

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ. «ОВОЩИ – ЗДОРОВЬЕ НАЦИИ»

УДК 581.19:635.1/.7

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ КАРОТИНОИДОВ

Голубкина Н.А. – д.с.-х.н., с.н.с. лаборатории экологических методов селекции

Пышная О.Н. – д.с.-х.н., зам.директора ВНИИССОК

Бондарева Н.В. – аспирант

ГНУ Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур Россельхозакадемии

143080, Россия, Московская область, п. ВНИИССОК, тел.: +7 (495) 599-24-42

E-mail: vniissok@mail.ru; segolubkina@rambler.ru

В статье представлен обзор литературы, посвященной каротиноидам овощных культур, факторам, влияющим на накопление последних, и их защитному действию против различных заболеваний человека.

Ключевые слова: каротиноиды, овощные культуры, биологическое действие



Среди известных пигментов живых организмов и, в первую очередь, растений, каротиноиды наиболее распространены и отличаются структурным разнообразием и широким спектром биологического действия. Это жирорастворимые соединения, синтезируемые растениями, водорослями, бактериями и грибами (Sandmann, 2001). Их исследование началось еще в 1831 году, когда Вакенродером был выделен из моркови в кристаллическом виде желтый пигмент β -каротин, а в 1837 году Берцелиусом из осенних листьев – желтые пигменты, названные ксантофиллами (Тее, 1992; Karnaukhov, 1990). Через 100 лет в 1933 году было известно уже 15 различных каротиноидов, в 1947 году – около 80, за последующие двадцать лет эта величина превысила 300 (Ong & Tee, 1992). В настоящее время в группу каротиноидов входит около 700 пигментов

(Armstrong, 1997; Varanski et al., 2005).

В природе эти вещества определяют цвет опадающих листьев, окраску цветов (нарциссы, ноготки) и плодов (цитрусовые, перец, томаты, морковь, тыква), насекомых (божья коровка), перьев птиц (фламинго, ибис, канарейка) и морских организмов (креветки, лосось) (Pfander, 1992). Эти пигменты обеспечивают различные цвета от желтого до темно-красного, а в комплексе с белками могут давать зеленое и голубое окрашивание (Ong & Tee, 1992). В растениях они являются вторичными метаболитами и подразделяются

каротиноидов в растениях осуществляется из изопрена через промежуточные фосфаты: изопентилдифосфат (IPP), диметилаллил дифосфат (DMAPP) и геранилгеранил дифосфат (GGPP) (рис.1). В настоящее время из растений, водорослей и микроорганизмов выделены гены важнейших ферментов, участвующих в биосинтезе каротиноидов (Cunningham & Gantt, 1998).

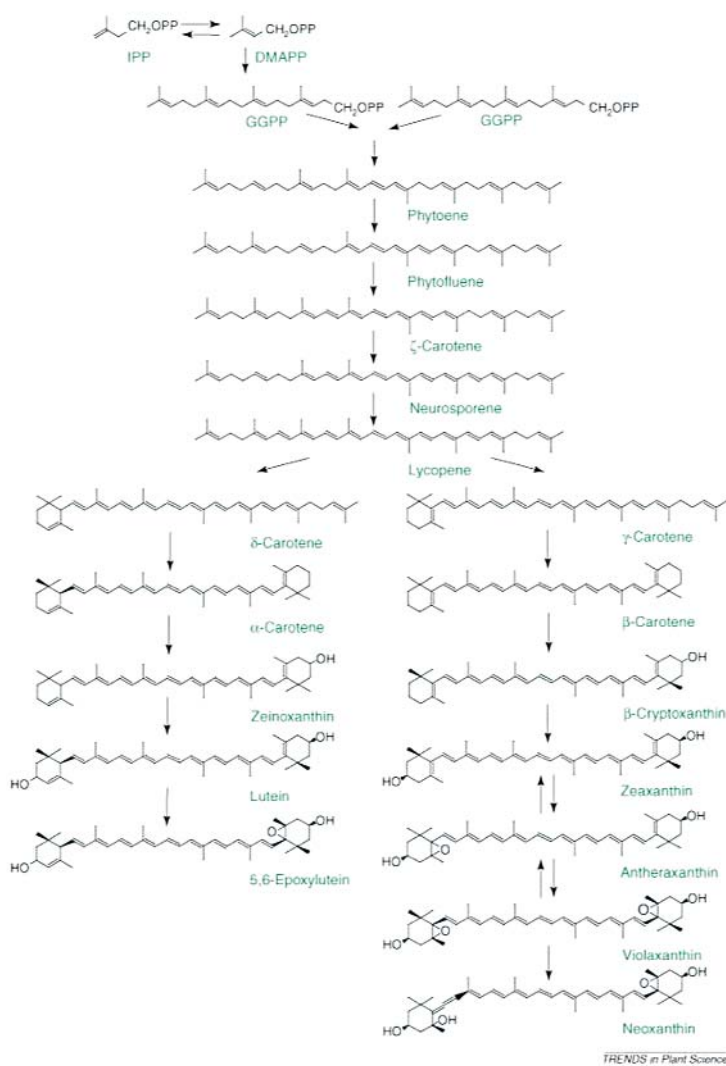
Рис. 1. Биосинтез каротиноидов

в растениях:

DMAPP – диметилаллил пирофосфат;

GGPP – геранилгеранил пирофосфат,

IPP- изопентил пирофосфат



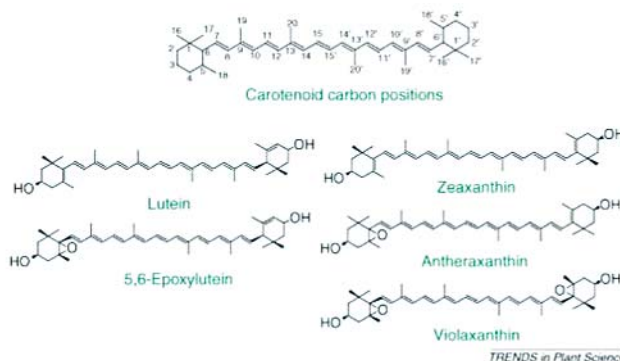
на две группы: окисленных ксантофиллов, таких как лютеин, зеаксантин, виолаксантин и каротиноидов-углеводородов, таких как β- и α-каротины и ликопин. Биосинтез всех

В высших растениях каротиноиды синтезируются и локализируются в клеточных пластидах, где они связаны в светочувствительные комплексы, участвуя в процессе фотосинтеза и защищая рас-

тения от оксидантного стресса, вызванного избыточным освещением (Faulks & Southon, 2005; Fraser & Bramley, 2004; Paulsen, 1999; Tracewell et al., 2001; Frank&cogdell, 1996; Niyogi, 1997).

Из 700 известных каротиноидов 40 постоянно присутствуют в пище человека (Bendich, 1993). Провитамином (A) активностью у млекопитающих обладают только β-каротин, α-каротин и криптоксантины (Paiva & Russell, 1999).

Рис.2. Структура зеаксантина, антераксантина, виолаксантина, лютеина и 5,6-эпоксилютеина. Конъюгированные двойные связи в положении 5,6 и 5',6' наиболее активно улавливают синглетный кислород (DiMascio et al., 1989, Young&Lowe, 2001)



Хотя каротиноиды присутствуют во многих традиционных продуктах питания, наиболее богатыми источниками для человека служат яркоокрашенные овощи, фрукты и соки (Mangels et al., 1993; Johnson, 2002; Agarwal & Rao, 1998), причем желто-оранжевые овощи и фрукты обеспечивают основную часть поступления β- и α-каротина, оранжевые фрукты являются источниками α-криптоксантина, темно-зеленые овощи – лютеина и др. (Mangels et al., 1993; Ong & Tee, 1992) (табл.1). При этом важнейшими факторами, определяющими каротиноидный состав и уровень аккумуляции каротиноидов, являются эндогенные (генетические, физиологические и биохимические) и экзогенные (освещенность, температура, применение удобрений) (Kurilich et al., 1999; Goldman et al., 1999; Kopsell et al., 2004; Kopsell et al., 2003).

