

贮藏时间对不同西瓜品种类胡萝卜素组分及含量的影响

柳帆红¹, 张洋¹, 唐中祺¹, 武玥¹,
罗石磊¹, 于健¹, 刘晓奇¹, 郁继华^{1,2}, 肖雪梅¹

(1. 甘肃农业大学园艺学院 兰州 730070; 2. 省部共建干旱生境作物学国家重点实验室 兰州 730070)

摘要: 为了探明贮藏时间对不同西瓜品种类胡萝卜素组分及含量的影响, 以 8 个成熟期西瓜品种为研究对象, 在西瓜采收后的 0、5、10、15、20 d 测定西瓜中的类胡萝卜素组分及含量。结果表明, 在整个贮藏期间, 黄瓤西瓜瓜瓤中类胡萝卜素主要组分为紫黄质和叶黄素, 黄红瓤西瓜类胡萝卜素组分主要有紫黄质、叶黄素、 β -胡萝卜素及痕量番茄红素, 红瓤西瓜类胡萝卜素组分主要有番茄红素、 β -胡萝卜素及少量的紫黄质和叶黄素。随着贮藏时间的延长, 不同品种西瓜瓜瓤中的类胡萝卜素各组分及含量变化趋势不同。红瓤西瓜 GR-2 总类胡萝卜素含量呈现先升高后降低再升高的趋势; GR-1 瓜瓤中总类胡萝卜素含量呈现先降低后升高再降低的趋势; GY-4 瓜瓤中总类胡萝卜素含量呈现先降低后升高再降低的趋势; 其他品种西瓜瓜瓤中总类胡萝卜素含量呈现先升高后降低的趋势。黄瓤西瓜在贮藏当天没有检测到番茄红素, 但是随着贮藏时间的延长检测到痕量的番茄红素。该研究结果可为西瓜品质评价和营养育种等重要领域提供依据。

关键词: 西瓜; 品种; 贮藏时间; 类胡萝卜素

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)07-039-07

Storage time affects carotenoids components and contents of different watermelon varieties

LIU Fanhong¹, ZHANG Yang¹, TANG Zhongqi¹, WU Yue¹, LUO Shilei¹, YU Jian¹, LIU Xiaoqi¹, YU Jihua^{1,2}, XIAO Xuemei¹

(1. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. State Key Laboratory of Aridland Crop Science, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: The effects of storage time and variety on the composition and content of carotenoids in watermelon were studied. Taking 8 varieties of mature watermelon as the research object, the carotenoids components and contents of watermelon were determined at 0, 5, 10, 15 and 20 days after harvest. The results showed that during the whole storage period, the main carotenoids of yellow flesh watermelon were violaxanthin and lutein, and the carotenoids of yellow-red flesh watermelon were violaxanthin, lutein β -carotene and trace lycopene. The carotene components of red flesh watermelon mainly include lycopene β -carotene and a small amount of violaxanthin and lutein. With the extension of storage time, the change trend of carotenoids components and content in different varieties of watermelon is different. The total carotenoid content of GR-2 in red flesh watermelon first increases. The content of total carotenoids in GR-1 melon pulp first decreased, then increased and then decreased, the content of total carotenoids in GY-4 melon pulp first decreased, then increased and then decreased, and the content of total carotenoids in other watermelon varieties first increased and then decreased. Lycopene was not detected in yellow flesh watermelon on the day of storage, but trace lycopene was detected with the extension of storage time.

Key words: Watermelon; Varieties; Storage time; Carotenoids

收稿日期: 2021-12-29; 修回日期: 2022-06-01

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(20JR10RA513); 甘肃省高等学校科研项目(2021B-141); 甘肃农业大学国重实验室开放基金项目(GSCS-2020-12)

作者简介: 柳帆红, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为设施蔬菜栽培生理与生长调控。E-mail: 1561991255@qq.com

通信作者: 肖雪梅, 女, 副教授, 主要从事蔬菜逆境生理与品质调控研究。E-mail: xiaoxm@gsau.edu.cn

西瓜是葫芦科西瓜属一年生蔓性双子叶草本植物。因其清凉解暑,被称为寒瓜或夏瓜。西瓜起源于非洲,有“生存水壶”的美称^[1],由“西域”经过丝绸之路传入我国,故名为西瓜^[2]。西瓜果实味甜多汁,清凉爽口且有清香,含有多种类胡萝卜素^[3]、矿物质^[4]和维生素类物质^[5],具有生津止渴解暑、利尿消炎降压^[6]的功效,因此深受消费者喜爱。

