

黄色线辣椒及其杂交组合品质特性研究

邵登魁^{1,2}

(1. 青海省农林科学院 园艺研究所, 青海 西宁 810016; 2. 青海省蔬菜遗传与生理重点实验室, 青海 西宁 810016)

摘 要:以自然突变的黄色果实成熟色线辣椒资源 HJ2002 为母本, 3 份红色果实成熟色线辣椒纯系为父本, 采用顶交法配制杂交组合, 研究了果实成熟过程中的维生素 C、可溶性糖、叶绿素和类胡萝卜素含量的变化特点。结果表明: 维生素 C、可溶性糖、类胡萝卜素含量随着果实的生长成熟而增加; 叶绿素含量在果实成熟过程中逐渐减少; 母本 HJ2002 在果实生理成熟期仍含有一定量的叶绿素, 而 F₁ 代在生理成熟期叶绿素含量几乎为零; 通过相关性分析发现, 线辣椒果实中叶绿素与类胡萝卜素含量在成熟过程中呈显著的负相关; 少量叶绿素 b 的存在可能是黄色线辣椒突变材料成熟期颜色表现构成的重要遗传因素。

关键词:线辣椒; 杂交组合; 品质性状; 叶绿素

中图分类号:S 641.303.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)03-0005-04

辣椒(*Capsicum annuum* L.)起源于中南美洲, 我国西北地区的线辣椒属于一年生辣椒栽培种中的指形椒(*dactylus* M)的皱皮变异类型^[1], 是制干椒中的重要类型, 在我国西北、西南和华北地区广泛栽培。近年来, 随着生产的发展和辣椒消费需求的多样化, 线辣椒除了作为干制辣椒外, 以其幼嫩果实、绿熟果实、红熟鲜果为原料腌制的剁椒、辣椒酱、辣椒酥等粗加工产品和辣椒色素、辣味素等精深加工产品不断革新, 使线辣椒产业链不断延长。这一需求趋势也推动了线辣椒种质资源改良和专用品种选育等上游研发工作的发展。当前世界上的制干椒主要生产国如印度、韩国、中国等国家和地区生产上依然以常规品种为主, 但是随着加工技术的发展, 对专用型杂交品种的需求将越来越多。在专用制干椒品种选育方面, 当前世界主栽品种主要是韩国的 Seminis、Sungenta 等公司选育的“金塔”、“火鹤 3 号”、“红山湖”等^[2], 国内主要有湖南省农业科学院、国家蔬菜工程技术研究中心等单位育成的“湘辣”系列、“京辣”系列杂交种^[3]。HJ2002 是从循化线辣椒天然群体中发现的突变材料后代中选育成的黄色果皮成熟色纯系, 该纯系生长旺盛、单节位双椒率高、果实长度 20 cm 左右、丰产性优良; 茎秆覆盖绒毛, 抗病性优良; 属于香辣型制干椒类

型, 适宜青海、甘肃、陕西等地风味^[4]。由于 HJ2002 综合农艺性状优良, 因此很适宜作为西北型制干椒的亲本。现针对 HJ2002 及其杂交组合开展品质相关性状的检测分析, 对皱皮型线辣椒育种技术创新和专用型品种的开发具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

黄色果实成熟色纯系 HJ2002; 以 HJ2002 为母本的杂交组合: F109-1(HJ2002×05-13, 05-13 为红果中辣椒红素含量线辣椒纯系)、F109-2(HJ2002×G105-1, G105-1 为红果高辣椒红素含量线辣椒纯系)、F109-3(HJ2002×05991-1, 05991 为红果低辣椒红素含量线辣椒纯系), 亲本及杂交组合均由青海省农林科学院园艺所蔬菜种质资源库提供。

