СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОЛОГИЯ, 2017, том 52, № 5, с. 1021-1029

Биофортификация

УДК 635.649:581.19 doi: 10.15389/agrobiology.2017.5.1021rus

СОСТАВ АНТИОКСИДАНТОВ В ПЛОДАХ *Capsicum* spp. ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОФОРТИФИЦИРОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ*

М.И. МАМЕДОВ, О.Н. ПЫШНАЯ, А.А. БАЙКОВ, В.Ф. ПИВОВАРОВ, Е.А. ДЖОС, А.А. МАТЮКИНА, М.С. ГИНС

Природный потенциал накопления биологически активных соединений часто не учитывается в селекции той или иной культуры. В последние годы особое внимание уделяется селекции растений на качество продукции. Одним из самых заметных новшеств в сельскохозяйственной науке стала биофортификация — обогащение основных пищевых продуктов растениеводства необходимыми витаминами и минералами с помощью селекции. Поскольку качество продукта зависит от генотипа, климатических условий региона и агротехнических приемов, изучение и выявление особенностей накопления биологически активных компонентов в продуктовых органах становится актуальной задачей предбринговых исследований, которые определяют дальнейшее направление селекции. Нашей целью было выявление особенностей накопления антиоксидантов в продуктовых органах у различных сортов и видов *Capsicum* spp., выращенных в условиях недостаточной теплообеспеченности, оценка вклада термостабильных антиоксидантов в их общее количество и выделение перспективных форм с высокими показателями для получения биофортифицированной продукции. Объектом служили 4 образца перца сладкого *C. annuum* и 16 образцов перца острого различного эколого-географического происхождения, относящихся к видам *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. pubescens*, *C. chinense* и *C. frutescens*. Исследования проводили в условиях неотапливаемых пленочных теплиц в зоне умеренного климата (Московская обл., 2015-2016 годы). Суммарное содержание антиоксидантов (ССА) определяли амперометрическим методом, количество пигментов — спектрофотометрически, содержание восстановленной формы аскорбиновой кислоты — йодометрическим методом. Количество сухого вещества оценивали методом высушивания в сушильном шкафу до постоянной абсолютно сухой массы. Наибольшая сумма пигментов была выявлена у сорта перца сладкого Шоколадный (*C. annuum*) — 0,536 мг/г, а также у сортов перца острого Пурпурный тигр (*C. annuum*) — 0,708 мг/г, Китайский фонарик (*C. baccatum*) — 0,685 мг/г, Идея (*C. annuum*) — 0,629 мг/г, Чудо Подмосковья (*C. annuum*) — 0,628 мг/г. Наибольшее количество аскорбиновой кислоты накапливали сорта перца острого Идея — 414 мг%, Рождественский букет (*C. annuum* × *C. frutescens*) — 370 мг%, Юбилейный ВНИИССОК (*C. annuum*) — 326 мг%, Огненная дева (*C. chinense*) — 301 мг%. Следует отметить, что содержание аскорбиновой кислоты не зависело от окраски плода и видовой принадлежности сорта. Среди сладких сортов перца высокое ССА имел гибрид F_1 Оранжевое наслаждение (*C. annuum*). Максимальное содержание суммы антиоксидантов (мг-экв. ГК/г) среди острых форм отмечено у образцов Рождественский букет — 2,82, Огненная дева — 2,65, Идея — 2,57 и Пурпурный тигр — 2,19. Анализ зависимости содержания термостабильных антиоксидантов от общего их количества при экстракции 80 % этанолом и нагревании до 60 °С в течение 60 мин показал, что вклад неустойчивых к термическому воздействию антиоксидантов (в первую очередь аскорбиновой кислоты) в среднем составлял 16 %. Рождественский букет, Китайский фонарик, Пурпурный тигр, Огненная дева больше других исследованных образцов накапливали еще один сильнейший природный антиоксидант — капсаицин, что определяло их жгучий вкус. Содержание капсаицина у изученных образцов перца острого варьировало в пределах 1,36-9,57 мг/г сухой массы (М.И. Мамедов с соавт., 2016). Высокое содержание каротиноидов, аскорбиновой кислоты, ССА вкупе с капсаицином (острота 8-9 баллов) еще больше увеличивали суммарный антиоксидантный статус образцов.

Ключевые слова: ***Capsicum annuum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum pubescens*, *Capsicum chinense*, *Capsicum frutescens*, пигменты, каротиноиды, антиоксиданты, аскорбиновая кислота, биофортифицированная продукция.**

«Глобальное бремя болезней» (global burden of disability) оценивается показателем DALY's (disability adjusted life years), что в медицине означает количество утраченных лет жизни с поправкой на длительность инвалидизации. В 2000 году в Европе было потеряно 136 млн лет здоровой жизни, в том числе более 56 млн лет — из-за пищевых факторов. Анализ с помощью DALY's показывает, что в Европе причина почти 60 % бо-

* Работа выполнена при частичной поддержке Российского научного фонда (грант № 16-16-10022).

