

# 两种生态条件下西瓜果实番茄红素含量比较

袁平丽, 刘文革, 李智, 赵胜杰, 路绪强, 何楠

(中国农业科学院郑州果树研究所 郑州 450009)

**摘要:** 为了分析西瓜果实中番茄红素含量与栽培环境的关系, 培育更具市场竞争力的优质西瓜品种, 将 80 份西瓜材料的种子均分为 2 份, 分别在河南新乡和新疆昌吉种植, 待果实成熟后取果肉用高效液相色谱法(HPLC)测定番茄红素含量。结果显示, 80 份西瓜材料在河南新乡、新疆昌吉种植的平均番茄红素质量分数分别是 20.84、28.53 mg·kg<sup>-1</sup>; 总体水平上, 新疆昌吉栽培条件下番茄红素含量高于河南新乡; 不同材料间番茄红素含量差异较大, 栽培环境和基因型共同影响西瓜番茄红素含量。

**关键词:** 西瓜; 番茄红素含量; 生态条件

## Comparison of lycopene content in watermelon fruit under two ecological conditions

YUAN Pingli, LIU Wenge, LI Zhi, ZHAO Shengjie, LU Xuqiang, HE Nan

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China)

**Abstract:** Producers of fresh fruits and vegetables face increasing production costs and international market competition. Growers who can offer high-quality watermelons [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai] with high nutrition will have better market opportunities. To accomplish this goal, germplasm must be identified that has enhanced phytonutrient levels. The present study was performed on 80 watermelon materials by high performance liquid chromatography (HPLC) to determine the importance of genotype and environmental effects on lycopene concentration, a carotenoid which has antioxidant properties that may reduce the incidence of certain cancers. Our results demonstrated that lycopene concentration was affected by both genotype and environment, and the amount of environmental effect varies among cultivars. The mean of fruit tested was 20.84 mg·kg<sup>-1</sup> in Xinxiang and 28.53 mg·kg<sup>-1</sup> in Xinjiang. In general, the watermelon contents in Xinjiang were found higher than that in Xinxiang, and the difference of lycopene contents were larger within different materials, the lycopene contents in watermelon fruits were effected by both genotype and environment.

**Key words:** Watermelon; Lycopene content; Ecological conditions

西瓜(*Citrullus lanatus*)属葫芦科, 原产非洲, 栽培地域广泛<sup>[1]</sup>。西瓜果实中含有大量的番茄红素、瓜氨酸、维生素 C、黄酮类化合物等功能性成分<sup>[2-4]</sup>。番茄红素是一种天然色素, 有抗癌、抗氧化、预防心血管疾病等生理功能, 多存在于西瓜和番茄中, 且西瓜中番茄红素的有效性要高于番茄<sup>[5-6]</sup>。因此, 筛选和培育高番茄红素西瓜品种是重要的育种目标之一。

西瓜果实番茄红素含量的测定方法很多, 其含量高低受到各种因素的影响, 前人比较了不同测定

方法的差异<sup>[7-11]</sup>, 并探讨了不同发育时期、基因型、瓤色、栽培条件等因素对西瓜番茄红素含量的影响<sup>[12-15]</sup>。红瓤西瓜果肉中含 33~100 mg·kg<sup>-1</sup> 的番茄红素, 柠檬黄色或黄色西瓜果肉的番茄红素含量很低甚至没有<sup>[16-18]</sup>。有关不同地区西瓜果实番茄红素含量差异的报道相对较少。何春玫等<sup>[19]</sup>研究了栽培环境及贮存期等因素对番茄中番茄红素含量的影响, 结果表明, 栽培季节、栽培设施和贮存期对番茄红素含量均有影响。阚义等<sup>[20]</sup>试验结果表明, 新疆昌吉地区番茄果实中平均含有 2.54 μg·mL<sup>-1</sup> 的番茄

收稿日期: 2016-11-17; 修回日期: 2017-03-21

基金项目: 国家西甜瓜产业技术体系(CARS-26-03); 中国农业科学院科技创新工程专项经费项目(CAAS-ASTIP-2025-ZFRI); 国家自然科学基金项目(31171979)

作者简介: 袁平丽, 女, 硕士, 研究方向为多倍体西瓜遗传育种。E-mail: mengping513@163.com

通信作者: 刘文革, 男, 博士, 研究员, 博士研究生导师, 全国无籽西瓜科研与生产协作组组长, 国家西甜瓜产业体系无籽西瓜育种岗位科学家, 研究方向为多倍体西瓜育种及生物技术。Tel: 0371-65330936, E-mail: lwgwm@163.com