Наименование	Идентифицированные каротиноиды
Брокколи	All-транс- β -каротин, all-транс-лютеин , 9-цис-лютеин, 9'-цис-лютеин, 13-цис-лютеин, all-транс и цис-лютеин эпоксид, неолютеин, all-транс-неоксантин, 9'-цис-неоксантин, виолаксантин, all-транс-зеаксантин, 9-цис-зеаксантин, 13-цис-зеаксантин
Капуста листовая	all-транс- β -каротин, all-транс-лютеин , 9-цис-лютеин, 9'-цис-лютеин, 13-цис-лютеин, all-транс и цис-лютеин эпоксид, неолютеин, all-транс-неоксантин, 9'-цис-неоксантин, виолаксантин, all-транс-зеаксантин, 9-цис-зеаксантин, 13-цис- зеаксантин
Морковь	all-транс- α -каротин, all-транс-β-каротин , лютеин, ликопин
Перец	α -каротин, β -каротин, β -криптоксантин, капсантин , капсорубин , лютеин, зеаксантин
Салат латук	all-транс-β-каротин , all-транс-лютеин , латукоксантин, 9-цис-лютеин, 9'-цис-лютеин, 13-цис-лютеин, all-транс- и цис-лютеин эпоксид, неолютеин, all-транс- неоксантин, 9'-цис-неоксантин, виолаксантин, all-транс-зеаксантин, 9-цис-зеаксантин, 13- цис-зеаксантин
Томаты	all-транс- β -каротин, γ -каротин, δ -каротин, ζ -каротин, all-транс-лютеин, all-транс- ликопин , неороспорин, фитоеин, фитофлуен, ликопин 5,6-диол
Фасоль желтая	all-транс- β -каротин, all-транс лютеин , , 9-цис-лютеин, 13-цис-лютеин, all-транс-лютеин эпоксид, 9'-цис-неоксантин, неолютеин, all-транс-виолаксантин, all-транс-зеаксантин, 9-цис-зеаксантин, 13- цис-зеаксантин
Шпинат	all-транс- β -каротин, all-транс-лютеин , 9-цис-лютеин, 9'-цис-лютеин, 13-цис-лютеин, all-транс- и цис-лютеин эпоксид, неолютеин, all-транс-неоксантин, 9'-цис-неоксантин, виолаксантин, all-транс-зеаксантин, 9-цис-зеаксантин, 13- цис-зеаксантин

1. Важнейшие каротиноиды овощных культур (Kopsell&Kopsell, 2006)

Хорошо известны видовые различия овощных культур в аккумуляции каротиноидов (Sommerburg et al., 1998; Klein & Perry, 1982; Kimura & Rodriguez-Amaya, 2003). Фракционный состав каротиноидов каждой культуры неповторим, при этом отдельные овощные культуры характеризуются особыми механизмами биосинтеза каротиноидов, синтезируя строго специфические формы: салат (*Lactuca*), наряду с традиционными каротиноидами, содержит лактукаксантин, плоды перца *Capsicum* – капсантин, капсорубин и криптоксантин (Gross, 1991), для томата характерен ликопин (табл.3).

Установлены существенные сортовые различия в содержании каротиноидов: для моркови (Nicolle et al., 2004), кукурузы (Kurlich & Juvik, 1999), капусты листовой (Kurlich et al., 1999; Kopsell et al., 2004;

**Жирным шрифтом выделены каротиноиды, присутствующие в наибольшем количестве*

Mercadante & Rodriguez-Amaya, 1991), салата-латука (Mou, 2005), картофеля (Nesterenko & Sink, 2003), перца (Simonne et al., 1997; Howard et al., 2000; Ayhan & Feramuz, 2007) и сои (Simonne et al., 2000). Наши исследования показали, что интервал наблюдаемых concentra-

ций каротиноидов в порошке коллекционных сортообразцов перца паприки ВНИИССОК составил 176-567 мг/кг сухой массы (табл. 4).

4. Содержание каротиноидов в порошке коллекционных сортов паприка ВНИИССОК

Наименование	Содержание каротиноидов, мг/100 г сухой массы
F₁ Figaneste L.	176±13
F₁ Удалец	179±15
Sop. Banana	209± 33
Ежик	269±74
Малыш	288±22
Federico	322±29
Hodoniska sladka	348± 38
Маяк	449±33
F₁ PC9007	474±44
Sweet pepper BAF	503±18
F₁ PC9003	567±34

3. Каротиноидный состав некоторых овощных культур, мкг/100 г
(Holden et al., 1999; Boileau et al., 1998; Gebhardt et al., 1999)

Наименование	α -каротин	β -каротин	β -криптоксантин	Лютеин + зеаксантин	Ликопин
Шпинат	0	5597	0	11938	0
Кабачки	0	90	0	290	0
Кабачки цуккини с кожурой	0	410	0	2125	0
Сладкий картофель	0	9180	0	0	0
Томатный сок	0	428	0	60	9318
Томатная паста	29	1242	0	170	29330
Томатный соус	0	410	0	1	14916
Томаты красные свежие	112	393	0	130	3025
Маранта	0	2554	0	0	
Аспарагус	12	493	0	0	
Фасоль зеленая	68	377	0	640	
Свекла (листья)	5	3405			
Капуста брокколи	1	779	0	2445	0
Капуста брюссельская	6	450	0	1590	0
Морковь	4425	7275	0	358	0
Кетчуп	0	730	0	0	17008
Сельдерей	0	150	0	232	0
Мангольд	49	3954			
Хризантема	0	1320	24		
Кориандр (кинза)	72	3440	404		
Огурцы (с кожурой)	8	31			
Капуста листовая	0	9226	0	39550	0
Салат (ромэн)	0	1272	0	2635	0
Салат (айсберг)	2	192	0	352	0
Горох овощной (зеленый горошек)	19	485			
Перец сладкий	59	2379	2205		

Среди экзогенных факторов существенное влияние на накопление каротиноидов оказывает температура выращивания (Lefsrud et al.,

2. Каротиноидный состав плодов перца сладкого сорта Almuden при различных технологиях выращивания (мг/кг сырой массы)

единений во многом определяют их биологическую активность. Исследование ингибирования перекисного окисления липидов под действи-

Каротиноид	Органическое земледелие	Интегрированное земледелие	Традиционное земледелие
Общее содержание	3231	2493	1829
Капсорубин	255	190	130
Виолаксантин	265	224	185
Капсантин	1510	1076	750
Цис-капсантин	353	325	303
Зеаксантин	238	220	211
β -криптоксантин	315	238	165
β -каротин	295	219	85
Красная фракция*	2038	1542	1088
Желтая фракция**	1193	902	639

2005), интенсивность освещенности (Lefsrud et al., 2006), длительность светового периода (Lefsrud et al., 2006) и использование удобрений (Hochmuth et al., 1999; Chenard et al., 2005). Известно, что в тени содержание лютеина и β -каротина в растениях ниже, чем на свету (Demmig-Adams et al., 1996), а капуста листовая, выращенная летом, имеет более высокие концентрации этих каротиноидов, чем при выращивании в зимний период (Azevedo & Rodriguez-Amaya, 2005). По мере роста содержание каротиноидов в листьях возрастает, а на стадии старения снижается (deAzevedo & Rodriguez-Amaya, 2005), то есть количество каротиноидов в растении зависит и от времени сбора урожая. Экспериментальные исследования подтверждают, что органическое земледелие обеспечивает наибольшее накопление плодами перца сладкого красных и желтых пигментов (Perez-Lopez et al., 1999) (табл. 2).

*Красная фракция = капсорубин + капсантин и изомеры

**Желтая фракция = β -каротин + β -криптоксантин + зеаксантин + виолаксантин

Биодоступность каротиноидов сильно варьирует и зависит как от вида растения, так от структуры каротиноида, степени его освобождения из пищевой матрицы, технологии переработки овощей, уровня потребления и величины абсорбции в кишечнике, интенсивности транспорта липопротеиновыми фракциями, биохимических превращений и специфического аккумуляирования каротиноидов в той или иной ткани, а также от пищевого статуса организма.

Среди различных биологически активных соединений овощей и фруктов каротиноиды принято считать одними из наиболее мощных улавливателей синглетного кислорода (DiMascio et al., 1989). Именно антиоксидантные свойства этих со-

ем различных каротиноидов (рис.3) показало снижение уровня ингибирования от 60 до 15% в ряду: зеаксантин> β -каротин= β -криптоксантин>лютеин>ксантаксантин>ликопин. (В исследовании оценивали количество малонового диальдегида. Ингибирование перекисного окисления рассчитывали по сравнению с образцами, не содержащими каротиноиды).