лезней — повышенное кровяное давление, курение, чрезмерное употребление алкоголя, повышенный холестерин, избыточная масса тела, недостаточное употребление фруктов и овощей и малоподвижный образ жизни (1-4). Четыре из этих факторов риска тесно связаны с питанием. По мнению некоторых исследователей, состояние здоровья современного человека в значительной степени определяется характером, полноценностью и структурой рациона (5), который должен быть сбалансирован по комплексу необходимых организму нутриентов, чтобы нивелировать возрастающее действие стрессоров.

Полноценные продукты растительного происхождения, в том числе овощные, рассматриваются как эффективное средство для снижения риска многих заболеваний, связанных с нарушением обмена веществ. Одним из самых заметных новшеств в селекции растений стала биофортификация — обогащение продуктов необходимыми витаминами и минералами с помощью селекции. До настоящего времени в России практически отсутствует производство овощей функционального назначения, а в селекции на качество часто не учитывается природный потенциал накопления растениями биологически активных соединений.

Плоды перца, как и многих других овощных культур, служат источником важнейших биологических компонентов — макро-, микроэлементов, антиоксидантов, витамина С. Они богаты каротиноидами, различными кислотами, сахарами, полифенолами, особенно флавоноидами, кверцетином и лютеолином. Перец можно включать в разряд диетических продуктов (6-9). Капсаициноиды (еще одно биологически активное вещество, специфичное для рода *Capsicum*) в малых концентрациях действует как гастропротекторы, а также обладает местным анальгезирующим действием (10, 11). Среди жирорастворимых соединений, присутствующих в плодах перца, особое положение занимают каротиноиды, которые играют важную роль в профилактике язвы желудка, возрастной макулярной дегенерации и катаракты, стимулируют иммунную систему (8). Все названные соединения входят в антиоксидантный пул. Потребление плодов перца снижает риск воспалительных процессов (12), рака (13-15) и хронических неинфекционных заболеваний, в том числе сердечно-сосудистстых, диабета (16-18) и ожирения (13, 14).

Окраска — один из наиболее важных показателей плодов перца и продуктов на их основе. Четыре гена (y, c_1, c_2, cl) с эпистатическим взаимодействием контролируют и около 20 каротиноидов (желто-красные пигменты) формируют окраску зрелых плодов рода *Capsicum*, но характер наследования синтеза каротиноидов и генетика интенсивности окраски изучены не до конца. Капсантин, капсорубин и криптоксантин встречаются только у рода *Capsicum* и служат эффективными гасителями свободных радикалов. Красную окраску плодов перца определяют капсантин, капсантин-5,6-эпоксид и капсорубин, желто-оранжевую — зеаксантин, β-каротин, β-криптоксантин, виолаксантин, антраксантин и кукурбитаксантин А (19). Капсантин в зрелых красных плодах составляет более 60 % от общего количество каротиноидов.

Генотип, условия окружающей среды (свет, температура, минеральное питание, состав атмосферы) и агротехнические приемы (фаза спелости при уборке, система полива) влияют на антиоксидантный статус плодов (20). В литературе имеются противоречивые данные о воздействии тепловой обработки овощей в кулинарии. Показано, что она ведет к снижению антиоксидантной активности (21, 22), в то же время в ряде работ приводятся свидетельства ее увеличения либо сохранения (23, 24).

В настоящей работе сравнительные исследования антиоксидантного статуса плодов у сортов и видов как сладких, так и острых форм перца впервые были связаны с задачей получения биофортифицированной продукции *Capsicum* spp. в условиях умеренного климата. Установлено, что окраска плодов и ее интенсивность у одних генотипов определяется суммой каротиноидов, у других — наличием только одной группы пигментов. Между суммарным содержанием каротиноидов, капсаициноидов и антиоксидантным статусом плодов перца прямой зависимости не наблюдается.

Цель нашей работы — выявить особенности накопления антиоксидантов в продуктовых органах у разных сортов и видов перца при недостаточной теплообеспеченности, оценить вклад термостабильных антиоксидантов в их общее количество и выделить перспективные для селекции формы.

Методика. Объектом служили 4 образца перца сладкого *Capsicum annuum* и 16 образцов перца острого различного эколого-географического происхождения, относящихся к видам *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. pubescens*, *C. chinense* и *C. frutescens*. Исследования проводили в условиях неотапливаемых пленочных теплиц в зоне умеренного климата (Московская обл., 2015-2016 годы). Растения выращивали с мая по октябрь (агротехника соответствовала общепринятой для пленочных теплиц). Повторность опытов 4-кратная, размещение делянок рендомизированное, площадь делянки 5 м^2, число учетных растений — 20 шт. Чтобы минимизировать влияние погодных условий, ярусности и других факторов на показатели, сравнительную оценку выполняли в один год, на одних и тех же растениях, на плодах одного яруса, в одно и то же время.

