редакцию 14 июля 2021 г.

CAROTENOIDS IN PLANT FOOD SYSTEMS

L.P. Nilova¹, I.Yu. Potoroko²

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Carotenoids of food of plant origin are plant pigments with biological activity and antioxidant properties, the bioavailability of which depends on mechanical and thermal processing and the presence of fats. Of the 40 carotenoids supplied with food, the main ones are carotenes – β - and α -carotenes, lycopene and xanthophylls – lutein, zeaxanthin, β -cryptoxanthin. The article presents data on the content of various carotenoids in fresh vegetables, fruits and berries, published in recent years. Fresh vegetables contain more carotenoids than fruits and berries, but have low bioavailability. The main sources of carotenoids among vegetables are carrots, fruit and salad-spinach vegetables. Carrots are a source of carotenes (β - and α -carotene up to 58.4 and 40.4 %, respectively) with the maximum amount in orange carrots. Among fruit vegetables, tomatoes are a source of lycopene (86 %), pumpkin – beta-carotene (50–80 %), sweet and spicy red peppers – capsanthin (70 %) and capsorubin (10 %), orange peppers – zeaxanthin (85 %). Genetic engineering methods have been used to create varieties of tomatoes containing lycopene mainly in the trans-form (96 %), as well as with an increased content of zeaxanthin (50 %). Among salad-spinach vegetables, carotenoids predominate in spinach, arugula and watercress, mainly in the form of xanthophylls. Most fruits and berries are dominated by beta-carotene, regardless of their color, which can be masked by anthocyanins (hawthorn, rowan, cherry, rosehip, blueberry) or chlorophyll (green apples). The largest amount of carotenoids is contained in sea buckthorn, rosehip, and cloudberry. They can serve as a source of β -carotene, as well as lycopene (sea buckthorn, rosehip), rubixanthin (rosehips).

Keywords: carotenoids, biological activity, antioxidant properties, fruits and vegetables, food products of plant origin.

References

1. Dadali V. A., Tutelyan V. A., Dadali Yu. V., Kravchenko L. V. Carotenoids: bioavailability, biotransformation, antioxidant properties. *Voprosy pitaniya*, 2010, vol. 79, no 2, pp. 4–18. (in Russ.)
2. Deineka V.I., Shaposhnikov A.A., Deineko L.A., Guseva T.S., Vostrikova S.M., Zakirova E.A., Shentseva L.R. Carotenoids: structure, biological functions and application prospects, *Scientific Bulletin*, 2008, no 6, pp. 19–25. (in Russ.)
3. Saini R. K., Nile Sh. H., Park S. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities, *Food Research International*, 2015, no 76, pp. 735–750. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.047>
4. Fernández-García E., Carvajal-Lérída I., Jarén-Galán M.I, Garrido-Fernández Ju., Pérez-Gálvez A., Hornero-Méndez D. Carotenoids bioavailability from foods: From plant pigments to efficient biological activities. *Food Research International*, 2012, no 46, pp. 438–450. doi:10.1016/j.foodres.2011.06.007
5. Britton G., Khachik F. Carotenoids in food. *Carotenoids. Nutrition and health*, 2009, vol. 5, pp. 45–66.
6. Zavyalova A.N., Surzhik A.V. Physiological role of natural carotenoids. *Current Pediatrics (Voprosy Sovremennoi Pediatrii)*, 2008, vol. 7, no. 6, pp. 145–149. (in Russ.)
7. Krichkovskaya L.V., Donchenko G.V., Chernyshov S.I., Nikitchenko Yu.V., Zhukov V.I. Natural antioxidants (biotechnological, biological and medical aspects). Kharkov, 2001, 376 p. (in Russ.)
8. Dadali V.A., Tutelyan V.A., Dadali Yu.V., Kravchenko L.V. Carotenoids. Biological activity. *Voprosy pitaniya*, 2011, vol. 80, no. 4, pp. 4–17. (in Russ.)
9. Hassan N.M., Yusof N.A., Yahaya A.F., Mohd Rozali N.N., Othman R. Carotenoids of *Capsicum* fruits: pigment profile and health-promoting functional attributes. *Antioxidants (Basel)*, 2019, no. 8, p. 469. DOI: 10.3390/antiox8100469