瓤色是西瓜的一个重要性状。目前,西瓜果肉颜色有白色、黄色、橙色、黄红色、深红色、猩红色、淡黄色、金丝雀黄色和绿色^[7]。除绿色果肉西瓜外,西瓜含有多种类胡萝卜素,其含量使瓜瓤呈现不同瓤色。与其他果蔬一样,类胡萝卜素是西瓜的主要功能成分和微量营养素。类胡萝卜素具有抗氧化活性,特别是淬灭自由基能力,能够参与降低疾病的风险^[8-10]。其中番茄红素具有较强的清除自由基能力^[11]。类胡萝卜素是一类天然产物,由异戊二稀类物质组成的C40萜类大分子化合物,大约有800多种^[12]。由于携带不同官能团,导致其呈现出红色、粉红色、橙黄色及无色等^[6]。番茄红素是西瓜瓜瓤色变深的原因, β -胡萝卜素是使西瓜呈现橙色和黄色的主要色素^[13-16],而叶黄素、新黄质和紫黄质是黄色果肉的色素^[17-19]。

近年来,随着人们的消费水平日益提高,消费者不仅追求果实外观和风味等感官品质,对其内在

营养价值要求也不断提高。因此,西瓜果实品质特性会影响其商品价值。而影响西瓜果实风味和营养品质形成的物质主要包括糖、类胡萝卜素、矿物质和维生素类物质等。其中,类胡萝卜素是西瓜的营养和风味品质的重要指标。目前国内外对贮藏期间西瓜品质研究方面的报道较多,主要集中于西瓜的瓜皮厚度、质量、可溶性固形物含量、葡萄糖含量和果糖含量的变化^[20-22],对贮藏期不同品种西瓜瓤中类胡萝卜素的各组分及含量变化报道较少。因此,笔者采用高效液相色谱仪,分析8个不同品种西瓜不同瓤色的类胡萝卜素组分及含量,并探究不同西瓜品种在室温贮藏条件下类胡萝卜素含量的变化,为西瓜品质评价和营养育种的领域提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

标准品:紫黄质(Violaxanthin; HPLC \geq 99%)购自Sigma公司;叶黄素(Lutein; HPLC \geq 99%)、番茄红素(Lycopene; HPLC \geq 99%)及 β -胡萝卜素(β -Carotene; HPLC \geq 99%)购买于上海源叶生物科技有限公司。

供试西瓜共有8个品种,均为小果型西瓜,详见表1。

表1 不同西瓜品种及简称

西瓜果皮和瓜瓤颜色	品种名称	简称	来源
绿色果皮红色瓜瓤	京颖	GR-1	北京市农林科学院蔬菜研究中心
	玲珑瓜之宝2号	GR-2	河南豫艺种业科技发展有限公司
	豫艺K208	GR-3	河南豫艺种业科技发展有限公司
黄色果皮红色瓜瓤	宝冠	YR	台湾农友种苗(中国)有限公司
绿色果皮黄色瓜瓤	京阑	GY-1	北京市农林科学院蔬菜研究中心
绿色果皮黄红色瓜瓤	锦霞8号	GY-2	河南豫艺种业科技发展有限公司
	彩虹瓜之宝	GY-3	河南豫艺种业科技发展有限公司
	豫艺锦霞2号	GY-4	河南豫艺种业科技发展有限公司

1.2 试验设计

试验在甘肃白银市靖远县东湾高科技农业示范园区日光温室进行。2019年3月18日将8个不同品种西瓜种子播种在32孔的穴盘中,长至2叶1心时于4月23日定植。采用槽式栽培,槽长、宽、深为9.00 m \times 0.40 m \times 0.25 m,每槽填基质1.00 m³(基质购自甘肃省绿能农业股份有限公司),共42槽。试验采用单因素随机区组设计,即8个品种为8个处理,各处理随机排列,3次重复,每个重复定植1垄,2垄之间的间距为1.00 m,每垄定植38株,株行距为

0.20 m \times 0.40 m,双蔓整枝,每株留1个果实生长。应用水肥一体化设备进行灌水施肥,采用膜下滴灌模式,肥料依据甘肃农业大学番茄营养液配方施用。依据各品种的成熟期于6月20日采收成熟果实。各品种选取颜色均匀、大小形状一致、成熟度相近、无病虫害和机械损伤的果实各50个,置于室温贮藏。分别在采收后贮藏0、5、10、15、20 d取样,将瓜瓤用匀浆机打碎混匀后冻在-80℃冰箱中等待测定类胡萝卜素组分和含量。每个品种每次取3个西瓜为1个重复,共3次重复。