Для проведения биохимических анализов к растительному материалу добавляли экстрагент и измельчали на гомогенизаторе. Суммарное содержание антиоксидантов (ССА) определяли амперометрическим методом (25), адаптированным для определения гидрофильных и липофильных фракций. Результат выражали в эквивалентах галловой кислоты (мг-экв. ГК/г). При получении экстрактов использовали 80 % этиловый спирт (26, 27) или смесь ацетона и этилового спирта (1:1 v/v) (29). В случае применения этилового спирта анализ проводили в двух вариантах. В первом измельченный в растворе растительный материал помещали в пробирки с крышками и нагревали при 60 °С на водной бане в течение 60 мин (26). Во втором варианте стадию с нагревом пропускали (27), так же поступали при экстракции смесью ацетона и этилового спирта. Далее гомогенат центрифугировали 15 мин при 10000 g и 4 °С. Аликвоту супернатанта использовали для определения содержания антиоксидантов, при необходимости разбавляя. Измерения проводили на приборе Цвет-Яуза-01-АА (НПО «Химавтоматика», Россия) в режиме постоянного тока.

Содержание пигментов определяли спектрофотометрически. Образцы гомогенизировали в ацетоне и оставляли на 1 ч при температуре 5 °С в темноте. Гомогенат центрифугировали и измеряли оптическую плотность супернатанта. Использовали подход, предложенный D. Hornero-Mendez с соавт. (19). Он основан на свойствах хромофоров каротиноидов, которые позволяют сгруппировать их в два изохромных семейства — желтые и красные пигменты. Содержание каждой изохромный фракции (мг/мл) рассчитывали по формулам:

$$\text{Красные пигменты} = \frac{2{,}144A_{508} - 0{,}4033A_{472}}{270{,}9},$$

$$\text{Желтые пигметы} = \frac{1{,}7243A_{472} - 2{,}4501A_{508}}{270{,}9}.$$

Концентрацию восстановленной формы аскорбиновой кислоты опре-

деляли йодометрическим методом с титрованием экстрактов йодатом калия в кислой среде в присутствии йодистого калия и крахмала (29). Количество сухого вещества оценивали после высушивания в сушильном шкафу до постоянной абсолютно сухой массы в течение 2 сут при температуре 85 °С.

Статистическую обработку результатов выполняли в программе Origin Pro 9.0 (http://www.originlab.com/Origin). Рассчитывали средние (X) и стандартные ошибки средней (±SE).

Результаты. Известно, что в плодах у всех представителей рода *Capsicum* в наибольшем количестве накапливаются капсантин, капсорубин и криптоксантин (19). Анализ содержания красных и желтых пигментов в плодах свидетельствовал о своеобразии количественного содержания каротиноидов у каждого вида. Наблюдались значительные сортовые различия в аккумулировании каротиноидов. Содержание красных и желтых пигментов определяет не только окраску плода, но и ее интенсивность. У гибрида перца сладкого F_1 Оранжевое наслаждение с насыщенно оранжевой окраской плода содержание желтых пигментов было в 6,20 раза больше, чем красных, при соотношении красных и желтых пигментов 0,16; у сорта Желтый букет с желтой окраской плода превышение было 1,34-кратным при количественном соотношении пигментов 0,75 (табл. 1). Следует отметить, что желтую или оранжевую окраску плода и ее интенсивность определяет не общее количество желтых пигментов, а соотношение зеаксантина, β-криптоксантина и β-каротина.

1. Окраска плодов, содержание пигментов и их соотношение у различных образцов перца *Capsicum* spp. (X±SE, Московская обл., 2015-2016 годы)

Образец	Вид	Окраска в фазу технической/биологической спелости	Содержание каротиноидов, мг/г			Соотношение красных и желтых пигментов
			желтые пигменты	красные пигменты	∑ красных и желтых пигментов	
		Перец сладкий				
F_1 Оранжевое наслаждение	*C. annuum*	Зеленая/оранжевая	0,169±0,008	0,027±0,001	0,196±0,010	0,16±0,01
F_1 Сибиряк	*C. annuum*	Темно-зеленая/красная	0,052±0,003	0,081±0,004	0,133±0,007	1,56±0,08
Желтый букет	*C. annuum*	Темно-зеленая/желтая	0,063±0,003	0,047±0,002	0,110±0,006	0,75±0,04
Шоколадный	*C. annuum*	Темно-зеленая/коричневая	0,205±0,010	0,331±0,017	0,536±0,027	1,61±0,08
		Перец острый				
Рождественский букет	*C. annuum* × *C. frutescens*	Зеленая/красная	0,212±0,011	0,235±0,012	0,447±0,022	1,11±0,06
Самоцвет	*C. annuum* × *C. frutescens*	Фиолетовая/красная	0,178±0,009	0,240±0,012	0,418±0,021	1,35±0,07
Идея	*C. annuum*	Светло-зеленая/желтая	0,625±0,031	< 0,004	0,629±0,031	< 0,01
Rocoto	*C. pubescens*	Темно-зеленая/красная	0,263±0,013	0,308±0,015	0,571±0,029	1,17±0,06
Китайский фонарик	*C. baccatum*	Светло-зеленая/красная	0,240±0,012	0,445±0,022	0,685±0,034	1,85±0,09
Колокольчик	*C. chinense*	Темно-зеленая/желтая	0,318±0,016	< 0,001	0,319±0,016	< 0,01
Trinidad Dglahou	*C. chinense*	Черная/красная	0,119±0,006	0,077±0,004	0,196±0,010	0,65±0,03
Trinidad Scorpion Chocolate	*C. chinense*	Черная/коричневая	0,088±0,004	0,179±0,009	0,267±0,013	2,03±0,10
Цыганенок	*C. annuum*	Черная/черно-розовая	0,012±0,001	0,051±0,003	0,063±0,003	4,25±0,21
Bhyt jolokia	*C. chinense* × *C. frutescens*	Светло-зеленая/желтая	0,266±0,013	< 0,003	0,269±0,013	< 0,01
Пурпурный тигр	*C. annuum*	Темно-фиолетовая/красная	0,267±0,013	0,441±0,022	0,708±0,035	1,65±0,08
Меч	*C. annuum*	Зеленая/красная	0,127±0,006	0,196±0,010	0,323±0,016	1,54±0,08
Меч	*C. annuum*	Светло-зеленая/желтая	0,470±0,024	< 0,003	0,473±0,024	< 0,01
Чудо Подмосковья	*C. annuum*	Светло-зеленая/красная	0,295±0,015	0,333±0,017	0,628±0,031	1,13±0,06
Юбилейный ВНИИССОК	*C. annuum*	Зеленая/красная	0,093±0,005	0,312±0,016	0,405±0,020	3,35±0,17
Огненная дева	*C. chinense*	Зеленая/красная	0,277±0,011	0,354±0,018	0,581±0,029	1,56±0,08