1.2 试验方法

试验于 2013 年在青海省农林科学院试验温室中进行。田间试验采用随机区组设计, 小区面积 20 m², 3 次重复, 实验室检测样品每个重复内取 1 份, 随机抽取 10 株固定取样株, 每次每株取相同节位果实 1 个, 混合提取。取样时间为幼果期(坐果后 10~15 d)、绿熟期(坐果后 30~35 d)、转色期(坐果后 45~55 d)、红熟期(坐果后 60~65 d)。红熟期每小区取非固定取样株 10 株检测农艺性状。

1.3 项目测定

维生素 C 含量测定采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^[5]; 可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[6]; 叶绿素及类胡萝卜素含量测定采用分光光度计法^[7]。

1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 16.0 软件进行分析。

作者简介:邵登魁(1980-), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向为蔬菜种质资源创新利用与新品种选育。E-mail: sdk2003-2003-2003@163.com

基金项目:国家大宗蔬菜产业技术体系西宁综合试验站资助项目(CARS-25-G-49); 青海省科技厅“1020”专项资助项目(2015-NK-503)。

收稿日期:2015-09-24

2 结果与分析

2.1 黄色线辣椒及其杂交组合主要果实性状比较

在红熟期对 HJ2002 及其 3 个杂交组合的主要果实农艺性状和维生素 C、可溶性糖含量进行了检测。从表 1 可以看出,除了 F109-1 之外,HJ2002 的杂交后代中主侧枝数变化不是很大;F109-2 的单株结果数达到了 126.8 个,比母本的单株结果数增加了 50.24%,果实长度比母本增加了 23.24%;F109-1 和 F109-2 的果宽比母

本均有显著增加,果宽这一性状更加偏向于父本;3 个组合的果肉厚度相对于母本有显著的增加;F109-3 的维生素 C 含量最高,为 340.12 mg/100g,达到了极显著差异水平,其它 2 个组合的维生素 C 含量也有明显增加;可溶性糖含量最高的是亲本 HJ2002,3 个组合相对而言均有不同程度的降低。从测试结果整体而言,3 个杂交组合在不同性状方面表现出了一定的杂种优势。

表 1 黄色线辣椒及其杂交组合的主要性状指标

Table 1 Main character index of yellow line pepper and hybridization

材料	侧枝数	单株果数	果长	果宽	单果重	果肉厚	维生素 C 含量	可溶性糖含量
Material	Branch number	Plant fruit number	Fruit length/cm	Fruit diameter/cm	Fruit weight/g	Pulp thickness/cm	Vitamin C content /(mg · (100g) ⁻¹)	Soluble sugar content/(mg · g ⁻¹)
HJ2002	1.18	84.40	19.28	1.134	10.55	0.134	232.93	15.47
F109-1	1.38	68.75	21.28	1.443*	15.75*	0.174*	280.69*	13.37
F109-2	1.18	126.80**	23.76	1.406*	15.84*	0.181*	292.25*	7.18*
F109-3	1.19	85.40	21.42	1.073	9.13	0.199*	340.12**	4.23**

2.2 黄色线辣椒及其杂交组合果实成熟过程中主要内含物变化

对 HJ2002 及其 3 个杂交组合在幼果期、绿熟期、转色期和红熟期的果实中的维生素 C 含量进行了检测。从图 1 中可以看出,随着果实成熟度的提高,果实中维生素 C 含量呈增加趋势,但是增加幅度有所不同。从幼果期到绿熟期,组合 F109-3 的维生素 C 含量迅速增加,后趋于平稳;从绿熟期到转色期组合 F109-2 维生素 C 含量增速较快;亲本 HJ2002 在整个果实成熟过程中维生素 C 呈缓慢增加。4 份材料比较,HJ2002 红熟期果实中

维生素 C 含量最低,而 F109-3 果实中含量最高。

从 4 份材料果实成熟过程中的可溶性糖含量变化可以看出,HJ2002 和 F109-1 随着果实成熟度提高可溶性糖含量增加,另外 2 份材料恰好相反,随着成熟度增加而降低,这种规律可能与父本材料的遗传特性有关。在整个果实成熟过程中,HJ2002 的可溶性糖含量均高于 3 个杂交组合,在绿熟期,F109-1 和 F109-2 果实中可溶性糖含量接近。