Антиоксидантная активность циклических каротиноидов определяется чувствительностью 5,6 и 5',6' двойных связей к окислению синглетным кислородом $1O_2$ с образованием эпоксидов (DiMascio et al., 1989), а у ациклических каротиноидов (например, ликопин) – значительным количеством сопряженных двойных связей (Young&Lowe, 2001). В связи с этим в растениях присутствуют и 5,6 и 5',6' эпоксидные формы каротиноидов. Так, соотношение количества эпоксида лютеина к лютеину неокисленному у капусты белокочанной (*Brassica oleracea*

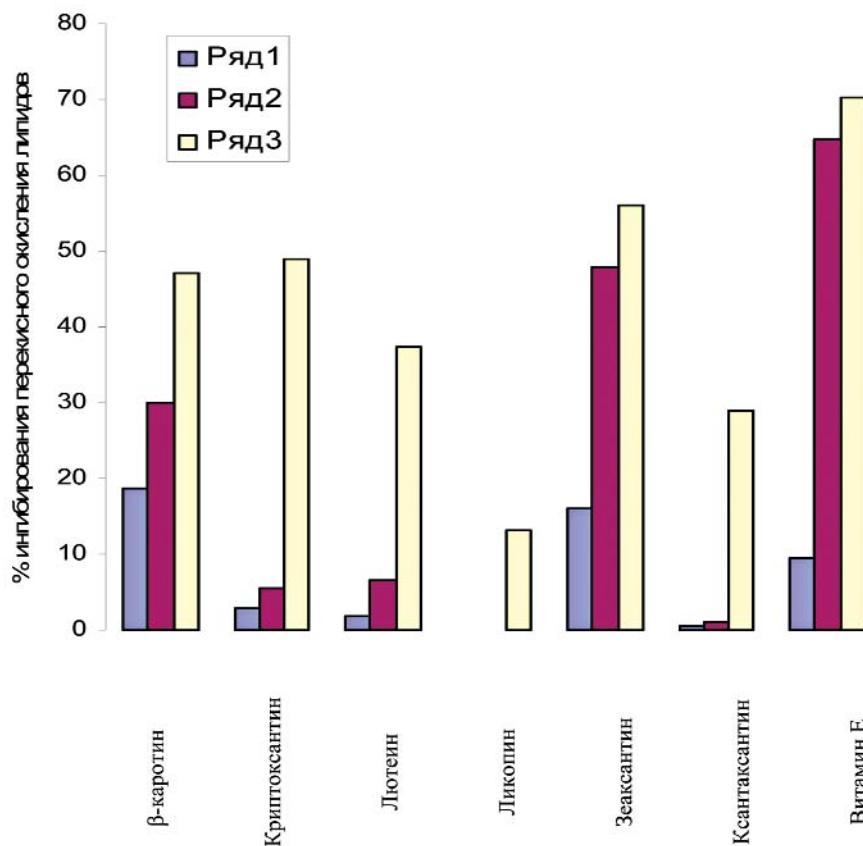
Рис. 3. Влияние каротиноидов на перекисное окисление липидов в модельной системе (Surai et al., 1995).

Ряд 1-й - 2,5 мкг/г,

ряд 2-й - 5 мкг/г,

ряд 3-й - 10 мкг/г

(гомогенат мозга вылупившегося цыпленка в фосфатном буфере)



var. capitata) составляет 1/1,5, брокколи (*Brassica oleracea* var. botrytis) – 1/2, шпинат (*Spinacia oleracea*) – 1/6, капусты декоративной – (*Brassica oleracea* var. acephala) – 1/23 (Khachik, 1986). Эпоксидные формы не обладают антиоксидантной активностью, а в ряде случаев могут проявлять прооксидантные свойства. Кроме того, сложность каротиноидного состава растений определяется наличием цис-транс-изомерии двойных связей (Khachik et al., 1986). Известна фото, термо- и химическая изомеризация двойных связей каротиноидов, причем, цис-транс-изомеры различаются по

интенсивности абсорбции в кишечнике. Например, в свежих овощах ликопин присутствует преимущественно в all-транс-форме, в то время как в крови человека это в основном цис-форма (Wu et al., 2003). Напротив, цис-β-каротин легче выводится из организма, чем транс-форма, что

ступающего с пищей (Anand et al., 2008). В целом человеком абсорбируется около 10-30% ликопина пищи (Gartner et al., 1997; Rao & Agarwal, 1999). Положительное влияние на уровень абсорбции ликопина оказывает присутствие жирорастворимых соединений, включая другие каротиноиды. При этом показано, что ликопин из термически обработанных плодов томата абсорбируется эффективнее, чем из сырых за счет присутствия цис-изомеров, образующихся при кулинарной обработке (Stahl & Sies, 1992). Цис-изомеры образуются также и в организме человека и животных при потреблении транс-форм (Rao & Agarwal, 2000; Jain et al., 1999). Помимо сыворотки крови ликопин накапливается в значительных количествах в яичках, надпочечниках, предстательной и молочной железе, а также печени (Rao & Rao, 2006; Jain, 1999). Благодаря своим антиоксидантным свойствам каротиноиды привлекают особое внимание в борьбе за предотвращение таких хронических заболеваний, как рак, сердечно-сосудистые заболевания, диабет и остеопороз (Paiva & Russell, 1999; Astrog et al., 1997). Важнейшей биологической функцией каротиноидов в организме человека является провитаминная (А) активность. Каротиноиды, обладающие такой активностью, поддерживают дифференциацию здоровых эпителиальных клеток, нормализуют репродуктивные функции и зрение (Combs, 1998). Витамин А входит в состав зрительного пигмента родопсина, что объясняет важную роль β-каротина, α-каротина и криптоксантинов в поддержании зрения. В частности, недостаток витамина А в пище может приводить к развитию так называемой «куриной» слепоты, характеризующейся существенным снижением чувствительности сетчатки глаза в сумерках, а в тяжелых

указывает на предпочтение абсорбции транс-β-каротина (Livny et al., 2003).

Около 90% всех каротиноидов в пище и человеческом теле представлено β- и α, ликопином, лютеином и криптоксантином (Gerster, 1997). Ликопин является одним из основных каротиноидов Средиземноморской диеты и обеспечивает поступление в организм человека до 50% всех каротиноидов. Среди овощей томат представляет собой основной источник ликопина, а продукты на основе томата (кетчуп, томатная паста, соусы) обеспечивают человеку 85% всего ликопина, по-

ступающего с пищей (Anand et al., 2008). В целом человеком абсорбируется около 10-30% ликопина пищи (Gartner et al., 1997; Rao & Agarwal, 1999). Положительное влияние на уровень абсорбции ликопина оказывает присутствие жирорастворимых соединений, включая другие каротиноиды. При этом показано, что ликопин из термически обработанных плодов томата абсорбируется эффективнее, чем из сырых за счет присутствия цис-изомеров, образующихся при кулинарной обработке (Stahl & Sies, 1992). Цис-изомеры образуются также и в организме человека и животных при потреблении транс-форм (Rao & Agarwal, 2000; Jain et al., 1999). Помимо сыворотки крови ликопин накапливается в значительных количествах в яичках, надпочечниках, предстательной и молочной железе, а также печени (Rao & Rao, 2006; Jain, 1999).

Благодаря своим антиоксидантным свойствам каротиноиды привлекают особое внимание в борьбе за предотвращение таких хронических заболеваний, как рак, сердечно-сосудистые заболевания, диабет и остеопороз (Paiva & Russell, 1999; Astrog et al., 1997). Важнейшей биологической функцией каротиноидов в организме человека является провитаминная (А) активность. Каротиноиды, обладающие такой активностью, поддерживают дифференциацию здоровых эпителиальных клеток, нормализуют репродуктивные функции и зрение (Combs, 1998). Витамин А входит в состав зрительного пигмента родопсина, что объясняет важную роль β-каротина, α-каротина и криптоксантинов в поддержании зрения. В частности, недостаток витамина А в пище может приводить к развитию так называемой «куриной» слепоты, характеризующейся существенным снижением чувствительности сетчатки глаза в сумерках, а в тяжелых

Каротиноиды

Биологическое действие

Провитаминная активность
Дезактивация активных форм кислорода
Регулирование работы системы детоксикации
Влияние на пролиферацию клеток
Индукция клеточных взаимосвязей
Ингибирование клеточного цикла
Модулирование передачи сигналов
Поддержание иммунитета
Участие в метаболизме лекарственных препаратов
Модулирование гормонального статуса

Предотвращение заболеваний

«Куриная» слепота
Катаракта
Рак
Сердечнососудистые заболевания
Остеопороз
ВИЧ
AMD

Биологическое действие каротиноидов (Rao et al., 2006; Rao, 2006)

случаях к развитию так называемого «трубчатого» зрения», когда светочувствительные клетки периферической части сетчатки перестают работать. Лютеин и зеаксантин – два из семи каротиноидов, обнаруженных в плазме крови и это единственные каротиноиды сетчатки и хрусталика (Bone, 1997). В сетчатке лютеин и зеаксантин ответственны за желтую пигментацию и получили назва-

ние пигменты желтого пятна (Khachik, 1997). Этот участок занимает всего 2% от всей поверхности сетчатки и состоит исключительно из клеток колбочек, ответственных за цветное зрение. Предполагают, что пигменты желтого пятна участвуют в фотопротекции, и пониженное содержание лютеина и зеаксантина в пище может быть связано с поражением сетчатки (Wooten et al.,

1999). Увеличение количества этих пигментов может быть осуществлено путем увеличения потребления антиоксидантов, овощей и фруктов, каротиноидов пищи, нормализации индекса массы тела и отказа от курения. Многие из этих факторов связаны также с пониженным риском развития старческой дегенерации желтого пятна, что предполагает существование причинно-следственной связи (Schalch, 1999). Исследования показывают, что повышение доли лютеина и зеаксантина, а также ликопина снижает риск макулярной дегенерации (Cardinaut et al., 2005; Richer et al., 2004; Johnson, 2002) Следует особенно отметить, что высокие уровни потребления различных овощей, обеспечивающих поступление в организм разнообразных каротиноидов, снижают риск заболеваний глаз более мощно, чем потребление индивидуальных каротиноидов (Johnson et al., 2000).