В фазу биологической спелости в плодах у большинства изученных сортов на долю β-каротина приходилось около 10 % от общего количества

каротиноидов. Большее содержание красных пигментов определяло ярко-красную окраску гибрида F_1 Сибиряк. Самое высокое количество каротиноидов среди сортов перца сладкого отмечали у сорта Шоколадный с коричневой кожурой и бордово-красным перикарпием плода в фазу биологической спелости (желтых и красных пигментов соответственно 0,205 и 0,331 мг/г). Количественное соотношение красных и желтых пигментов у сорта Шоколадный составляло 1,61. У F_1 Сибиряк с ярко-красной окраской плодов оно равнялось 1,56. По-видимому, наличие значительного количества желтых и красных пигментов в плоде у сорта Шоколадный в комплексе с белками могло стать причиной формирования коричневой окраски. По мнению A.S.H. Ong с соавт. (30), пигменты обеспечивают окраску от желтой до темно-красной, а в комплексе с белками могут давать зеленое и голубое окрашивание.

У всех образцов перца острого с красными плодами в фазу биологической спелости красные пигменты преобладали. Такая же тенденция наблюдалась у образца перца острого Trinidad Scorpion Chocolate: соотношение красных и желтых пигментов составляло 2,03, но окраска плодов в фазу биологической спелости была коричневой. У формы Trinidad Dglahou с красной окраской плодов количество желтых пигментов оказалось в 1,5 раза больше, чем красных — соответственно 0,119 и 0,077 мг/г. У обеих форм плоды в фазу технической спелости окрашивались в темно-фиолетовый, почти черный цвет.

Мы установили, что у гибрида перца сладкого F_1 Оранжевое наслаждение (оранжевая окраска плода) и у сорта Желтый букет (желтая окраска плода) присутствовали красные пигменты — соответственно 13,7 и 42,7 %. У сортов перца острого такая тенденция не наблюдалась. У всех форм перца острого с желтой окраской плода (Идея, Колокольчик, Bhyt jolokia, Меч) были обнаружены только желтые и следы красных пигментов. Наибольшую сумму пигментов выявили у сладкого сорта Шоколадный (0,536 мг/г), острых сортов Пурпурный тигр (0,708 мг/г), Китайский фонарик (0,685 мг/г), Идея (0,629 мг/г) и Чудо Подмосковья (0,628 мг/г).

Наряду с каротиноидами, витамин С служит важнейшим внутриклеточным антиоксидантом, защищая организм человека как от свободных радикалов, так и от перекисей (31). Перец занимает одно из лидирующих мест по содержанию витамина С среди овощных культур. Наибольшее количество аскорбиновой кислоты накапливали сорта перца острого Идея (414 мг%), Рождественский букет (370 мг%), Юбилейный ВНИИССОК (326 мг%), Огненная дева (301 мг%). Отметим, что содержание витамина С не зависело от окраски плода и видовой принадлежности. Среди представителей разных видов были сорта как с красной, так и с желтой окраской плодов (табл. 2). При определении содержания антиоксидантов значительных различий в показателях в зависимости от экстрагента не обнаружили. Только у четырех сортов перца острого (Рождественский букет, Самоцвет, Цыганенок, Огненная дева) различия в ССА в зависимости от используемого экстрагента составили 40-70 %.