分析 HJ2002 及其 3 个杂交组合不同发育时期果实中的叶绿素含量变化发现,随着果实成熟度的增加,果

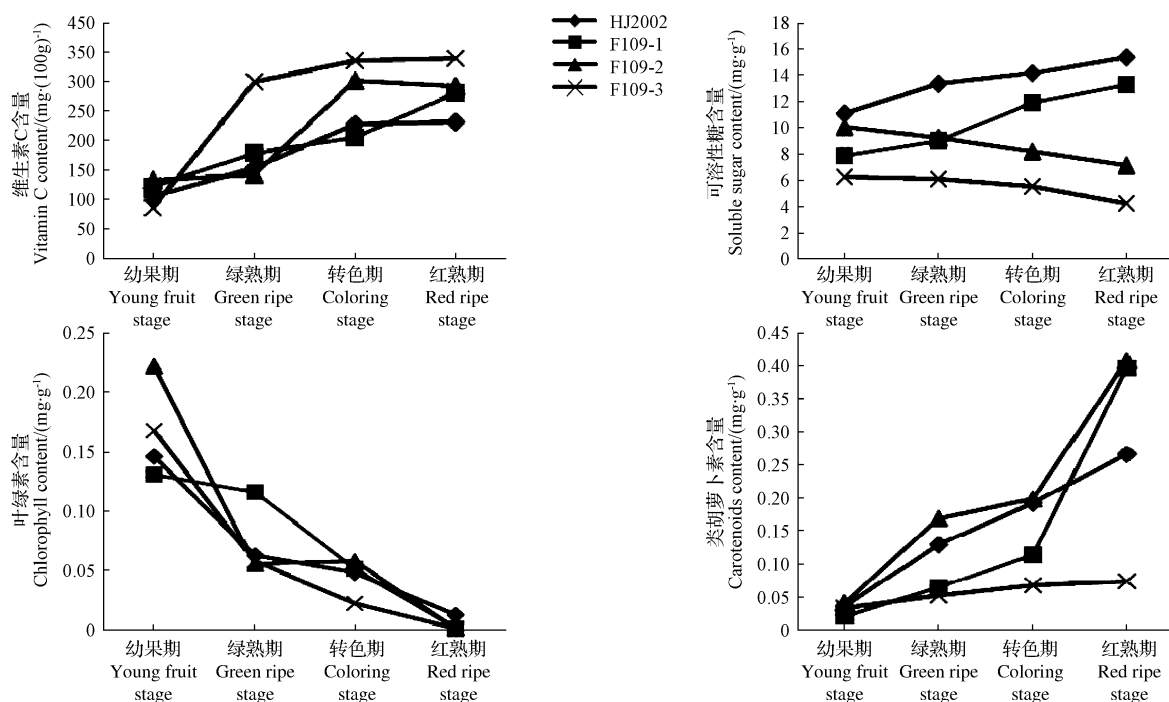


图 1 不同时期亲本及其杂交组合主要内含物变化趋势

Fig. 1 Change trend of inclusion content about parent and hybrid combination in different period

实中叶绿素含量均呈下降趋势。从幼果期到绿熟期, HJ2002、F109-2、F109-3 果实中的叶绿素快速下降, 叶绿素含量的降低也反映了果肉细胞光合作用逐渐减弱, 果实由合成器官转变为贮存器官。F109-1 在幼果期叶绿素含量最低, 在整个果实生长过程中叶绿素下降的趋势也比较缓慢。在果实红熟期, 除 HJ2002 果实中含有 0.012 mg/g 叶绿素外, 3 份杂交组合果实中的叶绿素含量几乎趋近为 0。