10. Frede K. M. Schreiner, S. Baldermann Light quality-induced changes of carotenoid composition in pak choi *Brassica rapa* ssp. *Chinensis*. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 2019, no. 193, pp. 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.02.001>
11. Delgado-Pelayo R., Gallardo-Guerrero L., Hornero-Méndez D. Chlorophyll and carotenoid pigments in the peel and flesh of commercial apple fruit varieties. *Food Research International*, 2014, no. 65, pp. 272–281. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.025>
12. Vargas-Murga L., de Rosso V. V., Mercadante A. Z., Olmedilla-Alonso B. Fruits and vegetables in the Brazilian Household Budget Survey (2008–2009): carotenoid content and assessment of individual carotenoid intake. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2016, no. 50, pp. 88–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.012>
13. Marinova D., Ribarova F. HPLC determination of carotenoids in Bulgarian berries. // *Journal of Food Composition and Analysis*, 2007, no. 20, pp. 370–374. DOI: 10.1016/j.jfca.2006.09.007
14. Schulz H., Carotenoid Bioavailability from the Food Matrix: Toward Efficient Extraction Procedures. In book: *Carotenoids: Nutrition, Analysis, and Technology*. Chapter: Carotenoid bioavailability from the food matrix: toward efficient extraction procedures, 2016, pp. 191–216. DOI: 10.1002/9781118622223.ch11
15. Polyakov N.E., Leshina T.V. Some aspects of the reactivity of carotenoids. Redox processes and complex formation, *Advances in Chemistry*, 2006, vol. 75. no. 12, pp. 1175–1192. (in Russ.)
16. Gao Yu., Focsan A.L., Kispert L.D. The effect of polarity of environment on the antioxidant activity of carotenoids, *Chemical Physics Letters*, 2020, no. 761, 138098. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2020.138098>
17. Zhang Zh., Wei Qi., Nie M., Jiang N., Liu Ch., Liu Ch., Li D., Xu L. Microstructure and bioaccessibility of different carotenoid species as affected by hot air drying: Study on carrot, sweet potato, yellow bell pepper and broccoli. *LWT – Food Science and Technology*, 2018, no. 96, pp. 357–363. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.061>
18. Feng L., Wu Ji., Song Ji., Li D., Zhang Zh., Xu Ya., Yang R., Liu Ch., Zhang M. Effect of particle size distribution on the carotenoids release, physicochemical properties and 3D printing characteristics of carrot pulp. *LWT - Food Science and Technology*, 2021, no. 139, 110576. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110576>
19. Yao K., McClements D. Ju., Yan Ch., Xiao Jie, Liu H., Chen Zh., Hou X., Cao Yo., Xiao H., Liu X. *In vitro* and *in vivo* study of the enhancement of carotenoid bioavailability in vegetables using excipient nanoemulsions: Impact of lipid content. *Food Research International*, 2021, no. 141, 110162. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110162>
20. Lu Yu., Mu K., McClements Ju D., Liang X., Liu Xu., Liu F. Fermentation of tomato juice improves *in vitro* bioaccessibility of lycopene. *Journal of Functional Foods*, 2020, no. 71, 104020. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104020>
21. Li, Q., Li T., Liu Ch., Chen Ju., Zhang R., Zhang Z., Dai T., Ju D. McClements Potential physicochemical basis of Mediterranean diet effect: Ability of emulsified olive oil to increase carotenoid bioaccessibility in raw and cooked tomatoes. *Food Research International*, 2016, no. 89, pp. 320–329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.014>
22. Bot F., Verkerk R., Mastwijk H., Anese M., Fogliano V., Capuano E. The effect of pulsed electric fields on carotenoids bioaccessibility: The role of tomato matrix. *Food Chemistry*, 2018, no. 240, pp. 415–421. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.102>
23. Arscott S.A., Tanumihardjo S. A. Carrots of Many Colors Provide Basic Nutrition and Bioavailable Phytochemicals Acting as a Functional Food. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2010, vol. 9, pp. 223–239. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2009.00103.x
24. Pace B., Capotorta I., Cefola M., Minasi P., Montemurro N., Carbone V. Evaluation of quality, phenolic and carotenoid composition of fresh-cut purple Polignano carrots stored in modified atmosphere. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2020, no. 86, 103363. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103363>
25. Li H., Deng Z., Liu R., Loewen S., Tsao R. Ultra-performance liquid chromatographic separation of geometric isomers of carotenoids and antioxidant activities of 20 tomato cultivars and breeding lines. *Food Chemistry*, 2012, no. 132, pp. 508–517. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.10.017

