

Е.С. Белавкин, О.Н. Пышная, М.И. Мамедов, Н.А. Голубкина,
Е.А. Джос.

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ СОРТОВ ПЕРЦА СЛАДКОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ

Установлено, что общая сумма каротиноидов и соотношение их компонентов в фазе полной биологической спелости плодов зависят как от сорта, так и от условий выращивания. В условиях малообъемной гидропоники по сравнению с пленочной теплицей накапливается на 34,7 – 96,5% больше каротиноидов в зависимости от сорта.

Введение. Значение овощных растений в настоящее время трудно переоценить. Занимая большие площади под посевами во всех странах мира, они являются основными источниками биологически активных веществ, различных групп углеводов, органических кислот, минеральных элементов, солей, и, в определенной степени, белковых веществ в пище человека.

Капсантин – основной пигмент в зрелых плодах перца, который определяет интенсивность красной окраски. Количество капсантина и капсорубина увеличивается пропорционально по мере созревания плодов; капсантин является более стабильным пигментом [9, 7]. Количество каротиноидов в тканях в фазе биологической спелости плода зависит от многих факторов – сорта, степени зрелости плода, агротехники, окружающей среды и т.д. [14]. Однако при этом отмечается, что уровень потери окраски перикарпия определяется только генотипом [10].

Как отмечают исследователи [8, 15] четыре разных гена (**y**, **c₁**, **c₂**, **cl**) с эпистатическим взаимодействием контролируют окраску зрелых плодов. Известно около 20 каротиноидов, определяющих окраску плодов и ее интенсивность. Желтая окраска плодов перца обусловлена рецессивным аллелем **y**, красная окраска доминантным аллелем **y⁺** [3, 4, 8]. Этот локус расположен в хромосоме **Indigo** [12,13], и для селекционеров имеет важное значение. Он определяет красную или желтую

© Белавкин Е.С., Пышная О.Н., Мамедов М.И., Голубкина Н.А., Джос Е.А., 2009.

окраску сортов перца. Более того, сушеные плоды перца являются богатым источником природных натуральных красных пигментов для пищевой промышленности, для которых необходимо наличие локуса y^+ в генотипе сорта.

Плоды перца являются уникальным источником целого набора каротиноидов, известные своим антиоксидантным действием. Подробно изучена биологическая активность только β -каротина. Однако, хорошо установленным фактом является то, что в растениях антиоксиданты, включая каротиноиды самого разного строения обладают эффектом синергизма. Именно с этих позиций следует, что важно содержание в плодах не столько β -каротина, сколько набора разнообразных каротиноидов.

Методика. Для определения суммы общих каротиноидов и компонентов желто-оранжевых пигментов были использованы сорта и линии с различной окраской плодов в фазе биологической спелости: Л - Чаймс – темно-красная; Л-24 – ярко-красная; Желтый букет – желтая; Оранжевое чудо – темно-оранжевая. Содержание витамина С определяли методом визуального титрования [1], селена – флуорометрически [2], каротиноидов – спектрофотометрически, после разделения компонентов ацетонового экстракта на хроматографической бумаге.

Результаты и обсуждение. В результате исследований отмечена общая закономерность увеличения витамина С от технической до биологической спелости плодов. У изученных образцов перца накопление аскорбиновой кислоты в технически зрелых плодах происходит с большей интенсивностью в условиях пленочной теплицы, а условия малообъемной гидропоники способствуют ее аккумуляции в фазе биологической спелости (табл.1).

Важным физиологически активным веществом является селен (Se). Многочисленные исследования свидетельствуют, что устойчивость организма человека при различных нагрузках повышается не только благодаря содержанию в пище витамина С, каротиноидов, но и селена, так как он выполняет защитную функцию при различного рода оксидантных стрессах. Селен проявляет антиоксидантные защитные свойства в растениях [5,6,11]. Биохимические исследования показали значительные различия между сортами перца сладкого по содержанию селена в плодах, зависящие как от фазы спелости, так и условий выращивания (табл.2).

Стадия технической спелости характеризовалась примерно одинаковым содержанием этого элемента в плодах изучаемых сортов

независимо от условий выращивания за исключением Л-24, где условия малообъемной гидропоники способствовали накоплению селена на 70% больше по сравнению с пленочной теплицей. Полученные результаты показывают, что содержание селена в плодах не зависит от его окраски. Об этом свидетельствует увеличение количества селена в фазе биологической спелости независимо от условий выращивания. Наибольшее накопление наблюдается у линии Л-24 с красной окраской плодов на 37,1% по сравнению с технической спелости, и сорта Желтый букет с желтой окраской плодов на 20,5%. У других сортов этот показатель составил 1,2 % (красные плоды) и 2,3% (желтые плоды).

В условиях малообъемной гидропоники в фазе биологической спелости количество селена в плодах увеличивается у всех сортов. Наибольшее увеличение наблюдается у линии Л-24 – 108,3%, у остальных сортов этот показатель составил 5,2-22,9%.