果实中的类胡萝卜素含量从幼果期到红熟期呈上升趋势变化, 幼果期含量最高为 F109-2 的 0.042 mg/g, 最低的为 F109-1 的 0.022 mg/g; F109-3 在果实生长过程中类胡萝卜素缓慢增加, 含量从 0.035 mg/g 增加到了 0.075 mg/g, 增加了 2.14 倍; 增量最多的为 F109-1, 从 0.022 mg/g 增加到了 0.397 mg/g, 增加了 18.05 倍; F109-2 果实中类胡萝卜素增加了 9.76 倍。

2.3 黄色线辣椒及其杂交组合果实成熟过程中叶绿素与类胡萝卜素变化关系

由于叶绿素和类胡萝卜素与果实成熟色以及果实中的其它相关色素合成有一定的因果关系, 因此分析了 HJ2002 及其 3 个 F₁ 代杂交组合果实从幼果期到红熟期

叶绿素与类胡萝卜素的消长关系。从图 2 可以看出, HJ2002 随着果实成熟度逐渐增加, 叶绿素 a 含量逐渐降低, 最后趋近于 0; 叶绿素 b 同样是降低趋势, 在红熟期还有少量叶绿素 b 存在于果实中, 含量从幼果期的 0.058 mg/g 降低到了 0.011 mg/g; 类胡萝卜素呈快速增长趋势, 从幼果期的 0.038 mg/g 上升到 0.268 mg/g, 增长了 7.05 倍。3 个杂交组合果实中叶绿素 a、叶绿素 b 含量也是随着果实成熟度增加而降低, 类胡萝卜素含量随着果实成熟度增加而增高, 这与 HJ2002 表现一致; 表现不同的是, 3 个杂交组合果实中的叶绿素 a 和叶绿素 b 含量在红熟期均趋近于零。黄色果实成熟色的材料和红色果实成熟色的材料在红熟期果实中叶绿素含量和成分方面存在一定的差异, 该发现对于解释果实成熟色的表现提供了一些科学依据。

从上述分析得知, 叶绿素和类胡萝卜素在辣椒果实生长过程中存在一定的消长关系, 因此对叶绿素和类胡萝卜素在果实发育不同时期的含量进行相关性分析。从表 2 可以看出, 在 HJ2002 和 F109-3 果实中叶绿素含量和类胡萝卜素含量呈极显著负相关, F109-1 和 F109-2 果实中叶绿素含量和类胡萝卜素含量呈显著负相关。