红素,而相同品种在山东烟台种植则含有  $1.23 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  的番茄红素,不同种植环境对番茄红素含量影响较大。Angela R<sup>[21]</sup>将 10 份西瓜品种在美国俄克拉荷马州和得克萨斯州两地种植,其瓜氨酸质量分数平均分别为  $3.10$ 、 $1.67 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,不同地点差异较大。Perkins<sup>[22]</sup>研究显示佛罗里达与卡罗莱纳两地的西瓜果实番茄红素含量有差异。基于河南新乡和新疆昌吉两地自然环境的较大差异,我们测定了 80 份西瓜材料在不同生长条件下果实的番茄红素含量,分析番茄红素含量的总体特性和环境对其的影响,以期为培育高番茄红素西瓜品种提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计与材料

供试西瓜材料(包括固定品种和纯合自交系)来自中国农业科学院郑州果树研究所多倍体西瓜课题组和国家西瓜甜瓜种质资源中期库(表 1)。分别在河南新乡和新疆昌吉两地种植。

河南新乡试验材料于 2015 年 3 月播种,大 棚 种 植,育 苗 移 栽,随 机 区 组 设 计,3 个 重 复,每 个 重 复 5 株,行 距  $1.5 \text{ m}$ ,株 距  $0.8 \text{ m}$ ,地 膜 覆 盖,单 蔓 整 枝,第 2 个 雌 花 留 单 瓜,统 一 浇 水 施 肥、田 间 管 理 和 防 治 病 虫 害。5 月 下 旬 开 始 授 粉,雌 雄 花 开 花 前 一 天 下 午 套 帽,开 花 当 天 自 交 授 粉,挂 牌 标 注 授 粉 日 期。根 据 不 同 品 种 成 熟 情 况 于 7 月 初 采 收,各 重 复 采 同 一 天 授 粉、大 小 均 匀 的 果 实,取 果 实 中 心 果 肉 匀 浆 混 样,用 液 氮 速 冻 后 放 入  $-80 \text{ }^{\circ}\text{C}$  的 冰 箱 中,待 测<sup>[21]</sup>。

相同材料在新疆昌吉于 2015 年 4 月 下 旬 播 种,露 地 覆 膜 栽 培,栽 培 管 理 方 法 与 河 南 新 乡 一 致,统 一 浇 水 施 肥、田 间 管 理 和 防 治 病 虫 害。6 月 中 下 旬 开 始 人 工 授 粉(同 河 南 新 乡),8 月 下 旬 采 收,取 样 方 式 同 上。新 疆 昌 吉 的 材 料 用 干 冰 冻 冻 后 空 运 至 郑 州 果 树 研 究 所,与 河 南 新 乡 的 材 料 在 相 同 试 验 条 件 下 测 定 番 茄 红 素 含 量(以 鲜 质 量 计)。

### 1.2 试验方法

番茄红素的提取及测定参考袁平丽等<sup>[8]</sup>的试验方法。色谱柱为 Diamonsil Plus  $5 \mu\text{m}$ ( $250 \text{ mm}\times 4.6 \text{ mm}$ );流速为  $1.0 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ;检测波长  $472 \text{ nm}$ ;柱温为  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;进样体积  $10 \mu\text{L}$ ,样品保留时间  $8 \text{ min}$ ,番茄红素标准品来自 Sigma 公司,标准曲线:  $y = 12\ 929x + 59\ 350, R^2 = 0.999$ 。

### 1.3 数据统计分析

采用 Excel 2007 对数据的平均数、标准差、变异系数等进行分析,采用 SPSS 20.0 对数据进行

Duncan 多重比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 两地西瓜材料的番茄红素含量整体比较

栽培环境影响西瓜果实的番茄红素含量,80 份西瓜材料,在河南新乡种植的平均番茄红素质量分数是  $20.84 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,标准差为  $8.27$ ;新疆昌吉是  $28.53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,标准差为  $9.76$ (表 1)。总体上,同一品种在新疆昌吉种植的番茄红素含量高于河南新乡(其中有 67 个品种高于河南新乡,占所测总品种数的  $83.75\%$ ),但也有低于河南新乡的(13 个品种,占所测总品种数的  $16.25\%$ ),其中 48 份材料在两地的含量平均值差异显著,表明不同品种对不同环境的适应性不同。新疆昌吉与河南新乡两地番茄红素含量的平均比值为  $1.5$ 。