1.3 方法

1.3.1 提取方法 采用 Kang 等^[23]方法,有所改动。取 5 g 鲜样,用石油醚和丙酮(体积比 2:1)在超声波条件下提取类胡萝卜素,将提取液收集到棕色瓶中,直至除去所有颜色,然后将合并的滤液转移到分液漏斗中,用 250 mL 蒸馏水洗涤两次,排出水相后,在真空下用砂芯漏斗过滤,倒入圆底烧瓶中,在 < 45 °C 下旋转蒸发将石油醚提取物减少至干燥;最后用 $V_{\text{乙腈}}:V_{\text{二氯甲烷}}:V_{\text{甲醇}}=55:20:25$ 的溶液溶解,并通过 0.22 μm 膜进行过滤,上机。

1.3.2 测定条件 将 10 μL 样品注入 HPLC C18 柱 (250.0 mm×4.6 mm, 5 μm, Waters Symmetry), 柱温 25 °C, 流速 1.8 mL·min⁻¹, 流动相为 $V_{\text{乙腈}}:V_{\text{二氯甲烷}}:V_{\text{甲醇}}=70:2:28$, 在 450 nm 处检测化合物。使用配备有 1525 泵和 2998 光电二极管阵列检测器的 Waters 液

相色谱系统进行类胡萝卜素 HPLC 分析。使用 Empower Software (Waters, USA) 分析数据。基于它们的保留时间和吸收光谱鉴定类胡萝卜素,与标准品进行比较,并根据它们的标准曲线进行定量。