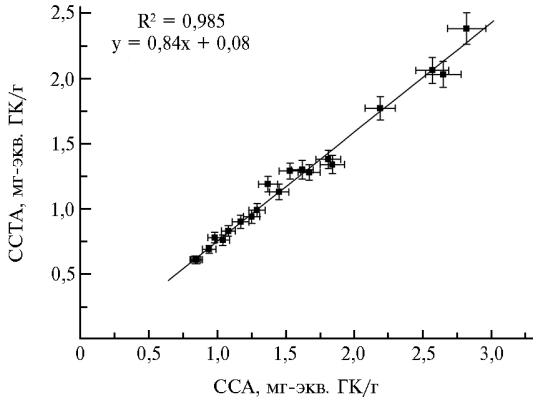
Среди сладких сортов перца высокое содержание суммы антиоксидантов наблюдалось у гибрида F_1 Оранжевое наслаждение. Максимальное содержание суммы антиоксидантов среди острых форм отмечалось у образцов Рождественский букет (2,82 мг-экв. ГК/г), Огненная дева (2,65 мг-экв. ГК/г), Идея (2,57 мг-экв. ГК/г) и Пурпурный тигр (2,19 мг-экв. ГК/г). Величина ССА значительно варьировала в зависимости от сорта и видовой принадлежности. Оценка суммарного содержания антиоксидантов как интегральная характеристика (с учетом их кооперативного действия)

позволяет выделить богатые ими источники и включить их в качестве исходного материала в селекционный процесс. Сорта Рождественский букет, Китайский фонарик, Пурпурный тигр, Огненная дева в большем количестве, чем другие образцы, накапливали еще один сильнейший природный антиоксидант — капсаицин, что определяло жгучий вкус плодов. Содержание капсаицина у изученных образцов перца острого варьировало в пределах 1,36-9,57 мг/г сухой массы (32). Высокое содержание каротиноидов, аскорбиновой кислоты, суммы антиоксидантов в сочетании с капсаициноидами (острота 8-9 баллов) еще сильнее усиливало синергетическое антиоксидантное воздействие.

2. Содержание антиоксидантов в плодах у различных образцов перца *Capsicum* spp. (X±SE, Московская обл., 2015-2016 годы)

Образец	Острота, балл	ССА, мг-экв. ГК/г			Аскорбиновая кислота, мг%	Сухое вещество, %
		ацетон:этанол, 1:1 v/v	этанол, 80 %	этанол 80 %, 60 °С, 60 мин		
Перец сладкий						
F_1 Оранжевое наслаждение	0	1,27±0,06	1,25±0,06	0,94±0,05	246±17	10,6±0,5
F_1 Сибиряк	0	1,15±0,06	0,98±0,05	0,78±0,04	225±16	9,2±0,5
Желтый букет	0	0,82±0,04	0,85±0,04	0,61±0,03	225±16	7,8±0,4
Шоколадный	0	1,18±0,06	0,94±0,05	0,69±0,03	238±17	9,5±0,5
Перец острый						
Рождественский букет	7-8	1,66±0,08	2,82±0,14	2,38±0,12	370±26	16,4±0,9
Самоцвет	8	0,88±0,04	1,84±0,09	1,34±0,07	150±10	17,3±0,9
Идея	2-3	2,17±0,11	2,57±0,12	2,06±0,10	414±29	15,5±0,8
Rocoto	10	0,90±0,05	1,04±0,05	0,76±0,04	79±6	14,2±0,7
Китайский фонарик	2	0,81±0,04	0,84±0,04	0,61±0,03	158±11	19,9±0,9
Колокольчик	9	1,44±0,07	1,37±0,07	1,19±0,06	202±14	13,1±0,7
Trinidad Dglahou	10	1,26±0,06	1,17±0,06	0,90±0,05	176±12	12,8±0,6
Trinidad Scorpion Chocolate	10	1,01±0,05	1,08±0,05	0,83±0,04	178±12	12,2±0,6
Цыганенок	2	0,96±0,05	1,53±0,08	1,29±0,06	192±13	12,0±0,6
Bhyt jolokia	10	0,87±0,04	1,29±0,06	0,99±0,05	158±11	12,0±0,6
Пурпурный тигр	9	2,17±0,11	2,19±0,11	1,77±0,09	216±15	18,7±0,9
Меч	0,5	1,20±0,06	1,45±0,07	1,13±0,06	220±15	10,2±0,5
Меч	1	1,35±0,07	1,81±0,09	1,38±0,07	299±21	12,0±0,6
Чудо Подмосковья	1,5	1,48±0,07	1,67±0,08	1,28±0,06	299±21	11,6±0,6
Юбилейный ВНИИССОК	3	1,58±0,09	1,62±0,08	1,30±0,07	326±23	17,8±0,9
Огненная дева	8	1,85±0,09	2,65±0,13	2,03±0,10	301±21	16,3±0,8

Примечание. ССА — суммарное содержание антиоксидантов.



Вклад термостабильных антиоксидантов (ССТА) **в суммарное содержание антиоксидантов** (ССА) **в плодах у изученных образцов перца *Capsicum* spp.** (Московская обл., 2015-2016 годы).