В целом данные эпидемиологических исследований предполагают

УВЕЛИЧЕНИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЦА ОСТРОГО (*CAPSICUM ANNUUM L.*) В РЕЗУЛЬТАТЕ ИНДУЦИРОВАННОЙ ПОЛИПЛОИДИИ

M. Kulkarni, T. Borse. Induced polyploidy with gigas expression

for root traits in *Capsicum annuum* (L.). *Plant Breeding*, 2010.- Vol. 129.- Issue 4.- P. 461-464.



У перца острого (*Capsicum annuum* св. 'GVC-111') с помощью колхицина была индуцирована полиплоидия, в результате чего были получены растения с сильно увеличенной в размерах корневой системой. Удвоение хромосом было получено путем использования водного раствора колхицина различных концентраций (0,05%, 0,1%, 0,2% and 0,4%) на предварительно замоченных семенах либо на кончике побега молодых проростков в течение 24, 48 и 72 часов. Всего 313 растений со значительным увеличением длины устьиц (на 48,6%), более низкой частотой устьиц на мм² (41,7%) и увеличенным количеством хлоропластов в замыкающих

клетках листа (47,3%) были отобраны как потенциальные полиплоиды для последующего анализа с помощью проточной цитометрии. Анализ показал, что из 313 отобранных образцов 31 растение оказалось тетраплоидным, 270 – миксоплоиды, и 12 – диплоиды. Шесть тетраплоидных растений были отобраны для более детального изучения увеличенной в размерах корневой системы с удлинением первичным корнем и повышенной плотностью боковых корней. Это исследование демонстрирует успешное использование колхицина для получения новых мутаций в развитии корневой системы растений перца.

положительную взаимосвязь между высоким уровнем потребления каротиноидов и низким риском хронических (Johnson, 2002; Agarwal & Rao, 2000; Elliott, 2005), сердечно-сосудистых заболеваний (Johnson, 2002; Ribaya-Mercado & Blumberg, 2004; Granado et al., 2003), некоторых форм рака (Tabg et al., 2005; Seifried et al., 2003; Finley, 2005; Mazuda et al., 2002), уровнем иммунитета (Hughes, 1999; Garcia et al., 2003).

Исследования антиканцерогенного действия каротиноидов выявили протекторный эффект β -каротина от рака легких у некурящих (Touvier et al., 2005) и особенно у мужчин (Ito et al., 2005). Потребление высоких доз каротиноидов снижает риск некоторых видов лимфомы (Kelemen et al., 2006), но не влияет на величину риска развития рака мочевого пузыря (Holick et al., 2005). Ликопин способен предотвращать рак предстательной железы.

Снижение риска сердечно-сосу-

дистых заболеваний под действием каротиноидов обусловлено защитой липопротеинов низкой плотности от перекисного окисления и уменьшением интенсивности оксидантного стресса в местах локализации атеросклеротических бляшек. Когортные исследования позволили установить защитную роль каротиноидов пищи (в первую очередь β -каротина и β -криптоксантина) от сердечно-сосудистых заболеваний в Италии (Kohlmeier, Hastings, 1995; 1997; Kritenson et al., 1997), Японии (29), Европе (Schmidt et al., 1997) и Коста Рике (31). Существует ряд работ, подтверждающих защитный эффект ликопина в отношении предотвращения сердечно-сосудистых заболеваний (Arab & Steck, 2000; Rissanen, 2006; Rissanen et al., 2000). Эпидемиологические исследования на 662 больных и 717 здоровых людях из 10 различных Европейских стран показали дозозависимую взаимосвязь между уровнем потребления ликопина и риском

инфаркта миокарда (Kohlmeier et al., 1997; Kohlmeier & Hastings, 1995). При сравнении уровней потребления ликопина в Литве и Швеции было показано возрастание риска развития и смертности от коронарной болезни сердца (CHD) в условиях недостатка потребления ликопина (Kritenson et al., 1997). Как оказалось, ликопин свежих плодов томата, а также соусов, кетчупов, томатного сока значительно снижает уровень окисленных форм липопротеинов низкой плотности и уменьшает уровень холестерина в крови, снижая тем самым риск сердечно-сосудистых заболеваний (Agarwal & Rao, 1998; Fuhramn et al., 1997).

Предотвращение раковых заболеваний при потреблении высоких доз каротиноидов связано со способностью последних ингибировать пролиферацию клеток, их трансформацию и модулировать экспрессию детерминантных генов. Снижение риска заболевания раком связано с окисленными ка-

ЕДИНИЧНЫЙ РЕЦЕССИВНЫЙ ГЕН, ОТВЕЧАЮЩИЙ ЗА ПРИЗНАК МНОГОЦВЕТКОВОСТИ У ТЫКВЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*CUCURBITA PEPO L.*)

Harry S. Paris, Aviva Hanan. *Single Recessive Gene for Multiple Flowering in Summer Squash. HortScience, 2010. - V. 45. - P. 1643-1644.*



Большинство растений тыквы обыкновенной *Cucurbita pepo L.*, формируют один бутон в пазухе одного листа, хотя некоторые генотипы могут формировать два или более бутонов. Задачей данного исследования было установить тип наследования признака многоцветковости у тыквы обыкновенной. Сорт «True French» был скрещен с образцом №1777, являющимся выровненной линией данного сорта и несущим признак многоцветковости. Родительские генотипы, растения первой генерации и растения, полученные от возвратного скрещивания, выращивали в теплице и каждые первые 15 пазух листа были оценены по количеству сформировавшихся в них цветоч-

ных бутонов. Почти все растения F_1 независимо от направления скрещивания и растения, полученные от беккросса с сортом «True French» формировали по одному бутону в каждой пазухе листа. Примерно 1/4 часть растений F_2 независимо от направления скрещивания, а также половина растений, полученных от беккросса с №1777, формировали два и более цветочных почечек на одну пазуху листа. Результаты показали, что за способность формировать больше, чем один цветок на одну пазуху листа у растений тыквы обыкновенной, отвечает один рецессивный ген, который был назван нами как ген многоцветковости и обозначен символом *mf*.

ротиноидами (ксантофиллами), такими как β -криптоксантин и лютеин, а также неокисленными формами, такими как β -каротин и ликопин (Beecher & Khachik, 1984). Исследования на культурах клеток показали, что, помимо β -каротина, антиканцерогенную активность могут проявлять некоторые другие каротиноиды, причем в ряде случаев выше активности β -каротина (Pung et al., 1988; Levy et al., 1995). Установлено, что антиканцерогенными свойствами обладают α -каротин, лютеин, зеаксантин, β -криптоксантин, фукоксантин, астаксантин, капсантин, кроцетин и фитоен (Nishino et al., 2002). Ксантофилл капсантин, являющийся типичным и главным каротиноидом красной паприки, ингибирует более эффективно фотоокисление полиненасыщенной линолевой кислоты, чем β -каротин, ликопин и лютеин (Hirayama et al., 1994) и выступает в роли антиоксиданта против атаки свободных радикалов и синглетного кислорода в липопротеине плазмы (Lim et al., 1992). По-видимому,

капсантин среди каротиноидов является наиболее мощным в улавливании свободных радикалов и деактивации синглетного кислорода. Таким образом, предполагают, что капсантин также обладает антиканцерогенной активностью, как и другие каротиноиды.

Антиканцерогенные свойства ликопина подтверждены эпидемиологическими исследованиями (Giovannucci et al., 2002; Giovannucci, 1999; Giovannucci et al., 1995; Colditz et al., 1985; Franceschi et al., 1994), исследованиями *in vitro* и на лабораторных животных (Jain et al., 1999; Forssberg et al., 1959; Lingen et al., 1959; Guttenplan et al., 2001; Rao, 2006), а также на человеке (Rao et al., 1999; Rao, 2002; Kucuk & Wood, 2002; Heath et al., 2006; Kucuk et al., 2001; Bowen et al., 2002). Основными механизмами антиканцерогенного действия ликопина, как предполагают, являются участие в деактивации активных форм кислорода, регулирование работы системы детоксикации, влияние на пролиферацию

клеток, индукция клеточных взаимосвязей, ингибирование клеточного цикла и модулирование передачи сигналов.