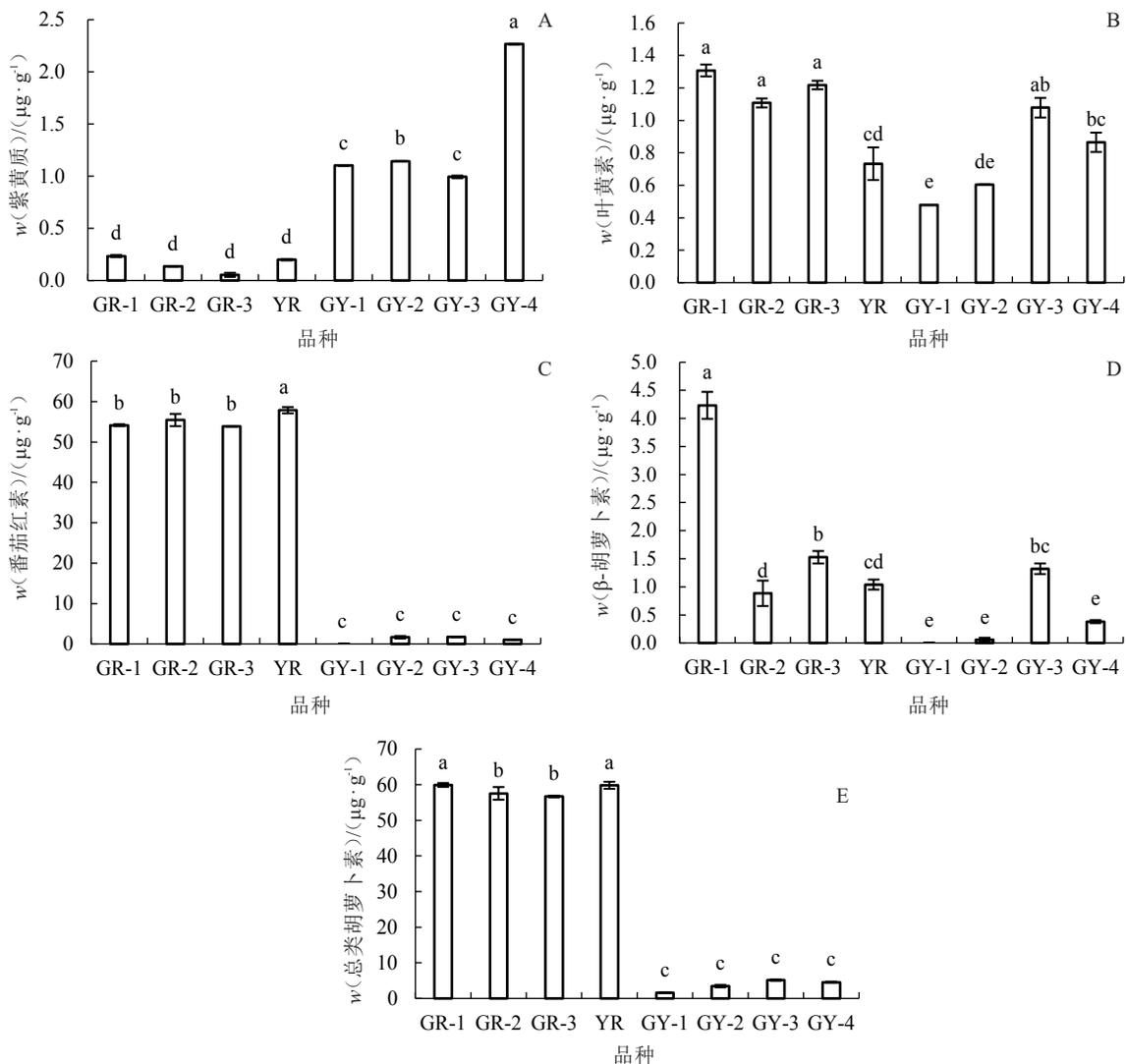
1.4 数据分析

所有试验数据运用 Microsoft Excel 2010 软件处理并作图,用 SPSS 17.0 软件进行方差分析,并采用单因素方差分析 (ANOVA) 进行不同处理间的两两比较,数据表示为“平均值±标准误”,3 次重复。

2 结果与分析

2.1 不同品种西瓜类胡萝卜素组分和含量比较

由图 1 可以看出,采摘当日,不同品种西瓜瓜瓤中类胡萝卜素组分及含量不同。在绿色果皮黄色瓜



注:不同小写字母表示不同品种间在 0.05 水平差异显著。

图 1 不同品种西瓜中紫黄质(A)、叶黄素(B)、番茄红素(C)、β-胡萝卜素(D)及总类胡萝卜素(E)含量

瓢西瓜 GY-1 中类胡萝卜素只含有紫黄质和叶黄素;黄红瓢西瓜 GY-2、GY-3 和 GY-4 瓜瓢中番茄红素含量极低;其他品种西瓜瓜瓢中类胡萝卜素含有紫黄质、叶黄素、番茄红素及 β -胡萝卜素。

黄瓢和黄红瓢西瓜瓜瓢中紫黄质含量均显著高于红瓢西瓜,黄色瓜瓢中紫黄质含量是红瓢西瓜的 4.78~22.00 倍,黄红瓢西瓜瓜瓢中紫黄质含量是红瓢西瓜的 4.30~45.40 倍。其中黄红瓢西瓜 GY-4 瓜瓢中紫黄质含量最高,其次是 GY-2、GY-3;红瓢西瓜瓜瓢中 GR-1 紫黄质含量最高,其次是 YR、GR-2、GR-3;而黄瓢西瓜 GY-1 瓜瓢中紫黄质含量与黄红瓢西瓜 GY-3 无显著差异。

8 个品种西瓜瓜瓢中,黄瓢西瓜 GY-1 叶黄素含量(w ,后同)最低,为 $0.48 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,红瓢西瓜 GR-1 叶黄素含量最高,达 $1.31 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

红瓢西瓜瓜瓢中番茄红素含量均显著高于黄红瓢西瓜,红瓢西瓜瓜瓢中番茄红素含量是黄红瓢西瓜的 30.61~55.63 倍。黄皮红瓢西瓜 YR 瓜瓢中番茄红素含量显著高于绿皮红瓢西瓜,而 3 个绿皮红瓢西瓜品种之间瓜瓢中番茄红素含量没有显著差异。

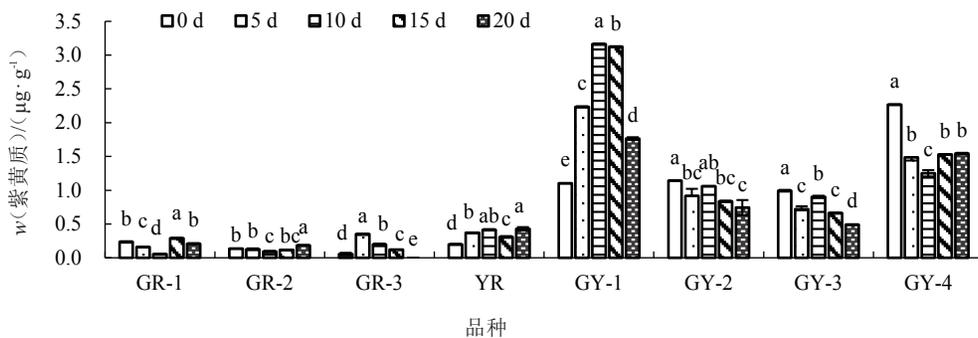
8 个西瓜品种中,红瓢西瓜 GR-1 瓜瓢中 β -胡萝卜素含量最高,为 $4.23 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,黄红瓢西瓜中 GY-2 的 β -胡萝卜素含量最低,为 $0.06 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,不同瓢色西