Высокое содержание сухого вещества (более 10 %) в свежих плодах перца острого в фазу биологической спелости (см. табл. 2) определяет еще одно направление их использования — производство поливитаминной продукции с высокой антиоксидантной активностью. У образцов Самоцвет, Китайский фонарик, Пурпурный тигр и Юбилейный ВНИИССОК содержание сухого вещества превышало 17 %, что обеспечивает быстрое высыхание плодов для приготовления порошка паприки и гарантирует высокое качество соусов и паст.

Анализ зависимости содержания термостабильных антиоксидантов

от общего их количества при экстракции 80 % этанолом и нагревании до 60 °С в течение 60 мин показал, что вклад неустойчивых к термическому воздействию антиоксидантов (в первую очередь аскорбиновой кислоты) в среднем составлял 16 % (рис.).

Таким образом, полученные результаты позволяют заключить, что лидерами по накоплению пигментов оказались сорт перца сладкого Шоколадный с коричневой окраской плодов и сорта перца острого Идея, Rocoto, Китайский фонарик, Пурпурный тигр, Чудо Подмосковья, Огненная дева. Во всех сортах, за исключением сорта Идея, красная и желтая группы пигментов вносили сравнимый вклад в их сумму, в то время как для сорта Идея было характерно высокое содержание пигментов исключительно за счет желтой фракции. Повышенным количеством восстановленной формы аскорбиновой кислоты характеризовались сорта Идея, Чудо Подмосковья, Огненная дева, повышенным содержанием суммы низкомолекулярных антиоксидантов — сорта Идея, Пурпурный тигр, Огненная дева. По совокупности характеристик как генетические источники высоких антиоксидантных свойств выделились два генотипа — сорта Идея и Огненная дева. Количество красных и желтых пигментов, их суммарное содержание, а также накопление аскорбиновой кислоты и капсаициноидов определяют высокий антиоксидантный статус этих образцов, которые могут быть основой биофортифицированного питания и использоваться для получения функциональных продуктов, а также в селекционных программах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Murray C.J. Rethinking DALYs. In: The global burden of disease. Global burden of disease and injury series /C.J. Murray, A.D. Lopez (eds.). Cambridge, Harvard University Press, 1996: 1-98.
2. Murray C.J., Lopez A.D. Global mortality, disability, and the contribution of risk factors: Global Burden of Disease Study. Lancet, 1997, 349(9063): 1436-1442 (doi: 10.1016/S0140-6736(96)07495-8).
3. GBD 2015 DALYs and HALE Collaborators. Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 315 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE), 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. Lancet, 2016, 388(10053): 1603-1658 (doi: 10.1016/S0140-6736(16)31460-X).
4. Murray C.J., Lopez A.D. Regional patterns of disability-free life expectancy and disability-adjusted life expectancy. Global Burden of Disease Study. Lancet, 1997, 349(9062): 1347-1352 (doi: 10.1016/S0140-6736(96)07494-6).
5. Княжев В.А., Суханов В.П., Тутелян В.А. Правильное питание. Биодобавки, которые вам необходимы. М., 1998.
6. Guil-Guerrero J.L., Martinez-Guirado C., Rebolloso-Fuentes M., Carrique-Pérez A. Nutrient composition and antioxidant activity of 10 pepper (*Capsicum annuum*) varieties. Eur. Food Res. Technol., 2006, 224: 1-9 (doi: 10.1007/s00217-006-0281-5).
7. Topuz A., Ozdemir F. Assessment of carotenoids. Capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. J. Food Compos. Anal., 2007, 20: 596-602 (doi: 10.1016/j.jfca.2007.03.007).
8. Marín A., Ferreres F., Tomás-Barberán F.A., Gil M.I. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). J. Agr. Food Chem., 2004, 52: 3861-3869 (doi: 10.1021/jf0497915).
9. Alvarez-Parrilla E., de la Rosa L.A., Amarowicz R., Shahidi F. Antioxidant activity of fresh and processed Jalapeno and Serrano peppers. J. Agr. Food Chem., 2010, 59: 163-173 (doi: 10.1021/jf103434u).
10. Korkutata N.F., Kavaz A.A. Comparative study of ascorbic acid and capsaicinoids contents in red hot peppers (*Capsicum annum* L.) grown in Southeastern Anatolia Region. Int. J. Food Prop., 2015, 18: 725-734 (doi: 10.1080/10942912.2013.850507).
11. Mózsik G., Szolcsanyi J., Rácz I. Gastroprotection induced by capsaicin in healthy human subjects. World J. Gastroenterод., 2005, 11(33): 5180-5184.
12. Zimmer A.R., Leonardi B., Miron D., Schapoval E., Oliveira J.R., Gosmann G. Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Capsicum baccatum*: from traditional use to scientific approach. J. Ethnopharmacol., 2012, 139(1): 228-233 (doi: 10.1016/j.jep.2011.11.005).