表 1 新乡、新疆两地不同西瓜材料番茄红素含量的比较

品种名称	$\omega$ (番茄红素)/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )			两地比值
	河南新乡	新疆昌吉	两地均值	
K5M	46.14 a	47.31 a	46.72	1.03
手巾条	40.74 a	49.07 a	44.90	1.20
早春红玉选齿	26.78 a	59.12 b	42.95	2.21
203Z	33.94 a	44.76 b	39.35	1.32
短 125	48.46 a	27.04 b	37.75	0.56
石红 1 号	34.38 a	40.77 a	37.58	1.19
Sugar Baby	34.97 a	36.29 a	35.63	1.04
喜春选	23.88 a	47.02 b	35.45	1.97
呼图壁早熟-1	30.07 a	38.70 a	34.38	1.29
L600 选齿	33.19 a	35.07 a	34.13	1.06
G17AB	35.12 a	32.69 a	33.91	0.93
太谷长	31.20 a	35.06 a	33.13	1.12
91E 7	24.73 a	40.66 b	32.69	1.64
9904(JM×粘子)	25.06 a	37.95 b	31.51	1.51
XBF	18.88 a	43.90 b	31.39	2.33
太谷花圆	16.68 a	45.55 b	31.11	2.73
美丽	26.77 a	35.17 a	30.97	1.31
Dusx	26.96 a	34.77 b	30.87	1.29
02d97	29.63 a	31.03 a	30.33	1.05
Yu4	19.86 a	39.77 b	29.82	2.00
02d96	13.47 a	44.82 b	29.15	3.33
桂引 6 号	25.23 a	32.70 a	28.97	1.30
红宝石(HBS)	24.40 a	32.78 b	28.59	1.34
大红铃	27.25 a	29.72 a	28.48	1.09
G5F	17.66 a	37.92 b	27.79	2.15
郑州 3 号	21.74 a	33.78 b	27.76	1.55
东方美佳	25.56 a	29.58 b	27.57	1.16
彰引	27.04 a	27.08 a	27.06	1.00
州 8 选	24.09 a	29.63 b	26.86	1.23
FLG	15.84 a	37.20 b	26.52	2.35
洛宁早熟瓜	24.32 a	28.70 a	26.51	1.18
三义	23.76 a	28.73 a	26.24	1.21
长蜜宝	10.70 a	41.21 b	25.96	3.85
石红 2 号	25.84 a	24.58 a	25.21	0.95
米奇利	28.99 a	20.74 b	24.86	0.72
XYXA	21.63 a	27.62 b	24.62	1.28
龙蜜 104	26.24 a	21.42 b	23.83	0.82
JL2x	27.82 a	19.34 b	23.58	0.70
新青	19.92 a	27.14 b	23.53	1.36
绿贝雷	21.88 a	24.94 a	23.41	1.14
小红玉	18.55 a	28.07 b	23.31	1.51
ED2 号	17.73 a	28.69 b	23.21	1.62
XBM	26.03 a	20.07 a	23.05	0.77
中 6	13.44 a	32.14 b	22.79	2.39

续表 1

品种名称	$\omega$ (番茄红素)/(mg·kg <sup>-1</sup> )			两地比值
	河南新乡	新疆昌吉	两地均值	
蜜枚	17.49 a	25.65 b	21.57	1.47
托帕克	14.85 a	28.16 b	21.50	1.90
红灯	16.73 a	26.15 b	21.44	1.56
790010	13.38 a	29.44 b	21.41	2.20
89选9	17.14 a	25.67 b	21.41	1.50
大红甜	11.58 a	31.19 b	21.39	2.69
克伦生	19.29 a	22.15 a	20.72	1.15
小子蜜宝	17.77 a	23.43 a	20.60	1.32
荆州204	11.17 a	29.96 b	20.57	2.68
中育12-3	13.56 a	26.02 b	19.79	1.92
短128黄	14.55 a	24.81 b	19.68	1.70
红花	15.84 a	23.30 b	19.57	1.47
秀兰选	13.21 a	25.87 b	19.54	1.96
98A13	13.19 a	25.67 b	19.43	1.95
LSW-194	18.28 a	20.04 a	19.16	1.10
匈牙利一号	17.87 a	19.97 a	18.92	1.12
发黑	17.63 a	20.10 b	18.87	1.14
抗7选	20.92 a	16.68 b	18.80	0.80
小金甜	11.28 a	25.76 b	18.52	2.28
将军	9.83 a	26.82 b	18.33	2.73
新西兰	13.62 a	22.56 b	18.09	1.66
浙2选	12.82 a	23.31 b	18.07	1.82
强黑	12.40 a	23.61 b	18.00	1.90
硬皮2号(Y2)	14.27 a	20.48 b	17.37	1.43
Jubilee	16.83 a	17.41 a	17.12	1.03
94E 1	19.13 a	15.10 a	17.11	0.79
美丽2号选	12.79 a	20.51 b	16.65	1.60
Yu8	15.24 a	16.47 a	15.86	1.08
T1f	14.61 a	16.66 a	15.63	1.14
SBD黑	14.38 a	15.55 a	14.96	1.08
老二大长黑	15.99 a	13.80 a	14.89	0.86
中育10号	16.17 a	13.50 a	14.83	0.83
曼谷西瓜	14.17 a	14.08 a	14.12	0.99
新疆2号	7.40 a	19.97 b	13.69	2.70
J5F	12.66 a	12.99 a	12.82	1.03
短127	12.68 a	9.42 a	11.05	0.74
平均值	20.84	28.53	24.69	1.50
标准差	8.27	9.76	7.67	-
变异系数	0.4	0.34	0.31	-