Наиболее интенсивно изучено защитное действие ликопина на предотвращение рака предстательной железы. Впервые факт снижения риска рака простаты при потреблении большого количества плодов томата был установлен в 1995 году (Giovannucci et al., 1995). Несколько позднее в 1999 году была показана обратная корреляция между содержанием ликопина в сыворотке крови и частотой случаев рака простаты, молочной железы, шейки матки, яичника, печени и других органов (Giovannucci, 1999). Последующие исследования показали, что увеличение содержания ликопина в сыворотке крови за счет изменения его содержания в диете значительно снижает риск раковых заболеваний (Rao et al., 2006; Rao & Rao, 2004; Giovannucci, 2002; Kucuk et al., 2001). Показательно, что при раке предстательной железы у больных наблюдалось

АНАЛИЗ СИКВЕНСА И ЭКСПРЕССИИ ГЕНА ORF224, СВЯЗАННОГО С ДВУМЯ ТИПАМИ ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ МУЖСКОЙ СТЕРИЛЬНОСТИ У РАПСА (*BRASSICA NAPUS L.*)

Liu J., Li M., Wang H., Yu L., Li D. Sequence analysis and expression of *orf224* gene associated with two types of cytoplasmic male sterility in *Brassica napus L.* Z. Naturforsch C., 2010.- 65(5-6). P. 395-402.



Рolima и Shaan 2A – две наиболее широко используемые формы ЦМС для использования в гетерозисной селекции рапса. Предыдущее исследование показало, что митохондриальный ген *orf224* дифференциально экспрессировался у нормальных линий, стерильных линий и линий-закрепителей. Анализ сиквенса кодирующей части гена *orf224*, амплифицированной у *Polima* и *Shaan 2A*, показал, что у обеих ЦМС-форм она составляет 675 пар оснований в длину, при этом гомология по нуклеотидному и аминокислотному составу составляет 99,9% и 99% соответственно. Также сиквенс кодирующей части гена *orf224*, амплифицированной у *Polima* и *Shaan*

2A, показал определенную степень гомологии с другими видами *Brassica spp.* и арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana*). Сиквенс предполагаемого промотора гена *orf224* показал полную гомологию между *B. napus* и *A. thaliana*, однако сиквенс в сторону 5'-конца от предполагаемого промотора значительно отличался у *B. napus* и *A. thaliana*. Анализ первичной и вторичной структуры протеина, кодируемого геном *orf224* двух исследованных образцов, показал наличие α -спирали, натянутости нити и случайных завитков. После клонирования *in vitro* было показано, что эти два протеина могут экспрессироваться в *Escherichia coli* BL21.

снижение в сыворотке крови только ликопина, но не β -каротина, лютеина, криптоксантина, витаминов Е и А (Rao et al., 1999). Введение в диету как чистого ликопина (Kucuk & Wood, 2002; Kucuk, 2001), так и томатного соуса (Bowen et al., 2002) значительно увеличивало уровень этого каротиноида в крови, снижало уровень PSA и интенсивность окисления ДНК. Среди других работ следует указать исследования, установившие защитную роль ликопина в отношении рака молочной железы, легких, желудочно-кишечного тракта, поджелудочной железы, шейки матки, яичника (Giovannucci, 1999). На культуре ре тканей был показан ингибирующий эффект ликопина на рост раковых клеток человека (Rao, 2006; Karas et al., 2000; Prakash et al., 2001). На животных установлена обратная корреляция между уровнем потребления ликопина и ростом опухолей (Nagasawa et al., 1995; Sharoni et al., 1997).

Благодаря антиоксидантным свойствам каротиноиды способны защищать организм от других патологических состояний, связанных с оксидантным стрессом (Rao, 2006). Эпидемиологические исследования показывают, что β -каротин и ликопин совместно с витаминами С и Е в значительной степени снижают риск развития остеопороза (Melhus et al., 1999; Morton et al., 2001; Singh, 1992; Leveille et al., 1997. Этот факт представляется особенно важным в профилактике остеопороза у женщин в период менопаузы, характеризующийся существенным снижением антиоксидантной защиты (Rao et al., 2007).

Установлено положительное действие ликопина в снижении систолического давления у гипертоников, для которых характерно развитие оксидантного стресса (Paran & Engelhard, 2001; Paran, 2006,

Moriel et al., 2002).

Другой пример мощного оксидантного стресса – цирроз печени – сопровождается значительным снижением уровня каротиноидов и витамина А в сыворотке крови (Rao, Mira, Rao, 2006; Paran & Engelhard, 2001). В связи с полученными результатами сделаны рекомендации по введению в диету гипертоников дополнительных источников ликопина и других каротиноидов, а также полифенолов и флавоноидов (Most, 2004).

Мужское бесплодие связано, как известно, с образованием в сперме значительного количества активных форм кислорода, в то время как у здоровых мужчин активные формы кислорода в семени не обнаружены (Iwasaki & Gagnon; 1992; Zini et al., 1993). Учитывая, что содержание ликопина в семени инфертильных мужчин ниже, чем у здоровых лиц, была предпринята попытка коррекции обеспеченности ликопином. Потребление в течение года такими больными 8 мг ликопина в день значительно повысило подвижность сперматозоидов, улучшало их морфологию и обеспечило 5% случаев зачатия (Palan & Naz, 1996).

В настоящее время исследуется роль ликопина в развитии нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера (Rao & Balachandran, 2003). Благодаря высокому уровню усвоения кислорода, большим концентрациям липидов и низкой антиоксидантной способности человеческий мозг является весьма уязвимым для воздействия оксидантов. Показано, что ликопин присутствует в малых концентрациях в нервной ткани, причем, его концентрация снижена при болезни Паркинсона и сосудистой деменции (Fou et al., 1999). Повышенный риск микроангиопатии наблюдали при низких уровнях лико-

пина и α -токоферола в сыворотке крови (Schmidt et al., 1997). Сообщалось о защитном действии ликопина против амиотрофного латерального склероза (Longnecker et al., 2000).

Установлен защитный эффект ликопина томата на возникновение и развитие эмфиземы. Ожидается, что защитный эффект ликопина может проявиться у больных диабетом, с заболеваниями кожи, ревматоидным артритом периодонтальных заболеваниях и воспалительных процессах (Rao et al., 2006). Антиоксидантные свойства ликопина открывают также широкие возможности его применения в фармацевтической, пищевой и косметической промышленности (Stahl W., 2006).

Ликопин до сих пор не рассматривают как эссенциальный нутриент и поэтому оптимальные уровни потребления не утверждены. Однако, основываясь на данных исследований протекторного действия ликопина, можно констатировать, что суточное потребление для борьбы с оксидантным стрессом и предупреждения хронических заболеваний должно составлять 5-7 мг/день (Rao & Shen, 2002). При наличии заболеваний, таких как рак или сердечно-сосудистые заболевания, уровни потребления ликопина желателно увеличить до 35-75 мг (Heath et al., 2006). Эпидемиологические данные потребления ликопина показывают, что эти величины составляют 3,0-16,2 мг/сутки в США, 25,2 мг – в Канаде, 1,3 мг – Германии, 1,1 мг – Великобритании и 0,7 мг – Финляндии (Rao, 2002). Следует отметить, что для большей части населения Северной Америки уровень потребления составляет менее 2 мг ликопина в день. Для населения России такие данные отсутствуют.