В плодах перца накапливаются провитамины – α , β - и γ -каротины, криптоксантин, которые в печени человека трансформируются в витамин А. В фазе полной биологической спелости плодов перца количество β -каротина составляет около 10% от общего количества каротиноидов. Но между сортами и видами перца, как по общей сумме, так и по соотношению отдельных каротиноидов есть большие различия, что подтверждается нашими исследованиями, проведенными в различных сооружениях защищенного грунта: пленочной теплице и в условиях малообъемной гидропоники.

Установлено, что общая сумма каротиноидов и соотношение их компонентов в фазе полной биологической спелости плодов зависит как от сорта, так и от условий выращивания. В условиях малообъемной гидропоники по сравнению с пленочной теплицей накапливается на 34,7- 96,5% больше каротиноидов в зависимости от сорта (табл. 3). У селекционной линии Л - Чаймс с темно-красными плодами в условиях малообъемной гидропоники каротиноиды накапливаются в 3 раза больше чем у желто-плодного сорта Желтый букет и в 30 раз больше чем у оранжево-плодного сорта Оранжевое чудо, а в условиях пленочных теплиц в 2,3 и 24 раза, соответственно. У другой селекционной линии - Л-24, с ярко-красными плодами, наблюдается такая же тенденция, но в меньшем объеме – 1,8 и 20 раз - в условиях пленочных теплиц и 1,7 и 17,2 раз – в условиях малообъемной гидропоники.

По мнению многих исследователей, интенсивность окраски плодов определяется не общей суммой каротиноидов, а соотношением

их компонентов. Определенный уровень тех или иных каротиноидов влияет на проявление окраски в чистом виде или с различными оттенками. Это также подтверждается и нашими исследованиями. Сумма общих каротиноидов в темно-красных плодах линии Л - Чаймс в условиях пленочных теплиц составила 2,278 мг/кг сырой массы, а сумма желто-оранжевых пигментов 1,56 мг/кг сырой массы или 68,7%. В условиях малообъемной гидропоники линия Л - Чаймс накапливает 4,477 мг/кг или в 2 раза больше каротиноидов, чем в условиях пленочных теплиц, но доля желто-оранжевых пигментов снижается и составляет 2,23 мг/кг или 49,7%. Количественное соотношение желто-оранжевых каротиноидов отражается на окраске плодов и заметно визуально. В благоприятных условиях малообъемной гидропоники окраска плодов линии Л – Чаймс более насыщена и привлекательна. Здесь имеет место снижение всех желто-оранжевых пигментов: β -каротина, криптоксантина и зеаксантина практически на 20%, по сравнению с пленочной теплицей, и увеличивается доля красных пигментов.

В условиях малообъемной гидропоники в ярко-красных плодах Л-24 каротиноиды накапливаются в 1,3 раза больше по сравнению с пленочной теплицей. Но по сумме и соотношению желто-оранжевых пигментов наблюдается обратная тенденция. В условиях малообъемной гидропоники в плодах линии Л-24 увеличивается количество и процентное соотношение β -каротина (6,5%), криптоксантина (5,3%) и зеаксантина (12,2%), что в сумме составляет 24%. На долю желто-оранжевых пигментов в ярко-красных плодах Л-24 приходится 84,1%, а в условиях пленочных теплиц - 60,1%, причем преобладающим является зеаксантин (45,2% и 33% соответственно). Такое соотношение красных и желто-оранжевых пигментов отражается в проявлении ярко-красной окраски плода с оранжевым оттенком.

В сортах Желтый букет и Оранжевое чудо в фазе биологической спелости плодов обнаружены только желто-оранжевые каротиноиды. Как в условиях пленочных теплиц, так и в условиях малообъемной гидропоники основную долю желто-оранжевых пигментов составляют криптоксантин - 86,1-93,6%, и β -каротин – 6,3-13,9%. Криптоксантин накапливается больше в условиях малообъемной гидропоники, а β -каротин в условиях пленочных теплиц. У обоих сортов пигмент зеаксантин практически отсутствует, обнаружены только следы (табл.3).

Биохимические исследования по содержанию биологически активных веществ в плодах перца сладкого показали сортоспецифич-

ность этого процесса, который зависит также и от условий окружающей среды. До настоящего времени недостаточное внимание уделяется созданию сортов перца сладкого с повышенным содержанием биологически активных веществ. Многочисленные исследования посвящены констатации фактов, то есть оценке количества отдельных биохимических компонентов. В то же время назрела необходимость селекции овощных культур в целом, перца сладкого в частности, не только на высокое содержание биологически активных веществ, но и их отдельных компонентов, которые в значительной степени определяют качество и питательную ценность овощной продукции. Исследования, посвященные изучению компонентов каротиноидов, витаминов, селена и т.д., позволяют оценить исходный материал по уровню накопления отдельных антиоксидантов и БАВ в различных условиях выращивания, подобрать родительские линии для скрещивания, и на основе закономерностей наследования признаков создать сорта и гибриды с высоким содержанием отдельных каротиноидов в зависимости от назначения.

Библиография.