瓜瓜瓢中 β -胡萝卜素含量无明显规律。

红瓢西瓜瓜瓢中总类胡萝卜素含量均显著高于黄瓢和黄红瓢西瓜,红瓢西瓜瓜瓢中总类胡萝卜素含量是黄瓢和黄红瓢西瓜的 11.00~37.92 倍。黄皮红瓢西瓜(YR)瓜瓢中总类胡萝卜素含量与 GR-1 无显著差异,但显著高于其他供试西瓜品种,黄瓢、黄红瓢西瓜之间瓜瓢中总类胡萝卜素含量差异均不显著。

2.2 贮藏时间对不同品种西瓜中紫黄质含量的影响

由图 2 可以看出,随着贮藏时间的延长,红瓢西瓜 GR-1 瓜瓢中紫黄质含量呈现先下降后上升再下降的趋势,GR-2 瓜瓢中紫黄质含量呈现先下降后上升的趋势,GR-3 瓜瓢中紫黄质含量呈现先上升后下降的趋势,YR 瓜瓢中紫黄质含量呈现先上升后下降再上升的趋势;黄红瓢西瓜中,GY-4 瓜瓢中紫黄质含量呈现先下降后上升的趋势,GY-2、GY-3 瓜瓢中紫黄质含量呈现先下降后上升再下降的趋势;绿皮黄瓢西瓜 GY-1 瓜瓢中紫黄质含量随贮藏时间呈现先显著上升后显著下降的趋势。红瓢西瓜瓜瓢中紫黄质的含量均在 $0\sim 0.43 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,而黄瓢和黄红瓢西瓜瓜瓢中紫黄质含量在 $0.49\sim 3.16 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,黄瓢和黄红瓢西瓜中紫黄质的含量是红瓢西瓜的 0.49~7.37 倍。



注:不同小写字母表示同一品种不同处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

图 2 贮藏时间对不同品种西瓜瓜瓢中紫黄质含量的影响

2.3 贮藏时间对不同品种西瓜中叶黄素含量的影响

由图 3 可以看出,在红瓢西瓜中,随着贮藏时间延长绿皮红瓢西瓜 GR-1 瓜瓢中叶黄素含量呈现先降低后升高再降低的趋势,且 5 个贮藏时间之间均存在显著差异;GR-2 瓜瓢中叶黄素含量呈现出随贮藏时间延长升高的趋势,GR-3 瓜瓢中叶黄素含量呈先升高后下降的趋势,黄皮红瓢西瓜 YR 中叶黄素含量呈先上升后下降再上升最后下降的趋

势;绿皮黄瓢西瓜 GY-1 和黄红瓢西瓜 GY-2、GY-3 瓜瓢中叶黄素含量呈先上升后下降的趋势。

2.4 贮藏时间对不同品种西瓜中番茄红素含量的影响

由图 4 可以看出,GR-2 瓜瓢中番茄红素含量随着贮藏时间的延长呈现先升高后降低再升高的趋势,GR-1 瓜瓢呈现先降低后升高再降低的趋势,其他品种瓜瓢呈现显著的先升高后降低的趋势。其中红瓢西瓜番茄红素含量为 $47.48\sim 109.20 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,