[注] 同行不同小写字母表示 0.05 水平差异显著性。

对影响西瓜番茄红素的 2 个因素基因型和生态环境进行主效应分析,基因型的  $F=2.55, P<0.01$  ( $n=80$ ),差异极显著;生态环境的  $F=51.39, P<0.01$  ( $n=2$ ),差异极显著。说明基因型和生态环境对西瓜果实番茄红素含量均有极显著影响(表 2)。

表 2 两种生态条件下不同西瓜材料番茄红素含量的多因素方差分析

来源	III型平方和	df	均方	F
基因型	9 286.26	79	117.55	2.55 **
生态环境	2 365.98	1	2 365.98	51.39 **
误差	3 637.16	79	46.04	
总计	112 797.62	160		

[注] \*\* 表示在 0.01 水平差异极显著。

## 2.2 不同材料西瓜的番茄红素含量在不同地区的变化分析

两地西瓜番茄红素含量的特征见表 1 和图 1。在河南新乡种植的材料中,番茄红素质量分数最高和最低的分别是‘短 125’(48.46 mg·kg<sup>-1</sup>)和‘新疆 2

号’(7.40 mg·kg<sup>-1</sup>);但是在新疆昌吉,番茄红素质量分数最高和最低的分别是‘早春红玉选齿’(59.12 mg·kg<sup>-1</sup>)和‘短 127’(9.42 mg·kg<sup>-1</sup>)。另外,‘短 125’和‘新疆 2 号’在新疆昌吉种植时番茄红素质量分数分别为 27.04、19.97 mg·kg<sup>-1</sup>,‘早春红玉选齿’和‘短 127’在河南新乡种植时番茄红素质量分数分别为 26.78、12.68 mg·kg<sup>-1</sup>,即相同材料分别在两地种植时番茄红素含量差异较大,表明环境对番茄红素含量有很大的影响。从图 1 可以看出,河南新乡、新疆昌吉两地番茄红素含量分布不同,河南的含量值集中在中下区段,新疆昌吉的含量值集中在中上区段,新疆昌吉的含量值更接近正态分布。