Литература

- Arab L., Steck S. Lycopene and cardiovascular disease//Am J. Clin. Nutr.-2000.-Vol. 71 (suppl). -P. 1691-1695.
- Agarwal S., Rao A.V. Tomato lycopene and low density lipoprotein oxidation: a human dietary intervention study//Lipids.-2000.-Vol. 33 -P. 981-984.
- Ayhan T., Feramuz O. Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey//J. Food Comp. Anal.-2007.- Vol.20 (Iss. 7).-P. 596-602.
- de Azevedo C.H., Rodriguez-Amaya D.B. Carotenoids of endive and New Zealand spinach as affected by maturity, season and minimal processing//J.Food Comp.Anal. -2005.-Vol. 18.-P.845-855.
- Anand P., Runnumakara A.B., Sundaram C., Harikumar K.B., Tharakan S.T., Lai O.S., Sung B., Aggarwal B.B. Cancer is a preventable disease that requires major lifestyle changes//Pharm.Res.-2008.-Vol.25 (No9).-P.2097-2126.
- Armstrong G.A. Genetics of eubacterial carotenoid biosynthesis: a colourful tale//Ann.Rev.Microbiology.-1997.-Vol.51.-P.629-659.
- Astrog P., Gradelet S., Berges R., Suschetet M. Dietary lycopene decreases initiation of liver preneoplastic foci by diethylnitrosamine in rat//Nutr. Cancer-1997.-Vol. 29. -P. 60-68.
- Azevedo C.H., Rodriguez-Amaya D.B. Carotenoid composition of kale as influenced by maturity, season and minimal processing//J.Sci.Food Agr.-2005.-Vol.85.-P.591-597.
- Beecher G.R., Khachik F. Evaluation of vitamin A and carotenoid data in food composition tables//J. Natl. Cancer Inst -1984.-Vol.73-P.1397-1404.
- Bendich A. Biological functions of carotenoids.//in LM Canfield et al eds «Carotenoids in human health, NY Academy of Sciences-1993.-P.61-67.
- Boileau T.W.M, Moor A.C, Erdman J.W. Carotenoids and vitamin A in Antioxidant Status, Diet, Nutrition and Health, ed Papas AM, CRC Press, Boca Raton, London-NY.- 1998.-P.133-158.
- Bone R.A., Landrum J.T., Friedes L.M., Gomez C.M., Kilburn M.D., Menendez E., Vidal I., Wang W. Distribution of lutein and zeaxanthin stereoisomers in the human retina//Exp. Eye Res. -1997.-Vol.64.-P. 211-218.
- Bowen P., Chen L., Stacewicz-Sapuntzakis M. Tomato sauce supplementation and prostate cancer:ycopene accumulation and modulation of biomarkers of carcinogenesis//Exp. Biol. Med. -2002.-Vol.227 (10).-P. 886-893.
- Cardinault N., Abalain J.H., Sairafi B., Coudray C., Grolier P., Rambeau M., Carre J.L., Mazur A., Rock E. Lycopene but not lutein nor zeaxanthin decreases in serum and lipoproteins in age-related macular degeneration patients//Clin.Chim.Acta-2005.-Vol.357(1).-P.34-42.
- Chenard C.H. Nitrogen concentration affects nutrient and carotenoid accumulation in parsley//J. Plant Nutr.-2005.-Vol. 28.-P.285-297.
- Colditz G.A., Branch L.G., Lipnick R.J., Willett W.C., Rosner B., Posner B.M., Hennekens C.H. Increased green and yellow vegetable intake and lowered cancer deaths in an elderly population//Am J. Clin. Nutr.-1985.-Vol. 41 (1)-P. 32-36.
- Combs G.F. Vitamin A, the vitamins: Fundamental Aspects in Nutrition and Health (2nd ed) Acad.Press.-1998.-P.107-153.
- Cunningham F.X., Gantt E. Genes and enzymes of carotenoid biosynthesis in plants// Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. -1998-Vol.49. -P. 577-583.
- Demmig-Adams B., Gilmore A.M., Adams W.W In vivo function of carotenoids in higher plants//FASEB J.- 1996.-Vol.10-P.404-412.
- Di Mascio P., Kaiser S., Sies H. Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher//Arch. Biochem. Biophys. -1989.-Vol.274.-P. 532-538.
- Elliott R. Mechanisms of genomic and non-genomic actions of carotenoids//Biochim Biophys Acta -2005.-Vol.1740.-P. 147-154.
- Faulks R.M., Southon S. Challenges to understanding and measuring carotenoid bioavailability, //Biochim. Biophys. Acta -2005.-Vol.1740.-P. 95-100.
- Finley J.W. Proposed criteria for assessing the efficacy of cancer reduction by plant foods enriched in carotenoids, glucosinolates, polyphenols and selenocompounds//Ann.Bot.(Lond.)-2005-Vol.95.-P.1075-1096.
- Forssberg A., Lingen C., Ernster L., Lindengerg O. Modification of X-irradiation syndrome by lycopene//Exp. Cell. Res.-1959.-Vol. 16-P.7-14.
- Foy C.J., Passmore A.P., Vahidassr M.D., Young I.S., Lawson J.T. Plasma chain-breaking antioxidants in Alzheimer's disease, vascular dementia and Parkinson's disease//QJM -1999-Vol.92.-P. 39-45.
- Franceschi S., Bidoli E., La Vecchia C., Talamini R., D'Avanzo B., Negri E. Tomatoes and risk of digestive-tract cancers//Int. J. Cancer.-1994.-Vol.59 (2).-P.181-184.

- Frank H.A., Cogdell R.J. Carotenoids in photosynthesis//Photochem. Photobiol. -1996.-Vol.63. -P. 257-264.
- Fraser P.D., Bramley P.M. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids//Prog. Lipid Res. -2004.-Vol.43.-P. 228-265.
- Fuhrman B., Elis A., Aviram M. Hypocholesterolemic effect of lycopene and b-carotene is related to suppression of cholesterol synthesis and augmentation of LDL receptor activity in macrophage//Biochem. Biophys. Res. Commun. -1997.-Vol.233.-P. 658-662.
- Heath E., Seren S., Sahin K., Kucuk O. The role of tomato lycopene in the treatment of prostate cancer. // Rao AV, editor, Tomatoes, lycopene and human health. Scotland: Caledonian Science Press.-2006. - P. 127-140.
- Hirayama O, Nakamura K, Hamada S, Kobayashi Y. Singlet oxygen quenching ability of naturally occurring carotenoids//Lipids. -1994.-Vol. 29.-P.149-150.
- Hochmuth G.J., Nitrogen fertilization to maximize carrot yield and quality on a sandy soil// Hort. Science. 1999.-Vol. 34. -P. 641-645.
- Holden J.M., Eldridge A.L., Beecher G.R., Buzzard I.M., Bhagwat S., Davis C.S., Douglass L.W., Hughes D.A. Effects of carotenoids on human immune function//Proc.Nutr.Soc.-1999.-Vol.58.-P.713-718.
- Holick Crystal N., De Vivo I., Feskanich D., Giovannucci E., Stampfer M., Michaud D.S. Intake of fruits and vegetables, carotenoids, folate, and vitamins A, C, E and risk bladder cancer among women (United States)//Cancer Causes Control -2005.-Vol. 16.-P.1135-1145.
- Howard L.R. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (Capsicum species) as influenced by maturity//J. Agric. Food Chem.- 2000.-Vol. 48. -P. 1713-1720.
- Garcia A.L., Rühl R.H., Koebnick U., Schweigert C., Florian J., Worm M. Retinoid- and carotenoid-enriched diets influence the ontogenesis of the immune system in mice//Immunol.-2003-Vol. 110.-P.180-187.
- Gärtner C., Stahl W., Sies H. Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes// Am. J. Clin. Nutr. -1997.-Vol.66.-P.116-122.
- Gerster H. The potential role of lycopene for human health//J. Am. Coll. Nutr. -1997.-Vol.16.- P. 109-126.
- Giovannucci E.R.E, Liu Y., Stampfer M.J., Willett W.C. A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk//J. Natl. Cancer Inst.-2002.-Vol. 94.-P.391-398.
- Giovannucci E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature//J. Natl. Cancer Inst. -1999.-Vol.91.-P.317-331.
- Giovannucci E., Ascherio A., Rimm E.B., Stampfer M.J., Colditz G.A., Willett W.C. Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer//J. Natl. Cancer Inst. -1995.-Vol.87. -P. 1767-1776.
- Gebhardt S., Haytowitz D., Schakel S. Carotenoid content of US foods: an update of the database// J. Food Comp. Anal. -1999. -Vol. 12.-P.169-196.
- Goldman I.L., Kader A.A., Heintz C. Influence of production, handling, and storage on phytonutrient content of foods//Nutr. Rev. -1999.-Vol. 57-P.46-52.
- Granado F., Olmedilla B., Blanco I. Nutritional and clinical relevance of lutein in human health//Br.J.Nutr.-2003.-Vol.90.- P.487-502.
- Gross J. Pigments in Vegetables: Chlorophylls and Carotenoids, AVI/Van Nostrand. Reinhold.-1991.
- Guttenplan N., Lee C., Frishman W.H. Inhibition of myocardial apoptosis as a therapeutic target in cardiovascular disease prevention: focus on caspase inhibition//Heart Disease.- 2001.- Vol.3(5).-P.313-318.
- Jain C.K., Agarwal S., Rao A.V. The effect of dietary lycopene on bioavailability, tissue distribution, in-vivo antioxidant properties and colonic preneoplasia in rats//Nutr. Res. -1999.-Vol. 19-P.1383-1391.
- Johnson E.J. The role of carotenoids in human health// Nutr. Clin. Care.-2002.-Vol.5 (No2).-P. 47-49.
- Johnson E.J., Hammond B.R., Yeum K.J., Qin J., Wang X.D., Castaneda C., Snodderly D.M., Russell R.M. Relation among serum and tissue concentrations of lutein and zeaxanthin and macular pigment density// Am. J. Clin. Nutr.-2002.-Vol. 71.-P. 1555-1562.
- Ito Yoshinori, Wakai Kenji, Suzuki Koji, Ozasa Kotaro, Watanabe Yoshiyuki, Seki Nao, Ando Masahiko. JACC Study Group, Lung cancer mortality and serum levels of carotenoids, retinol, tocopherols, and folic acid in men and women: a case-control study nested in the JACC study//J. Epidemiol. -2005.-Vol. 15 (2).- P.140-149.
- Iwasaki A., Gagnon C. Formation of reactive oxygen species in spermatozoa of infertile patients, //Fertil. Steril.-1992.-Vol. 57.- P.409-416.
- Karas M., Amir H., Fishman D., Danilenko M., Segal S., Nahum A., Koifmann A., Sharoni Y. Lycopene interferes with cell cycle progression and insulin-like growth factor I signaling in mamma-