13. Meghvansi M.K., Siddiqui S., Khan M.H., Gupta V.K., Vairale M.G., Gogoi H.K., Singh L. Naga chilli: a potential source of capsaicinoids with broad-spectrum ethnopharmacological applications. J. Ethnopharmacol., 2010, 132(1): 1-14 (doi: 10.1016/j.jep.2010.08.034).
14. Luo X.J., Peng J., Li Y.J. Recent advances in the study on capsaicinoids and capsinoids. Eur. J. Pharmacol., 2011, 650: 1-7 (doi: 10.1016/j.ejphar.2010.09.074).
15. Jeong W.Y., Jin J.S., Cho Y.A., Lee J.H., Park S., Jeong S.W., Kim Y.-H., Lim C.-S., El-Aty A.M.A., Kim G.-S., Lee S.J., Shim J.-H., Shin S.C. Determination of polyphenols in three *Capsicum annuum* L. (bell pepper) varieties using high-performance liquid chromatography—tandem mass spectrometry: Their contribution to overall antioxidant and anticancer activity. Journal of Separation Science, 2011, 34: 2967-2974 (doi: 10.1002/jssc.201100524).
16. Ahuja K.D., Robertson I.K., Geraghty D.P., Ball M.J. Effects of chili consumption on postprandial glucose, insulin, and energy metabolism. Am. J. Clin. Nutr., 2006, 84(1): 63-69.
17. Tundis R., Loizzo M.R., Menichini F., Bonesi M., Conforti F., Statti G., De Luca D., de Cindio B., Menichini F. Comparative study on the chemical composition, antioxidant properties and hypoglycaemic activities of two *Capsicum annuum* L. cultivars (*Acuminatum* small and *Cerasiferum*). Plant Food for Human Nutrition, 2011, 66(3): 261-269 (doi: 10.1007/s11130-011-0248-y).
18. Chaiyasit K., Khovidhunkit W., Wittayalertpanya S. Pharmacokinetic and the effect of capsaicin in *Capsicum* frutescens on decreasing plasma glucose level. Journal of the Medical Association of Thailand, 2009, 92(1): 108-113.
19. Hornero-Mendez D., Minguez-Mosquera M.I. Rapid spectrophotometric determination of red and yellow isochromic fractions in paprika and red pepper oleoresins. J. Agric. Food Chem., 2001, 49: 3584-3588 (doi: 10.1021/jf010400l).
20. Navarro J.M., Flores P., Garrido C., Martinez V. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. Food Chem., 2006, 96: 66-73 (doi: 10.1016/j.foodchem.2005.01.057).
21. Ismail A., Marjan Z. M., Foong C.W. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. Food Chem., 2004, 87: 581-586 (doi: 10.1016/j.foodchem.2004.01.010).
22. Zhang D., Hamauzu Y. Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of brocolli and their changes during conventional and microwave cooking. Food Chem., 2004, 88: 503-509 (doi: 10.1016/j.foodchem.2004.01.065).
23. Gahler S., Otto K., Bohm V. Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. J. Agric. Food Chem., 2003, 51: 7962-7968 (doi: 10.1021/jf034743q).
24. Turkmen N., Sari F., Velioglu Y.S. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. Food Chem., 2005, 93: 713-718 (doi: 10.1016/j.foodchem.2004.12.038).
25. Гинс М.С., Гинс В.К., Байков А.А., Романова Е.В., Кононков П.Ф., Торрес М.К., Лапо О.А. Методика анализа суммарного содержания антиоксидантов в листовых и листостебельных овощных культурах. М., 2013.
26. Deepa N., Kaur C., Singh B., Kapoor H. Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. J. Food Compos. Anal., 2006, 19: 572-578 (doi: 10.1016/j.jfca.2005.03.005).
27. Zhuang Y., Chen L., Sun L., Cao J. Bioactive characteristics and antioxidant activities of nine peppers. J. Funct. Foods, 2012, 4: 331-338 (doi: 10.1016/j.jff.2012.01.001).
28. Fox A.J., Del Pozo D., Lee J.H., Sargent S.A., Talcott S.T. Ripening-induced chemical and antioxidant changes in bell peppers as affected by harvest maturity and postharvest ethylene exposure. HortScience, 2005, 40(3): 732-736.
29. Сапожникова Е.В., Дорофеева Л.С. Определение содержания аскорбиновой кислоты в окрашенных растительных экстрактах йодометрическим методом. Консервная и овощесушильная промышленность, 1966, 5: 29-31.
30. Ong A.S.H., Tee E.S. Natural sources of carotenoids from plants and oils. Methods Enzymol., 1992, 213: 142-167 (doi: 10.1016/0076-6879(92)13118-H).
31. Yu B.P. Cellular defenses against damage from reactive oxygen species. Physiol. Rev., 1994, 74: 139-162.
32. Мамедов М.И., Пышная О.Н., Джос Е.А., Надежкин С.М., Голубкина Н.А., Матюкина А.А. Морфологические и биохимические особенности различных видов перца (*Capsicum chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* и *C. pubescens*) в условиях зоны умеренного климата. Нива Поволжья, 2016, 3(40): 60-67.