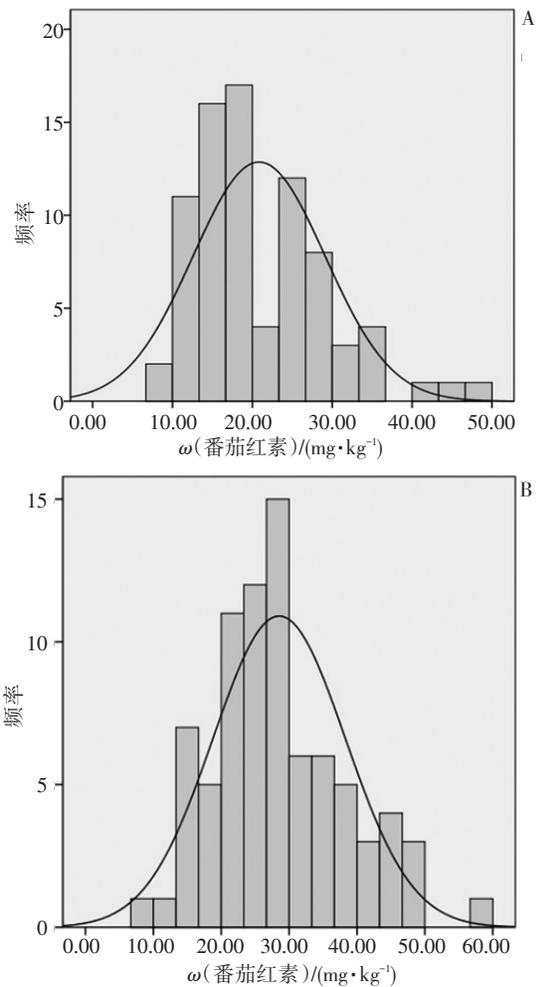


图 1 河南(A)和新疆(B)两地西瓜果实番茄红素含量分布频率

番茄红素含量较低的材料在另一地表现虽有差异但也不是很高,同时番茄红素含量较高的材料在另一地的含量也不是很低。试验中,‘J5F’在河南和新疆两地表现都较低(质量分数分别是 12.66 mg·kg<sup>-1</sup>和 12.99 mg·kg<sup>-1</sup>),‘手巾条’和‘K5M’在两地的含量均较高,即基因型对番茄红素含量也有极大的影响。

### 3 讨论与结论

本试验中 80 份西瓜材料在河南、新疆两地种植的平均番茄红素含量差异显著(质量分数分别是 20.84、28.53 mg·kg<sup>-1</sup>),与 Perkins V P<sup>[23-24]</sup>的研究结果相似,即栽培环境对番茄红素的含量有显著影响。西瓜果实成熟过程中,河南、新疆两地生产环境不同(主要是温度、昼夜温差、日照时数、太阳光照强度、降雨量的不同)。李莉等<sup>[25]</sup>研究表明,昼夜温差对番茄果实中番茄红素的含量影响很大,适当的增大昼夜温差可有利于番茄红素的积累。西瓜转色期是番茄红素积累的主要阶段(新疆为 7 月 14 日—7 月 28 日前后,河南为 6 月 24 日—7 月 8 日),新疆的日平均温度和昼夜温差都高于河南,这可能是新疆西瓜果实番茄红素含量高于河南的原因之一;李纪锁等<sup>[26]</sup>研究表明,番茄中番茄红素含量随着光照强度的减弱,含量也相应降低;Harding 等<sup>[27]</sup>研究表明光照能促进成熟时果实中番茄红素的合成。Thompson<sup>[28]</sup>研究也表明光可诱导光合作用复合体的形成,间接促进番茄红素的形成,即适宜的光照有利于植物组织中番茄红素的合成。本试验中新疆的太阳光照强度和日照平均时数均高于河南,这是造成两地番茄红素含量不同的另一原因;由于两地均采用人工浇水,所以降雨量差异不是影响番茄红素积累的主要因素。综上,日平均温度、昼夜温差、日照强度可能影响两地西瓜番茄红素含量。

本试验中同一地区不同西瓜材料之间番茄红素含量差异较大,相同材料在不同地区间番茄红素含量差异也较大。可选择两地表现值均较高且稳定的材料(如‘K5M’‘手巾条’‘石红 1 号’‘Sugar Baby’等)用于下一步试验,在深度和广度上鉴定评价这些种质资源,包括其产量、品质、抗病性等田间性状,进一步为育种工作筛选优良种质、丰富基础材料,进而培育番茄红素含量更高的西瓜品种。