1. Метод визуального титрования аскорбиновой кислоты: АО-АС, 1996.
2. Alfthan G. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry, *Analitica Chimica Acta*, 1984, 65, pp. 187-194.
3. Atkins W.R.G., Sherrard G.P. *Sci. Proc. R Dublin Soc N.S.*, 14, 1915.
4. Deshpande R.B. Studies in Indian chillies: 3. The inheritance of some characters in *Capsicum annum* L. *Indian J. Agric. Sci.* 3, 1933, p. 210-300.
5. Germ M., Kreft I., Stibilj V., Urbanc-Bersis O. Combined effects of selenium and drought on photosynthesis and mitochondrial respiration in potato, *J. Plant Physiology and Biochemistry*, 2007, 45, pp. 162-167.
6. Hanson B., Garifullina G.F., Lindblom S.D., Wangeline A., Ackley A., Kramer K., Norton A.P., Lowrence C., Pilon-Smits E.A.H. Selenium accumulation protects *Brassica juncea* from invertebrate herbivory and fungal infection. *J. New Phytologist*, 2003, 159, pp. 461-469.
7. Harkay-Vinkler M. Storage experiments with raw material of seasoning paprika with particular reference to the red color pigment components. *Acta. Alim. Acad. Sci.*, 1974, 3, pp. 239-249.

8. Hurtado-Hernandes H., Smith P.G. Inheritance of mature fruit color in *Capsicum annuum* L. The J. of Heredity, 76, 1985, p. 211-213.
9. Kanner J., Harel S., Palevitch D., Ben-gera I. Color retention in sweet red paprika (*Capsicum annuum* L.) powder as affected by moisture contents and ripening stage. J. Food Technol. 12, 1977, p. 59-64.
10. Levy A., Levy T.S., Elkind Y., Menagem E., Barzilai M., Kanner J. Carotenoid and vitamin C and vitamin E contents in isogenic chlorophyll and color mutants of paprika (*Capsicum annuum* L.). 10th EUCARPIA meeting on genetics and breeding of Capsicum and Eggplant, 1998, Avignon, p. 257-260.
11. Nowak J., Kaldewski K., Ligocki M. J. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and plants. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36, pp. 1553-1558.
12. Pochard E. Description des trisomiques de Piment (*Capsicum annuum* L.) obtenus dans la descendance d'une plante haploide. Ann Amelior Plantes, 20, 1970, p.233-256.
13. Pochard E. Localization of genes in *Capsicum annuum* L. by trisomic analysis. Ann Amelior Plantes, 27, 1977, p. 255-266.
14. Reeves M.J. Re-evaluation of *Capsicum color data*. J. Food Sci., 1987, 52, pp. 1047-1049
15. Shifriss C., Pilovsky M. Studies of the inheritance of mature fruit color in *Capsicum annuum* L. Euphytica, 1992, 60(2), pp.123-126.

1. – Содержание витамина С (мг/100г сырой массы) в плодах перца сладкого при различных условиях выращивания (2007-2008 гг.)

Сорта и линии	Пленочная теплица		Малообъемная гидропоника	
	Техническая спелость	Биологическая спелость	Техническая спелость	Биологическая спелость
Л - Чаймс	147	161	118	177
Л - 24	169	185	137	200
Желтый букет	138	152	113	159
Оранжевое чудо	174	206	161	231

Belavkin E.S., Pyshnaya O.N., Mamedov M.I., Golubkina N.A., Dzhos E.A. Environmental effect on biologically active compounds content in sweet pepper fruits.

Capsicum fruits are popular and used in cuisines all over the world. There are many different varieties, forms and uses of Capsicum. Color is one of the most important attributes of sweet pepper varieties. The amount of carotenoides in fruit tissue at harvest depends on factors such as cultivar, maturity stage and growing conditions. Capsicums are also among the richest known plant sources of vitamin C and selenium.

2. – Содержание селена в плодах перца сладкого при различных условиях выращивания (2007-2008 гг.)

Сорта и линии	Содержание селена, мкг/кг сухой массы			
	Техническая спелость		Биологическая спелость	
	ПТ*	МГ*	ПТ	МГ
Л – Чаймс	168	174	170	209
Л – 24	97	165	133	277
Желтый букет	132	133	159	189
Оранжевое чудо	177	181	192	202

ПТ* - пленочная теплица; МГ* - малообъемная гидропоника

Табл. 3. Содержание каротиноидов (мг/кг сырой массы) в плодах перца сладкого в фазе биологической спелости при различных условиях выращивания (2007-2008 гг.)

Сорта и линии	Окраска плода	Сумма каротиноидов, мг/кг		β – каротин, мг/кг		Криптоксантин, мг/кг		Зеаксантин, мг/кг	
		ПТ*	МГ*	ПТ	МГ	ПТ	МГ	ПТ	МГ
Л – Чаймс	темно-красная	2,278	4,477	0,29	0,413	0,433	0,535	0,844	1,282
Л – 24	ярко-красная	1,876	2,527	0,345	0,63	0,163	0,354	0,63	1,143
Желтый букет	желтая	0,093	0,149	0,013	0,018	0,080	0,137	-	-
Оранжевое чудо	темно-оранжевая	1,01	1,473	0,092	0,095	0,915	1,378	-	-

ПТ* – пленочная теплица; МГ* - малообъемная гидропоника.