- ry cancer cells//*Nutr. Cancer.*-2000.-Vol. 36(1).-P.101-111.
- Kohlmeier L., Kark J.D., Gomez-Gracia E., Martin B.C., Steck S.E., Kardinaal A.F.M., Ringstad J. Lycopene and myocaedial infarction risk in the EURAMIC study//*Am J. Epidemiol.* -1997.-Vol. 146.-P. 618-626.
- Kohlmeier L., Hastings S.B. Epidemiologic evidence of a role of carotenoids in cardiovascular disease prevention//*Am J. Clin. Nutr.* -1995.-Vol. 62 (Suppl).-P. 1370-1376.
- Kristenson M., Ziedén B., Kucinskienė Z., Elinder L.S., Bergdahl B., Elwing B., Abaravicius A., Olsson A.G. Antioxidant state and mortality from coronary heart disease in Lithuanian and Swedish men: concomitant cross sectional study of men aged 50 //*Br. Med. J.* -1997.-Vol.314. -P.629-633.
- Kelemen L.E., Cerhan J.R., Lim U., Scott D., Wendy C., Schenk M., Colt J., Ward M.H. Vegetables, fruit, and antioxidant-related nutrients and risk of non-Hodgkin lymphoma: a national cancer institute-surveillance, epidemiology, and end results population-based case-control study//*Am. J. Clin. Nutr.* -2006.-Vol.83.-P.1401-1410.
- Khachik F., Bernstein P.S., Garland D.L. Identification of lutein and zeaxanthin oxidation products in human and monkey retinas//*Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* -1997.-Vol.38.-P.1802-1811.
- Khachik F. Separation, identification and quantification of the major carotenoids and chlorophyll constituents in extracts of several green vegetables by liquid chromatography//*J.Agric.Food Chem.* -1986.-Vol.34.-P.603-616.
- Klein B.P., Perry A.K. Ascorbic acid and vitamin A activity in selected vegetables from different geographic areas of the United States//*J. Food Sci.* -1982.-Vol. 47.-P.941-948.
- Kimura M., Rodriguez-Amaya D.B. Carotenoid composition of hydroponic leafy vegetables//*J. Agric. Food Chem.* -2003.-Vol. 51.-P.2603-2607.
- Kopsell D.A. Variation in lutein, β -carotene, and chlorophyll concentrations among *Brassica oleracea* cultivars and seasons//*Hort. Science* -2004.-Vol.39.-P.361-364.
- Kopsell D.E., Kopsell D.A., Randle W.M., Coolong T.W., Sams C.E., Curran-Celentano J. Kale carotenoids remain stable while flavor compounds respond to changes in sulfur fertility//*J. Agric. Food Chem.* -2003.-Vol.51.-P.5319-5325.
- Kucuk O., Sarkar F.H., Sakr W. Phase II randomized clinic trial of lycopene supplementation before radical prostatectomy//*Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* -2001.-Vol. 10.-P.861-868.
- Kucuk O., Wood D.P. Response of hormone refractory prostate cancer to lycopene//*J. Urol.* -2002.-Vol. 167.-P.651.
- Kurilich A.C., Tsau G.J., Brown A., Howard L., Klein B.P., Jeffery E.H., Kushad M., Juvik J.A. Carotene, tocopherol, and ascorbate in subspecies of *Brassica oleracea*//*J. Agric. Food Chem.* -1999.-Vol. 47.-P.1576-1581.
- Lefsrud M.G. Irradiance levels affect growth parameters and carotenoid pigments in kale and spinach grown in a controlled environment//*Physiol. Plant.* -2006.-Vol. 127.-P. 624-631.
- Lefsrud M.G. Environmental Manipulation to Increase the Nutritional Content in Leafy Vegetables/ University of Tennessee. - 2006
- Lefsrud M.G. Biomass production and pigment accumulation in kale grown under increasing photoperiods//*Hort. Sci.* -2006.-Vol. 41.-P.603-606.
- Lefsrud M.G. Air temperature affects biomass and carotenoid pigment accumulation in kale and spinach grown in a controlled environment//*Hort. Sci.* -2005.-Vol. 40.-P.2026-2030.
- Leveille S.G., LaCroix A.Z., Koepsell T.D., Beresford S.A., VanBelle G., Buchner D.M. Dietary vitamin C and bone mineral density in postmenopausal women in Washington State, USA//*J. Epidemiol Community Health* -1997.-Vol.51.-P.479-485.
- Levy J., Bosin E., Feldman B., Giat Y., Miinster A., Danilenko M., Sharoni Y. Lycopene is a more potent inhibitor of human cancer cell proliferation than either α -carotene or β -carotene//*Nutr. Cancer.* -1995.-Vol.24-P.257-267.
- Lim B.P., Nagao A., Terao J., Tanaka K., Suzuki T., Takama K. Antioxidant activity of xanthophylls on peroxy radical-mediated phospholipid peroxidation//*Biochem. Biophys. Acta.* -1992.-Vol. 1126.-P.178-184.
- Livny O. β -carotene bioavailability from differently processed carrot meals in human ileostomy volunteers//*Eur.J.Nutr.* -2003.-Vol.42.-P.338-345.
- Lingen C., Ernster L., Lindenberg O. The promoting effects of lycopene on the non-specific resistance of animals//*Exp. Cell. Res.* -1959.-Vol. 16.-P.384-393.
- Longnecker M.P., Kamel F., Umbach D.M., Munsat T.L., Shefner J.M., Lansdell L.W., Sandler D.P. Dietary intake of calcium, magnesium and antioxidants in relation to risk of amyotrophic lateral sclerosis//*Neuroepidemiology.* -2000.-Vol. 19.-P.210-216.
- Melhus H., Michaelsson K., Holmberg L., Wolk A., Ljunghall S. Smoking, antioxidant vitamins, and the risk of hip fracture//*J. Bone Miner. Res.* -1999.-Vol. 14.-P.129-135.
- Morton D.J., Barrett-Connor E.L., Schneider D.L. Vitamin C supplement and bone mineral density in postmenopausal women//*J. Bone. Miner. Res.* -2001.-Vol. 16.-P.135-140.