#### 参考文献

- [1] 王鸣,侯沛.西瓜的起源、历史、分类及育种成就[J].当代蔬菜,2006(3):18-19.
- [2] HOLICK C N, DE VIVO I, FESKANICH D, et al. Intake of fruits and vegetables, carotenoids, folate, and vitamins A, C, E and risk of bladder cancer among women[J]. Cancer Research, 2005, 65(9):822-822.
- [3] JIAN L, DU C J, LEE A H, et al. Do dietary lycopene and other carotenoids protect against prostate cancer?[J]. International journal of cancer, 2005, 113(6):1010-1014.
- [4] WRIGHT M E, MAYNE S T, SWANSON C A, et al. Dietary carotenoids, vegetables, and lung cancer risk in women: the Missouri Women's Healy Study (United States) [J]. Cancer Causes & Control, 2003, 14(1):85-96.
- [5] EDWARDS A J, VINYARD B T, WILEY E R, et al. Consumption of watermelon juice increases plasma concentrations of lycopene and  $\beta$ -carotene in humans[J]. The Journal of Nutrition, 2003, 133(4):1043-1050.
- [6] AGARWAL S, RAO A V. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases[J]. Canadian Medical Association Journal, 2000, 163(6):739-744.
- [7] 王镇,党选民,詹园凤.西瓜果实中番茄红素研究进展[J].热带农业科学,2008,28(3):68-72.
- [8] 袁平丽,路绪强,刘文革,等.西瓜番茄红素测定方法的研究[J].中国瓜菜,2012,25(3):1-4.
- [9] 朱蕾,陈敏,李赫,等.番茄饮料中番茄红素的检测及稳定性研究[J].食品发酵与工业,2006,32(4):118-121.
- [10] 左爱仁,范青生,肖小年.番茄红素 HPLC 测定的研究[J].中国食品添加剂,2004(1):106-111.
- [11] 张亮,张坤生,吕晓玲,等.番茄红素测定方法的研究[J].中国食品学报,2005,5(1):75-78.
- [12] 万学闪,刘文革,阎志红,等.西瓜果实发育过程中番茄红素、瓜氨酸和 Vc 等功能物质含量的变化[J].中国农业科学,2011,44(13):2738-2747.
- [13] 袁平丽,刘文革,路绪强,等.不同倍性西瓜果实发育过程中番茄红素含量动态[J].果树学报,2012,29(5):890-894.
- [14] 豆峻岭,路绪强,刘文革,等.不同倍性西瓜内源激素与番茄红素积累的相关性研究[J].园艺学报,2015,42(5):969-978.
- [15] 豆峻岭,刘文革,赵胜杰,等.三倍体无籽西瓜果实发育期番茄红素合成代谢酶基因的表达[J].果树学报,2014,31(4):589-595.
- [16] KEIICHI W, TADAO S. Carotenoid pigments in red, orange and yellow fleshed fruits of watermelon (*Citullus vulgaris*) cultivars [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1987, 56(1):45-50.
- [17] PERKINS V, JULIE K C, PAIR S. Watermelon: Lycopene content changes with ripeness stage, germplasm, and storage[J]. Cucurbitaceae, 2002:427-430.
- [18] PERKINS V P, COLLINS J K, DAVIS A R, et al. Carotenoid content of 50 watermelon cultivars[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(7):2593-2597.
- [19] 何春玫,林莹,李红梅.栽培环境及贮存期对番茄果实内番茄红素含量的影响[J].河南农业科学,2010,39(5):93-96.
- [20] 阚义,罗星,李华.烟台、新疆昌吉地区的番茄中番茄红素含量的差异[J].山东农业大学学报(自然科学版),2013,44(2):176-180.
- [21] DAVIS A R, WEBBER C L, FISH W W, et al. L-citrulline levels in watermelon cultivars tested in two environments[J]. HortScience, 2011, 46(12):1572-1575.
- [22] PERKINS V P, JULIE K C, SAM D P, et al. Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars[J]. Journal of Food Science, 2001, 81(10):983-987.

(下转第 12 页)

棕果番茄中未检测出突变体,说明‘T2015-65’和‘2012-3’为富含花青苷的正常棕果番茄。

笔者调查发现,番茄绿果肉突变体在番茄褪绿病毒侵染后,与其他番茄植株相比,黄化叶片极少,整株黄化程度较低,针对番茄褪绿病毒表现出良好抗性。但国内外对 *gf* 位点突变体抗或耐番茄褪绿病毒机制的研究不多。本试验结果为番茄抗褪绿病毒病品种选育中有效跟踪和利用 *gf* 位点突变体奠定了基础,今后将从生理生化和遗传方面对 *gf* 位点基因突变体与抗番茄褪绿病毒的关系进一步深入研究,为育种工作提供理论依据。

参考文献

[1] 陈文峻,蒯本科.植物的滞绿突变[J].植物生理学报,1998,35(4):321-324.

[2] ZACARIAS L, REID M S. Role of growth-regulators in the senescence of arabidopsis-thaliana leaves[J]. Physiologia Plantarum, 1990, 80(4):549-554.

[3] THOMAS H, HOWARTH C J. Five ways to stay green[J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(51):329-337.

[4] CRAFTSBRANDNER S J, LEGGETT J E, Sutton T G, et al. Effect of root-system gent-oype and nitrogen fertility on physiological differences between burley and flue-cured tobacco.1. single leaf measurements[J]. Crop Science, 1987, 27 (3) : 535-539.

[5] AKHTAR M S, GOLDSCHMIDT E E, JOHN I, et al. Altered patterns of senescence and ripening in *gf*, a stay-green mutant of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)[J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50(336):1115-1122.

[6] WOLD A B, ROSENFELD H J, HOLTE K, et al. Colour of post-harvest ripened and vineripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2004, 39(3):295-302.