ФГБНУ Федеральный научный центр овощеводства,
143080 Россия, Московская обл., Одинцовский р-н,
пос. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14,
e-mail: mubaris-mamedov@yandex.ru

Поступила в редакцию
17 июля 2017 года

ANTIOXIDANT CONTENTS OF PEPPER *Capsicum* spp. FOR USE IN BIOFORTIFICATION

M.I. Mamedov, O.N. Pishnaya, A.A. Baikov, V.F. Pivovarov, E.A. Dzhos, A.A. Matykina, M.S. Gins

Federal Research Center for Vegetable Growing, Federal Agency of Scientific Organizations, 14, ul. Selektsionnaya, pos. VNIISSOK, Odintsovo Region, Moscow Province, 143080 Russia, e-mail mubaris-mamedov@yandex.ru (corresponding author)
ORCID:
Mamedov M.I. orcid.org/0000-0001-8974-6295
Pishnaya O.N. orcid.org/ 0000-0001-9744-2443
Baikov A.A. orcid.org/0000-0003-4393-7525
Pivovarov V.F. orcid.org/0000-0003-1350-5852
Dzhos E.A. orcid.org/0000-0002-2216-0094
Matykina A.A. orcid.org/0000-0002-4352-7430
Gins M.S. orcid.org/0000-0001-5995-2696
The authors declare no conflict of interests
Acknowlegdgements:
Supported in part by Russian Science Foundation (grant № 16-16-10022)
Received July 17, 2017 doi: 10.15389/agrobiology.2017.5.1021eng

Abstract

Natural potential of bioactive compounds accumulated by plants is often not taken into account in particular breeding. Biofortification, the enrichment of basic food crops with essential vitamins and minerals using breeding, is one of the most notable recent innovations in agriculture. In this paper, we studied pigment composition with regard to the amount of carotenoids and their contribution to fruit coloration in 20 accessions of different species of genus *Capsicum*. Red and yellow pigment levels and their ratios detected in the study were indicative of the carotenoid composition in fruits of each species. Also the varieties differed significantly in the carotenoid accumulation. In temperate climate of Moscow region the highest amount of pigments was found in the sweet variety Shokoladnyi (*C. annuum*; 0.536 mg/g), and in the spice varieties Purpurnyi tigr (*C. annuum*; 0.708 mg/g), Kitaiskii fonarik (*C. baccatum*; 0,685 mg/g), Ideya (*C. annuum*; 0.629 mg/g) and Chudo Podmoskov'ya (*C. annuum*; 0.628mg/g). The highest level of ascorbic acid was accumulated by chili pepper Ideya (*C. annuum*; 414 mg%), Rozhdestvenskii buket (*C. annuum* × *C. frutescens*; 370 mg%), Yubileinyi VNIISSOK (*C. annuum*; 326 mg%), and Ognennaya deva (*C. chinense*; 301 mg%). The ascorbic acid content did not depend on fruit color and plant species. Among the sweet pepper varieties high total antioxidant content (TAC) was characteristic of hybrid F_1 Oranzhevoe naslazhdenie (*C.* annuum). The maximum total antioxidant amounts, as milligram equivalents (MME) of gallic acid per g, were 2.82 for Rozhdestvenskii buket (*C. annuum* × *C. frutescens*), 2.65 for Ognennaya deva (*C. chinense*), 2.57 for Idea (*C. annuum*), and 2.19 for Kitaiskii fonarik (*C. annuum*). In assessment of thermostable antioxidants extracted with 80 % ethanol at 60 °C it was shown that the unstable antioxidants, mainly ascorbic acid, averaged 16 % of the total antioxidants. Rozhdestvensciy buket, Kitaiskii fonarik, Purpurnyi tigr, Ognennaya deva plants, additionally to antioxidants, can accumulate one of the strongest natural antioxidant, the capsaicin, which determines their hot taste. The capsaicin content of the studied chili peppers varied from 1.36 to 9.57 mg/g of dry weight. High contents of carotenoids, ascorbic acid and TAC combined with capsaicin at 8 to 9 score points increase the total antioxidant capacity of these samples.

Keywords: *Capsicum annuum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum pubescens*, *Capsicum chinense*, *Capsicum frutescens*, pigments, carotenoids, antioxidants, ascorbic acid, biofortification.

Научные собрания

EcoBio: CHALLENGES IN BUILDING A SUSTAINABLE BIOBASED ECONOMY 2018

(4-7 March 2018, Irelan)

Topics:

- scientific discovery — new feedstocks (algae, specialty crops, etc.); industrial microbiology; synthetic biology; nanobioscience; metagenomics and mining; computational engineering; bioactive compounds from nature;
- (industrial) technological development — pretreatment; renewable products (high performance materials, specialty chemicals, building blocks, food, feed & nutritional ingredients, health, personal & home care, etc); bioenergy; consolidated bioprocessing/integration and intensification of bioprocesses; use of residual streams (MSW, CO/CO_2, ...);
- impact assessment of biobased solutions — ecological aspects (soil, water, human, climate); soil and crop management; nutrient cycles; biomass supply;
- innovation and valorisation — biorefinery concepts; new value chains/clusters; start-ups/SMEs; green tech capital/investors

Information: https://www.elsevier.com/events/conferences/eco-bio