26. Choi S. H., Kim D.-S., Kozukue N., Kim H.-Je., Nishitani Yo., Mizuno M., Levin C. E., Friedman M. Protein, free amino acid, phenolic, β -carotene, and lycopene content, and antioxidative and cancer cell inhibitory effects of 12 greenhouse-grown commercial cherry tomato varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2014, no. 34, pp. 115–127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2014.03.005>
27. Delia B. Rodriguez-Amaya. A guide to carotenoid analysis in foods: Doctoral Thesis, Brasil, 2001, 64 p.
28. Kurz Ch., Carle R., Schieber A. HPLC-DAD-MSn characterisation of carotenoids from apricots and pumpkins for the evaluation of fruit product authenticity. *Food Chemistry*, 2008, no. 110, pp. 522–530. doi:10.1016/j.foodchem.2008.02.022
29. Bunea A., Andjelkovic M., Socaciu C., Bobis O., Neacsu M., Verher R., Camp Jo. V. Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Food Chemistry*, 2008, no. 108, pp. 649–656. doi:10.1016/j.foodchem.2007.11.056
30. Zhang W., Zhang W., Yu Yi., Xie F., Gu X., Wu Ji., Wang Zh. High pressure homogenization versus ultrasound treatment of tomato juice: Effects on stability and in vitro bioaccessibility of carotenoids. *LWT – Food Science and Technology*, 2019, no. 116, 108597. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108597>
31. Lee Hu. W., Zhang Hu., Liang Xu, Ong Ch. N. Simultaneous determination of carotenoids, tocopherols and phyloquinone in 12 Brassicaceae vegetables. *LWT – Food Science and Technology*, 2020, no. 130, 109649. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109649>
32. Wang Y.H., Li T., Zhang R.R., Khadr A., Tian Y.S., Xu Z.S., Xiong A.S. Transcript profiling of genes involved in carotenoid biosynthesis among three carrot cultivars with various taproot colors. *Protoplasma*, 2020, no. 257, pp. 949–963. DOI: 10.1007/s00709-020-01482-4
33. Gajewski M., Szymczak P., Elkner K., Dabrowska A., Kret A., Danilcenko H. Some aspects of nutritive and biological value of carrot cultivars with orange, yellow, and purple colored roots. *Veg Crop Res Bull.*, 2007, no. 61, pp. 67–149.
34. Karniel U., Koch A., Zamir D., Hirschberg J. Development of zeaxanthin-rich tomato fruit through genetic manipulations of carotenoid biosynthesis. *Plant Biotechnol J.*, 2020, no. 18, pp. 2292–2303. DOI: 10.1111/pbi.13387
35. Hermanns A. S., Zhou X., Xu Q., Tadmor Ya., Li L. Carotenoid Pigment Accumulation in Horticultural Plants. *Horticultural Plant Journal*, 2020, no. 6 (6), pp. 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.10.002>
36. Georgiadou E. C., Antoniou Ch., Majak I., Goulas V., Filippou P., Smolińska B., Leszczyńska Jo., Fotopoulos V. Tissue-specific elucidation of lycopene metabolism in commercial tomato fruit cultivars during ripening. *Scientia Horticulturae*, 2021, no. 284, p. 110144. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110144>
37. Quijano-Ortega N., Fuenmayor C.A., Zuluaga-Dominguez C., Diaz-Moreno C., Ortiz-Grisales S., García-Mahecha M., Grassi S. FTIR-ATR Spectroscopy Combined with Multivariate Regression Modeling as a Preliminary Approach for Carotenoids Determination in Cucurbita spp. *Appl. Sci*, 2020, no. 10, pp. 3722–3732. DOI:10.3390/app10113722
38. Ellong, E. N., Billard C., Adenet S., Rochefort K. Polyphenols, Carotenoids, Vitamin C Content in Tropical Fruits and Vegetables and Impact of Processing Methods. *Food and Nutrition Sciences*, 2015, no. 6, pp. 299–313. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2015.63030>
39. Nilova L.P., Malyutenkova S.M. Influence of drying regimes on the content of carotenoids in pumpkin semi-finished products. *XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus* [XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus], 2021, vol. 10, no. 3 (55), pp. 125–128. (in Russ.) DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0024
40. de Carvalho L.M.Ja., Gomes P.B., de Oliveira Godoy R. L., Pacheco S., do Monte P.H.F., de Carvalho J.L.V., Nutti M. R., Neves A.C.L., Vieira A.C.R., Ramos S.R.R. Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A preliminary study. *Food Research International*, 2012, no. 47, pp. 337–340. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.07.040
41. Raju M., Varakumar S., Lakshminarayana R., Krishnakantha Th. P., Baskaran V. Carotenoid composition and vitamin A activity of medicinally important green leafy vegetables. *Food Chemistry*, 2007, no. 101, pp. 1598–1605. doi:10.1016/j.foodchem.2006.04.015