[7] BARRY C S, PANDEY P. A survey of cultivated heirloom tomato varieties identifies four new mutant alleles at the green-flesh locus [J]. Molecular Breeding, 2009, 24(3):269-276.

[8] KERR E A. Linkage relations of *gf*[J]. Tomato Genetics Cooperative Reports, 1957(8):21.

[9] BARRY C S, MCQUINN R P, CHUNG M Y, et al. Amino acid substitutions in homologs of the STAY-GREEN protein are responsible for the green-flesh and chlorophyll retain mutations of tomato and pepper[J]. Plant Physiology, 2008, 147 (1) : 179-187.

[10] 孙佩光,吴琼,徐碧玉,等.植物滞绿基因 STAY-GREEN 的研究进展[J].植物生理学报,2015,51(7):1017-1023.

[11] HU Z L, DENG L, YAN B, et al. Silencing of the *LeSGRI* gene in tomato inhibits chlorophyll degradation and exhibits a stay-green phenotype[J]. Biologia Plantarum, 2011, 55 (1) : 27-34.

[12] 肖良军,陆佳楠,李宁,等.棕果番茄果实颜色遗传及 *gf* 位点序列变异分析[J].园艺学报,2015,42(1):38-46.

[13] 姚建刚,张贺,许向阳,等.番茄果实成熟过程中色泽变化的研究进展[J].中国蔬菜,2010(8):1-6.

[14] 赵润洲,刘鸣韬.番茄果实色泽与色素组成的关系[J].河南农业科学,2011,40(9):98-100.

[15] 宋曼曼.加工番茄果实发育过程中类胡萝卜素、果胶和糖积累特性的研究[D].新疆石河子:石河子大学,2011.

[16] WOLD A B, ROSENFELD H J, HOLTE K, et al. Colour of post-harvest ripened and vineripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2004, 39(3):295-302.

[17] BARRY C S, PANDEY P. A survey of cultivated heirloom tomato varieties identifies four new mutant alleles at the green-flesh locus [J]. Molecular Breeding, 2009, 24(3):269-276.

[18] KERR E A. Linkage relations of *gf*[J]. Tomato Genetics Cooperative Reports, 1957(8):21.

[19] BARRY C S, MCQUINN R P, CHUNG M Y, et al. Amino acid substitutions in homologs of the STAY-GREEN protein are responsible for the green-flesh and chlorophyll retain mutations of tomato and pepper[J]. Plant Physiology, 2008, 147 (1) : 179-187.

[20] 孙佩光,吴琼,徐碧玉,等.植物滞绿基因 STAY-GREEN 的研究进展[J].植物生理学报,2015,51(7):1017-1023.

[21] HU Z L, DENG L, YAN B, et al. Silencing of the *LeSGRI* gene in tomato inhibits chlorophyll degradation and exhibits a stay-green phenotype[J]. Biologia Plantarum, 2011, 55 (1) : 27-34.

[22] 肖良军,陆佳楠,李宁,等.棕果番茄果实颜色遗传及 *gf* 位点序列变异分析[J].园艺学报,2015,42(1):38-46.

[23] 姚建刚,张贺,许向阳,等.番茄果实成熟过程中色泽变化的研究进展[J].中国蔬菜,2010(8):1-6.

[24] 赵润洲,刘鸣韬.番茄果实色泽与色素组成的关系[J].河南农业科学,2011,40(9):98-100.

[25] 宋曼曼.加工番茄果实发育过程中类胡萝卜素、果胶和糖积累特性的研究[D].新疆石河子:石河子大学,2011.

[26] THOMPSON W F, WHITE M J. Physiological and molecular studies of light-regulated nuclear genes in higher plants[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1991, 42 (16):423-46.

[27] PERKINS V P, COLLINS J, HASSELL R, et al. Lycopene content of mini watermelon varieties grown at four locations[J]. Hort-Science, 2005, 40(4):1091.

[28] PERKINS V P, COLLINS J, HASSELL R. Variation in carotenoids among miniwatermelons produced in four locations in the eastern U. S. [C]//Cucurbitaceae. Cucurbitaceae 2006. North Carolina: Organizing Committee, Cucurbitaceae, 2006:591-596.

[29] 李莉,李佳,高青,等.昼夜温差对番茄生长发育,产量及果实品质的影响[J].应用生态学报,2015,26(9):2700-2706.