- Mangels A.R., Holden J.M., Beecher G.R., Forman M.R., Lanza E. Carotenoid contents of fruits and vegetables: an evaluation of analytical data// *J. Am. Diet. Assoc.* -1993.-Vol.93.-P.284-296.
- Mazuda M., Ohsaka Y., Yogosawa S., Satomi Y., Jinno K. Carotenoids in cancer chemoprevention//*Cancer. Metastasis. Rev.*-2002.-Vol.21.-P.257-264.
- Mercadante A.Z., Rodriguez-Amaya D.R. Carotenoid composition of a leafy vegetable in relation to some agricultural variables//*J. Agric. Food Chem.* -1991.-Vol.39.-P.1094-1097.
- Moriel P., Sevanian A., Ajzen S., Zanella M.T., Plavnik F.L., Rubbo H., Abdalla D.S.P. Nitric oxide, cholesterol oxides and endothelium-dependent vasodilation in plasma of patients with essential hypertension//*Braz. J. Med. Biol. Res.* -2002.-Vol.35.-P.1301-1309.
- Most M.M. Estimated phytochemical content of the dietary approaches to stop hypertension (DASH) diet is higher than in the control study diet//*J. Am. Diet Assoc.*-2004.-Vol. 104.-P.1725-1727.
- Mou J. Genetic variation of beta-carotene and lutein contents in lettuce//*J. Am. Soc. Hortic. Sci.*-2005.-Vol.130.-P.870-876.
- Nagasawa H., Mitamura T., Sakamoto S., Yamamoto K. Effects of lycopene on spontaneous mammary tumour development in SHN virgin mice//*Anticancer Res.* -1995.-Vol.15.-P.1173-1178.
- Nesterenko S., Sink K.C. Carotenoid profiles of potato breeding lines and selected cultivars//*Hort. Sci.*-2003.-Vol. 38.-P.1173-1177.
- Nicolle C. Genetic variability influences carotenoid, vitamin, phenolic, and mineral content in white, yellow, purple, orange, and dark-orange carrot cultivars//*J. Am. Soc. Hortic. Sci.* -2004.-Vol. 129.-P. 523-529.
- Niyogi K.K. The roles of specific xanthophylls in photoprotection//*Proc. Natl. Acad. Sci. USA* -1997.-Vol.94.-P.14162-14167.
- Ong A.S.H, Tee E.S. Natural sources of carotenoids from plants and oils//*Methods Enzymol* -1992.-Vol.213.-P.142-167.
- Paiva S., Russell R. Beta carotene and other carotenoids as antioxidants//*J. Am. Coll. Nutr.* -1999.-Vol. 18.-P.426-433.
- Palan P., Naz R, Changes in various antioxidant levels in human seminal plasma related to immunofertility//*Arch, Androl.* -1996.-Vol. 36.-P.139-143.
- Paran E., Engelhard Y. Effect of Lyc-O-Mato, standardized tomato extract on blood pressure, serum lipoproteins plasma homocysteine and oxidative stress markers in grade 1 hypertensive patients//*Proceedings of the 16th Annual Scientific Meeting of the Society of Hypertension, San Francisco, USA.* - 2001.
- Paran E. Reducing hypertension with tomato lycopene. In: Rao AV, editor, *Tomatoes, lycopene and human health.* Scotland: Caledonian Science Press. - 2006.-P.169-82.
- Paulsen H. Carotenoids and the assembly of light-harvesting complexes.// In: H.A. Frank et al., Editors *The Photochemistry of Carotenoids*, Kluwer. - 1999.-P.123-135.
- Perez-Lopez A.J., Lopez-Nicolas J.M., Kurilich E.A.C. Effects of Agricultural Practices on Color, Carotenoids Composition, and Minerals Contents of Sweet Peppers, cv. Almuden Carotene, tocopherol, and ascorbate in subspecies of *Brassica oleracea*// *J. Agric. Food Chem.*-1999.-Vol. 47.-P. 1576-1581.
- Pfander H. Carotenoids: an overview//*In Methods in Enzymology.* -1992.-Vol.213.-P.3-13.
- Prakash P., Russell R.M., Krinsky N.I. In vitro inhibition of proliferation of estrogen-dependent and estrogen-independent human breast cancer cells treated with carotenoids or retinoids//*J. Nutr.*-2001.-Vol. 131 (5).-P.1574-1680.
- Pung A., Rundhaug J.E., Yoshizawa C.N., Bertram J.S. β -Carotene and canthaxanthin inhibit chemically and physically induced neoplastic transformation in 10T1/2 cells//*Carcinogenesis* -1988.-Vol.9.-P.1533-1539.
- Rao A.V., Agarwal S. Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: a review//*Nutr. Res.* -1999.-Vol. 19.-P.305-323.
- Rao A.V., Fleshner N., Agarwal S. Serum and tissue lycopene and biomarkers of oxidation in prostate cancer patients: a case-control study//*Nutr. Cancer.* -1999.-Vol.33.-P.159-164.
- Rao A.V., Agarwal S. Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease//*J. Am. College. Nutr.*-2000.-Vol. 19 (5)-P.563-569.
- Rao A.V. Lycopene, tomatoes and health: new perspectives. In: A.V. Rao and D.H. Heber, Eds, *Lycopene and the prevention of chronic diseases: major findings from five international conferences*, Caledonian Science Press., Scotland. -2002.
- Rao A.V., Shen H.L. Effect of low dose lycopene intake on lycopene bioavailability and oxidative stress//*Nutr. Res.*-2002.-Vol. 22.-P.1125-1131.
- Rao A.V., Balachandran B. Role of oxidative stress and antioxidants in neurodegenerative diseases//*Nutr. Neurosci.*-2003.-Vol. 5 (5).-P.291-309.
- Rao A.V., Rao L.G. Lycopene and human health//*Curr. Top. Nutr. Res.* -2004.-Vol.2.-P.127-136.
- Rao A.V. Lycopene and human health: summary and future directions//In: Rao AV, editor, *Tomatoes, lycopene and human health.* Scotland: Caledonian Science Press.-2006-P.223-228.

- Rao A.V., Mira M.R., Rao L.G. Lycopene//*Adv. Food. Nutr. Res.* - 2006. -Vol.51. -P.99-164.
- Rao L.G. Tomato lycopene and bone health: Preventing osteoporosis//In: Rao AV, editor, *Tomatoes, lycopene and human health*. Scotland: Caledonian Science Press; 2006. -P.153-168.
- Rao A.V. *Tomatoes, lycopene and human health*. Scotland: Caledonian Science Press; 2006.
- Rao L.G., Mackinnon E.S., Josse R.G., Murray T.M., Strauss A., Rao A.V. Lycopene consumption decreases oxidative stress and bone resorption markers in postmenopausal women//*Osteoporosis Int.*-2007. -Vol. 18 (No1). -P.109-115.
- Ribaya-Mercado J.D., Blumberg J.B. Lutein and zeaxanthin and their potential roles in disease prevention//*J. Am. Coll. Nutr.* - 2004. -Vol.23 (6). -P.567-587.
- Richer S.W., Stiles W., Statkute L., Pulido J., Frankowski J., Rudy D., Pei K., Tspursky M., Nyland J. Double-masked, placebo-controlled, randomized trial of lutein and antioxidant supplementation in the intervention of atrophic age-related macular degeneration: the Veterans LAST study (Lutein Antioxidant Supplementation Trial)//*Optometry.*-2004. -Vol.75 (4). -P.216-230
- Rissanen T. Lycopene and cardiovascular disease//In: Rao AV, editor, *Tomatoes, lycopene and human health*. Scotland: Caledonian Science Press. -2006. -P.141-152.
- Rissanen T., Voutilainen S., Nyyssonen K., Salonen R., Salonen J.T. Low plasma lycopene concentration is associated with increased intima-media thickness of the carotid artery wall//*Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*-2000. -Vol. 20. -P.2677-2687.
- Rubio C., Hardisson A., Martin R.E., Baez A., Martin M.M., Alvarez R. Mineral composition of the red and green pepper (*Capsicum annum*) from Tenerife Island//*Eyr.Food. Res. Technol.*-2002. -Vol.214. -P.501-504.
- Sandmann G. Carotenoid biosynthesis and biotechnological application//*Arch.Biochem.Biophys.*- 2001. -Vol.385 (1). -P.4-12.
- Sharoni Y., Giron E., Rise M., Levy J. Effects of lycopene-enriched tomato oleoresin on 7, 12-dimethylbenz[a]anthracene-induced rat mammary tumors//*Cancer. Detect. Prev.*-1997. -Vol.21. -P.118-123.
- Schalch W. The carotenoids of the human retina. In: A. Taylor, Editor. *Nutritional and Environmental Influences on the Eye*, CRC Press. -1999. -P.215-250.
- Schmidt R., Fazekas F., Hayn M. Risk factors for microangiopathy-related cerebral damage in Aistriian stroke prevention study//*J. Neurol. Sci.*-1997. -Vol.152. -P.15-21.
- Seifried A. The antioxidant conundrum in cancer//*Cancer. Res.*- 2003. -Vol.63. -P.4295-4298.
- Singh V.N. A current perspective on nutrition and exercise//*J. Nutr.*-1992. -Vol.122-P.760-765.
- Simonne A.H. Retention and changes of soy isoflavones and carotenoids in immature soybean seeds (Edamame) during processing//*J. Agric. Food. Chem.*-2000. -Vol. 48. -P.6061-6069.
- Simonne A.H. Ascorbic acid and provitamin A contents in unusually colored bell peppers (*Capsicum annum L.*)//*J. Food. Comp. Anal.*-1997. -Vol.10. -P.299-311.
- Sommerburg O. Fruits and vegetables that are sources for lutein and zeaxanthin: the macular pigment in human eyes//*Br. J. Ophthalmol.*-1998. -Vol.82. -P.907-910.
- Stahl W. Tomato lycopene in photoprotection and skin care//In: Rao A.V., ed., *Tomatoes, lycopene and human health*. Scotland: Caledonian Science Press; 2006. - P.199-211.
- Stahl W., Sies H. Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat-processed than from unprocessed tomato juice in humans//*J. Nutr.* -1992. -Vol.122. -P.2161-2166.
- Surai P.F., Speake B.K., Npble R.C., Kuchmistova E.F., Ionov I.A. Antioxidant systems of the developing chicken embryo.I. Carotenoids//*Proc. 11th Int. Symp. on current problems in avian genetics*-1995. -Balice, Poland, May 29th-June 1st. -P.55-58.
- Tabg T. Lycopene inhibits rge growth of human androgen-independent prostate cancer cells in vitro and in BALB/c nude mice//*J.Nutr.*-2005. -Vol.135. -P.287-290.
- Tee E.S. Carotenoids and retinoids in human nutrition//*Critical Rev. Food Sci. Nutr.*-1992. -Vol.31. -P.103-163.
- Touvier M. Dual association of beta-carotene with the risk of tobacco-related cancers in a cohort of French women//*J. Natl. Cancer Inst.*-2005. -Vol. 97. -P.1338-1344.
- Tracewell C.A. Carotenoid photooxidation in photosystem II//*Arch. Biochem. Biophys.*-2001. -Vol.385. -P.61-69.
- Wooten B.R. A practical method for measuring macular pigment optical density//*Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*-1999. -Vol.40. -P.2481-2489.
- Wu K. Variations in plasma lycopene and specific isomers over time in a cohort of US men// *J.Nutr.*-2003. -Vol.133. -P.1930-1936.
- Young A.J., Lowe G.M. Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids//*Arch. Biochem. Biophys.*-2001. -Vol. 385. -P. 20-27.
- Zini A., de Lamirande E., Gagnon C. Reacxtive oxygen species in semen of infertile patients: levels of superoxide dismutase and catalase-like activities in seminal plasma and spermatozoa //*Int. J. Androl.*-1993. -Vol.16. -P.183-188.