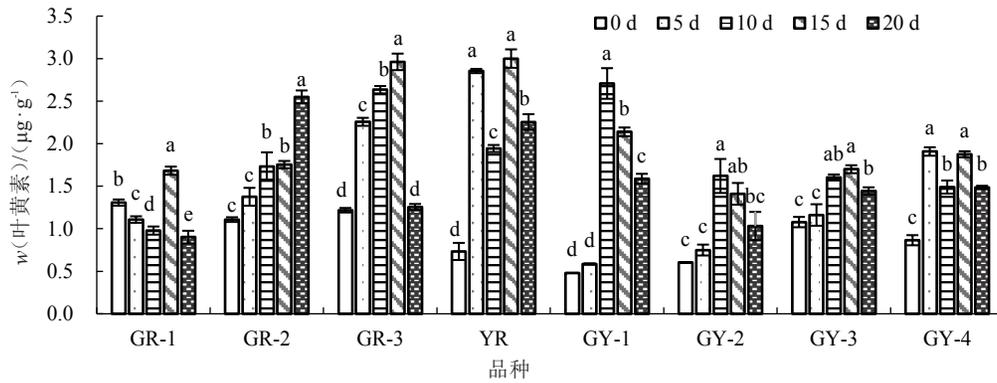


图3 贮藏时间对不同品种西瓜瓜瓤中叶黄素含量的影响

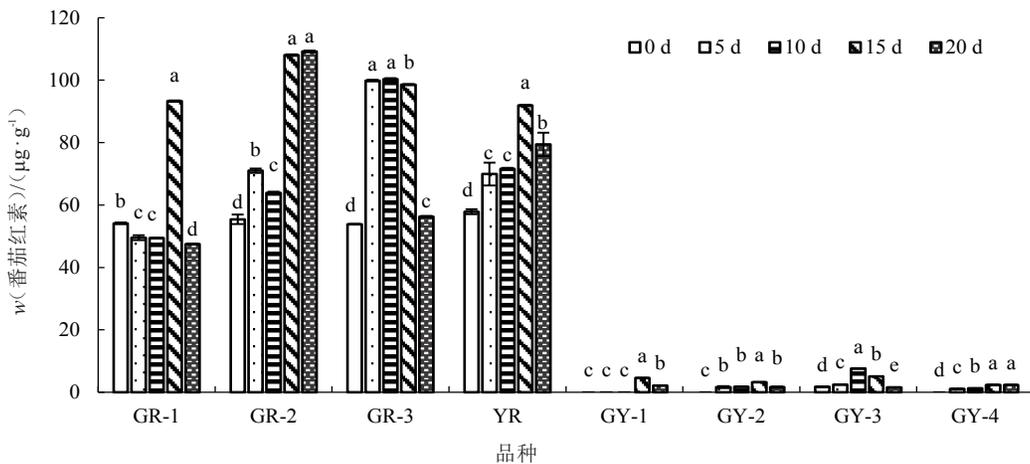


图4 贮藏时间对不同品种西瓜瓜瓤中番茄红素含量的影响

黄瓤和黄红瓤西瓜番茄红素含量为0~7.58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,红瓤西瓜中番茄红素含量是黄瓤和黄红瓤的14.41~47.48倍。综上所述,整个贮藏期间红瓤西瓜中番茄红素含量高于黄瓤和黄红瓤西瓜。

2.5 贮藏时间对不同品种西瓜β-胡萝卜素含量的影响

由图5可以看出,红瓤西瓜中,GR-1和GR-3

瓜瓤中β-胡萝卜素含量呈现出随贮藏时间延长先升高后降低的趋势,而GR-2和YR瓜瓤中β-胡萝卜素含量呈现随贮藏时间延长一直升高的趋势;黄瓤和黄红瓤中GY-1和GY-4瓜瓤中β-胡萝卜素含量整体呈现先升高后下降的趋势,黄红瓤GY-2瓜瓤β-胡萝卜素含量整体呈现先降低后升高再降低后升高的趋势。随着贮藏时间的延长红瓤西瓜中