[30] 李纪锁,沈火林,石正强.基因型和环境条件对番茄果实内番茄红素含量的影响[C]//赵尊练.园艺学进展(第六辑).西安:陕西科学技术出版社,2004:509-514.

[31] HARDING R W, SHORPSHIRE W J. Photocontrol of carotenoid biosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1980, 31(1): 217-238.

[6] WOLD A B, ROSENFELD H J, HOLTE K, et al. Colour of post-harvest ripened and vineripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2004, 39(3):295-302.

[7] BARRY C S, PANDEY P. A survey of cultivated heirloom tomato varieties identifies four new mutant alleles at the green-flesh locus [J]. Molecular Breeding, 2009, 24(3):269-276.

[8] KERR E A. Linkage relations of *gf*[J]. Tomato Genetics Cooperative Reports, 1957(8):21.

[9] BARRY C S, MCQUINN R P, CHUNG M Y, et al. Amino acid substitutions in homologs of the STAY-GREEN protein are responsible for the green-flesh and chlorophyll retain mutations of tomato and pepper[J]. Plant Physiology, 2008, 147 (1) : 179-187.

[10] 孙佩光,吴琼,徐碧玉,等.植物滞绿基因 STAY-GREEN 的研究进展[J].植物生理学报,2015,51(7):1017-1023.

[11] HU Z L, DENG L, YAN B, et al. Silencing of the *LeSGRI* gene in tomato inhibits chlorophyll degradation and exhibits a stay-green phenotype[J]. Biologia Plantarum, 2011, 55 (1) : 27-34.

[12] 肖良军,陆佳楠,李宁,等.棕果番茄果实颜色遗传及 *gf* 位点序列变异分析[J].园艺学报,2015,42(1):38-46.

[13] 姚建刚,张贺,许向阳,等.番茄果实成熟过程中色泽变化的研究进展[J].中国蔬菜,2010(8):1-6.

[14] 赵润洲,刘鸣韬.番茄果实色泽与色素组成的关系[J].河南农业科学,2011,40(9):98-100.

[15] 宋曼曼.加工番茄果实发育过程中类胡萝卜素、果胶和糖积累特性的研究[D].新疆石河子:石河子大学,2011.

[16] WOLD A B, ROSENFELD H J, HOLTE K, et al. Colour of post-harvest ripened and vineripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2004, 39(3):295-302.

[17] BARRY C S, PANDEY P. A survey of cultivated heirloom tomato varieties identifies four new mutant alleles at the green-flesh locus [J]. Molecular Breeding, 2009, 24(3):269-276.

[18] KERR E A. Linkage relations of *gf*[J]. Tomato Genetics Cooperative Reports, 1957(8):21.

[19] BARRY C S, MCQUINN R P, CHUNG M Y, et al. Amino acid substitutions in homologs of the STAY-GREEN protein are responsible for the green-flesh and chlorophyll retain mutations of tomato and pepper[J]. Plant Physiology, 2008, 147 (1) : 179-187.

[20] 孙佩光,吴琼,徐碧玉,等.植物滞绿基因 STAY-GREEN 的研究进展[J].植物生理学报,2015,51(7):1017-1023.

[21] HU Z L, DENG L, YAN B, et al. Silencing of the *LeSGRI* gene in tomato inhibits chlorophyll degradation and exhibits a stay-green phenotype[J]. Biologia Plantarum, 2011, 55 (1) : 27-34.

[22] 肖良军,陆佳楠,李宁,等.棕果番茄果实颜色遗传及 *gf* 位点序列变异分析[J].园艺学报,2015,42(1):38-46.

[23] 姚建刚,张贺,许向阳,等.番茄果实成熟过程中色泽变化的研究进展[J].中国蔬菜,2010(8):1-6.

[24] 赵润洲,刘鸣韬.番茄果实色泽与色素组成的关系[J].河南农业科学,2011,40(9):98-100.

[25] 宋曼曼.加工番茄果实发育过程中类胡萝卜素、果胶和糖积累特性的研究[D].新疆石河子:石河子大学,2011.

[26] THOMPSON W F, WHITE M J. Physiological and molecular studies of light-regulated nuclear genes in higher plants[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1991, 42 (16):423-46.

(上接第7页)

郑重声明

本刊最近接到部分作者反映,有冒充与本刊合作的网站骗取作者版面费的情况,为避免作者上当受骗,本刊郑重声明:本刊只接收网上投稿(投稿系统: <http://zgxc.cbpt.cnki.net>);编辑部电话:0371-65330927;本刊无个人账户接收作者版面费。

《中国瓜菜》编辑部