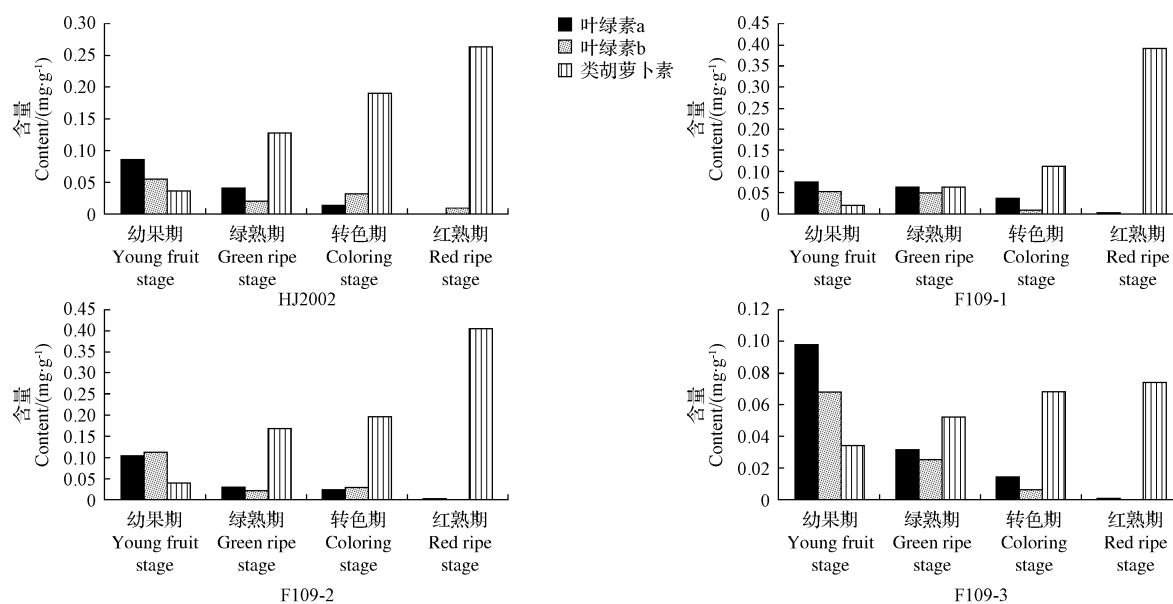


图 2 不同时期亲本及其杂交组合叶绿素和类胡萝卜素变化趋势

Fig. 2 Change trend of chlorophyll and carotenoids about parent and hybrid combination in different period

表 2 叶绿素与类胡萝卜素的相关性检验

Table 2 Correlation test between fruit chlorophyll and carotenoids

材料 Material	HJ2002	F109-1	F109-2	F109-3
相关系数 Correlation coefficient	-0.98 **	-0.88 *	-0.92 *	-0.99 **

3 结论与讨论

辣椒的果实成熟色一般是由类胡萝卜素、类黄酮色素、叶绿素和花青素等 4 种色素决定的, 表现不同的颜

色一般是由于上述 4 类色素比例不同^[8]。由于光合产物转移转化的规律性, 维生素 C 和可溶性糖在辣椒(甜椒)果实成熟过程调控以及色素物质合成方面的研究报道也比较多^[9-10]。该研究通过系统比较西北型黄色果实成熟色线辣椒突变材料 HJ2002 及其与 3 份红色果实成熟色纯系配制的杂交组合, 及在果实发育的不同时期的重要品质性状的变化特点, 发现维生素 C、可溶性糖、类胡萝卜素含量随着果实的生长成熟而增加, 而叶绿素含

量在果实成熟过程中逐渐减少,这与大多数研究报道结论一致^[9,11]。该研究发现,表现黄色果实成熟色的 HJ2002 在果实生理成熟期仍含有一定量的叶绿素 b,而表现红色果实成熟色的 F₁ 代在生理成熟期叶绿素含量几乎为零,而在植物体内,叶绿素 b 一般表现黄绿色^[7]。从这一结果推断,HJ2002 有可能是突变引起了一系列调控基因发生了连锁反应,其中一个重要的调控机制是果实成熟期叶绿素 b 转化的相关基因受到了干预,从而导致叶绿素 b 在果实中的转化能力减弱,使果实成熟期的变现色增加了黄绿色因素,最终表现橙黄色。现有研究报道表明,叶绿素 b 的代谢主要是在叶绿素 b 还原酶(chlorophyll b reductase,CBR)作用下还原生成叶绿素 a 后参与代谢的,而叶绿素 a 的代谢分为未脱绿代谢和脱绿代谢。未脱绿代谢的最终产物为脱镁叶绿酸(Pheide a);脱绿代谢是脱镁叶绿酸继续在脱镁叶绿酸 a 加氧酶(PaO)和红色叶绿素代谢产物还原酶(RCCR)作用下生成荧光叶绿素代谢产物(FCCs 蓝色)和红色叶绿素代谢产物(RCC 红色)^[12]。从试验结果推断,黄色突变材料 HJ2002 有可能是叶绿素 b 还原酶(CBR)或者红色叶绿素代谢产物还原酶(RCCR)调控环节发生了变异,这一推断对于下一步探究线辣椒黄色果实成熟色遗传变异机理指出了方向。另外研究积累发现,黄色突变材料 HJ2002 在茎秆绒毛、同节多果实性等性状方面同时发生了变异,是否这些性状的调控基因或 QTL 是否与叶绿素代谢基因存在连锁关系,这方面都值得进一步探讨。相关性分析发现,线辣椒果实中叶绿素与类胡萝卜素含量在成熟过程中呈显著的负相关,这是光合产物“库-源”关系转换的一种表现。在幼果期的果肉细胞属于“光合源”,而绿熟期的果肉细胞则是“光合库”。在绿