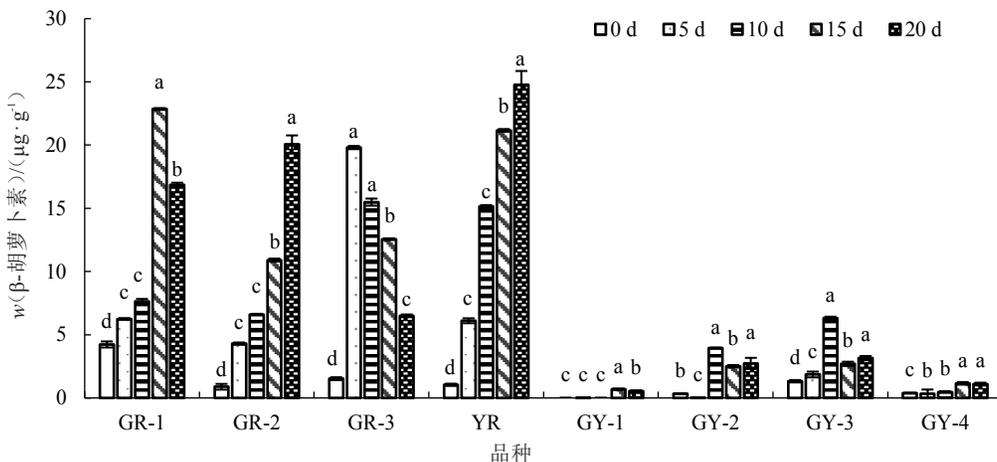


图5 贮藏时间对不同品种西瓜瓜瓤中β-胡萝卜素含量的影响

β -胡萝卜素含量在 4.23~24.76 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,黄瓢西瓜中 β -胡萝卜素含量在 0~6.32 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。综上所述,整个贮藏时间红瓢西瓜中的 β -胡萝卜素含量高于黄瓢和黄红瓢西瓜。

2.6 贮藏时间对不同品种西瓜中总类胡萝卜素含量的影响

由图 6 可以看出,随着贮藏时间的延长,GR-2 瓜瓢中总类胡萝卜素含量呈现先升高后降低再升高的趋势,GR-1 瓜瓢中总类胡萝卜素含量呈现先降低

后升高再降低的趋势,GY-4 瓜瓢中总类胡萝卜素含量呈现先降低再升高后降低的趋势,其他品种西瓜瓜瓢中总类胡萝卜素含量呈现先升高后降低的趋势。随着贮藏时间延长红瓢西瓜中总类胡萝卜素含量在 56.67~132.00 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,黄瓢和黄红瓢西瓜中总类胡萝卜素含量在 1.58~16.42 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,红瓢西瓜中总类胡萝卜素含量是黄瓢和黄红瓢西瓜的 8.04~35.87 倍。综上所述,整个贮藏期间红瓢西瓜中的总类胡萝卜素含量高于黄瓢和黄红瓢西瓜。

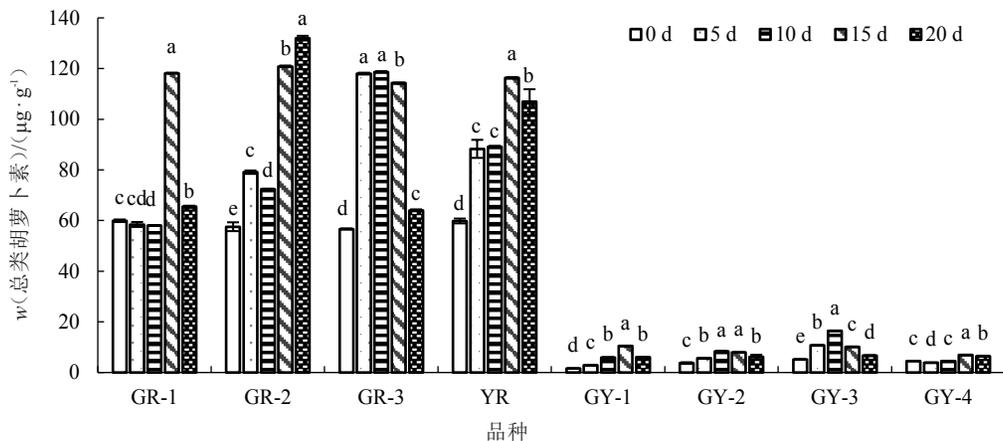


图 6 贮藏时间对不同品种西瓜瓜瓢中总类胡萝卜素含量的影响

3 讨论与结论

西瓜瓢色的差异是由于所含类胡萝卜素的种类和含量不同^[24]。已有研究表明,红瓢西瓜主要的类胡萝卜素组分为番茄红素,番茄红素含量最高达 75.72 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,橙瓢西瓜中类胡萝卜素主要含有紫黄质、叶黄素、 β -胡萝卜素,黄瓢西瓜中类胡萝卜素主要含有紫黄质和叶黄素^[16,18,25-26]。笔者研究表明,在采摘当天黄瓢西瓜中类胡萝卜素只检测到紫黄质和叶黄素,黄红瓢西瓜类胡萝卜素组分主要有紫黄质、叶黄素、 β -胡萝卜素及痕量番茄红素,红瓢西瓜胡萝卜素组分主要有番茄红素、 β -胡萝卜素及少量的紫黄质和叶黄素,这与前人的研究结果一致。