42. Alam M. Kh., Samsa S., Rana Z. H., Akhtaruzzaman M., Islam Sh. N. Minerals, vitamin C, and effect of thermal processing on carotenoids composition in nine varieties orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 2020, no. 92, 103582. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103582>
43. Kotíková Z., Šulc M., Lachman Ja., Pivec V., Orsák M., Hamouz K. Carotenoid profile and retention in yellow-, purple- and red-fleshed potatoes after thermal processing. *Food Chemistry*, 2016, no. 197, pp. 992–1001. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.072>
44. Stinco C. M., Escudero-Gilete M. L., Heredia F. J., Vicario I. M., Meléndez-Martínez A. J. Multivariate analyses of a wide selection of orange varieties based on carotenoid contents, color and in vitro antioxidant capacity. *Food Research International*, 2016, no. 90, pp. 194–204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.005>
45. Abliz A., Liu Ji., Mao L., Yuan F., Gao Ya. Effect of dynamic high pressure microfluidization treatment on physical stability, microstructure and carotenoids release of sea buckthorn juice. *LWT – Food Science and Technology*, 2021, no. 135, 110277. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110277>
46. Pop R.M., Weesepeel Ya., Socaciu C., Pinteá A., Vincken Je.-P., Gruppen H. Carotenoid composition of berries and leaves from six Romanian sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) varieties. *Food Chemistry*, 2014, no. 147, pp. 1–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.083>
47. Nilova L.P., Malyutenkova S.M. Antioxidant complexes of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) of northwest Russia. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET], 2021, vol. 83, no. 1, pp. 108–114. (in Russ.). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-108-114
48. Al-Yafeai A., Malarski A., Böhm V. Characterization of carotenoids and vitamin E in *R. rugosa* and *R. canina*: Comparative analysis. *Food Chemistry*, 2018, no. 242, pp. 435–442. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.070>
49. Andersson S. C., Rumpunen K., Johansson E., Olsson M. E. Carotenoid content and composition in rose hips (*Rosa* spp.) during ripening, determination of suitable maturity marker and implications for health promoting food products. *Food Chemistry*, 2011, no. 128, pp. 689–696. doi:10.1016/j.foodchem.2011.03.088
50. Golovko T.K., Dymova O. V., Lashmanova E.A., Kuzivanova O.A. Content and composition of yellow pigments in the fruits of cloudberries and blueberries in the middle taiga zone of the European part of Russia. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* [Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk], 2011, vol.13, no. 1(4), pp. 813–816. (in Russ.)
51. Lashmanova K.A., Kuzivanova O.A., Dymova O.V. Northern berries as a source of carotenoids. *Acta Biochimica Polonica*, 2012, vol. 59, no. 1, pp. 133–134.

Liudmila P. Nilova, PhD of Engineering, associate Professor at the Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, nilova_l_p@mail.ru

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, potorokoi@susu.ru

Received July 14, 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Нилова, Л.П. Каротиноиды в растительных пищевых системах / Л.П. Нилова, И.Ю. Потороко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2021. – Т. 9, № 4. – С. 54–69. DOI: 10.14529/food210407

FOR CITATION

Nilova L.P., Potoroko I.Yu. Carotenoids in Plant Food Systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2021, vol. 9, no. 4, pp. 54–69. (in Russ.) DOI: 10.14529/food210407