熟期以后,作为光合作用主要物质之一的类胡萝卜素(包括辣椒红素类)含量迅速增加。该研究中发现,高辣椒红素父本的杂交组合在成熟中后期类胡萝卜素含量增长速度高于低辣椒红素的组合,证明亲本辣椒红素合成的遗传效应影响子代的类胡萝卜素合成,具体遗传效应的测算有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王利群,张西露,戴雄泽.我国辣椒资源分类研究现状及探讨[J].辣椒杂志,2015(2):1-5.
- [2] 耿三省,陈斌,张晓芬,等.我国辣椒育种动态及市场品种分布概况[J].辣椒杂志,2011(3):1-4.
- [3] 邹学校,周群初,戴雄泽,等.湘研辣椒品种的选育与推广[M].北京:中国农业出版社,1999:1-17.
- [4] 邵登魁,侯全刚,李莉,等.黄色线辣椒新品种‘青线椒 2 号’[J].园艺学报,2013,40(1):186-188.
- [5] 赵晓梅,江英,吴玉鹏,等.果蔬中 VC 含量测定方法的研究[J].食品科学,2006,27(3):197-199.
- [6] 万英,孔星云,王冀平,等.果品中含糖量测定方法的探讨[J].塔里木农垦大学学报,1994(2):108-110.
- [7] 杨敏文.分光光度法测定叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的含量[J].化学教学,2002(8):44-45.
- [8] MURAKAM Y, FUKUI Y, WATANABE H, et al. Floral coloration and pigmentation in calibracho cultivars[J]. Journal of Horticultural, 2004, 79(1):47-53.
- [9] 张海利,李焕秀.不同成熟度辣椒果实中 VC 及糖含量测定[J].甘肃农业科技,2007(1):5-7.
- [10] 李敏,石运生.彩色甜椒果实发育及品质形成研究[J].莱阳农学院学报,2002(3):187-190.
- [11] CURL A L. The carotenoid of muskmelons[J]. Food Sci, 1996, 31(3): 759-761.
- [12] MOSER S, MULLER T, EBERT M, et al. Blue luminescence of ripening bananas[J]. Angewandte Chemie-International Edition, 2008, 47(46): 8954-8957.

Study on Characteristics of Quality Traits of Yellow Line Hot Pepper and Hybridized Combination

SHAO Dengkui^{1,2}

(1. Institute of Horticulture, Qinghai Academy of Agricultural and Forestry Research, Xining, Qinghai 810016; 2. Qinghai Province Key Laboratory of Vegetable Genetics Physiology, Xining, Qinghai 810016)

Abstract: One sporadic mutation yellow line pepper HJ2002 and three common red pure line peppers were used for the 3 incomplete top-crosses. The contents and change characteristics of vitamin C, soluble sugar, chlorophyll and carotenoid pigment in the fruit ripening were analyzed. The results showed that the content of vitamin C, soluble sugar and carotenoid pigment were gradually increased during the maturation of fruit. The content of chlorophyll was decreased during the maturation. Relative the parent HJ2002, the physiological ripening fruit still contained some chlorophyll, but the chlorophyll content in F₁ generation was reduced to zero almost. Through correlation analysis found that capsicum chlorophyll had a significant negative correlation to carotenoid pigment content. The presence of a small amount of chlorophyll b may be the important genetic factor of the mature color in the yellow mutant material.

Keywords: line hot pepper; hybridized; quality traits; chlorophyll