基因型是西瓜成熟果实类胡萝卜素含量变异程度的主要决定因素^[23,26-27]。Bollinedi H 等^[29]分析了西瓜果实发育过程中 9 个类胡萝卜素合成代谢相关酶基因 (*Psy*、*Pds*、*Zds*、*CrtIso*、*Lcyb*、*Chyb*、*Nced1*、*Nced2* 及 *Nced3*) 的表达情况。研究结果显示,黄瓢与红瓢西瓜中 *LCYB* 的表达具有显著差异,红瓢西瓜中番茄红素的积累与 *LCYB* 的表达下调有关;*NCEs* 的表达上调促进类胡萝卜素的分解代谢,导致黄瓢西瓜中仅含少量类胡萝卜素。笔者研究表

明,黄瓢和黄红瓢西瓜中紫黄质含量均高于红瓢西瓜,红瓢西瓜中番茄红素含量高于黄红瓢西瓜,黄皮红瓢西瓜中番茄红素含量高于绿皮红瓢西瓜,而绿皮红瓢西瓜之间番茄红素含量没有显著差异;红瓢西瓜瓜瓢中总类胡萝卜素含量均显著高于黄瓢和黄红瓢西瓜,并且黄皮红瓢西瓜总类胡萝卜素含量与绿皮红瓢西瓜 GR-1 无显著性差异,但黄皮红瓢西瓜总类胡萝卜素含量显著高于其他绿皮红瓢西瓜,这可能与不同品种西瓜基因型有关。供试的 8 个品种西瓜中,随着贮藏时间的延长,不同品种西瓜中的类胡萝卜素各组分及含量有不同的变化。笔者研究表明,黄瓢西瓜在贮藏当天没有检测到番茄红素,但是随着贮藏时间的延长检测到了痕量的番茄红素,这可能是由于西瓜成熟产生大量的乙烯,从而诱导了胡萝卜素合成酶的表达^[28]。本研究结果表明,随着贮藏时间的延长,不同品种西瓜瓜瓢中类胡萝卜素各组分含量的变化可能与西瓜中的类胡萝卜素合成代谢相关酶基因的上调或者下调表达有关,需要进一步从分子水平研究类胡萝卜素在贮藏期的变化机制。

参考文献

[1] PALMER S. Watermelon, summer's antioxidant splash[J]. Environmental Nutrition, 2010, 2(6): 12-14.

- [2] 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.
- [3] 吕品.西瓜果实类胡萝卜素代谢相关基因的克隆、表达与遗传转化研究[D].郑州:郑州大学,2015.
- [4] 郭智广,王毅红,张颖,等.黄瓜、冬瓜、苦瓜、丝瓜和西瓜中的钾、钙、镁等8种元素含量分析[J].中国瓜菜,2019,32(9):25-29.
- [5] 康利允,李晓慧,常高正,等.土壤增施硒肥对西瓜生长及其产量、品质的影响[J].江西农业大学学报,2020,42(1):20-30.
- [6] ILAHY R, TLILII, SIDDIQUI M W, et al. Inside and beyond color: comparative overview of functional quality of tomato and watermelon fruits[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 769.
- [7] ZHAO W E, LÜ P, GU H. Studies on carotenoids in watermelon flesh[J]. Agricultural Sciences, 2013, 4(7A): 13-20.
- [8] AVENDAÑO-VÁZQUEZ A O, CORDOBA E, LLAMAS E, et al. An uncharacterized apocarotenoid-derived signal generated in ζ -carotene desaturase mutants regulates leaf development and the expression of chloroplast and nuclear genes in *Arabidopsis*[J]. The Plant Cell, 2014, 26(6): 2524-2537.
- [9] QIN G J, GU H Y, MA L G, et al. Disruption of phytoene desaturase gene results in albino and dwarf phenotypes in *Arabidopsis* by impairing chlorophyll, carotenoid, and gibberellin biosynthesis[J]. Cell Research, 2007, 17(5): 471-482.
- [10] BAROLI I, NIYOGI K K. Molecular genetics of xanthophyll-dependent photoprotection in green algae and plants[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 2000, 355(1402): 1385-1394.
- [11] 高慧君,明家琪,张雅娟,等.园艺植物中类胡萝卜素合成与调控的研究进展[J].园艺学报,2015,42(9):1633-1648.
- [12] DING B Y, NIU J Z, SHANG F, et al. Characterization of the geranylgeranyl diphosphate synthase gene in *Acyrtosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae) and its association with carotenoid biosynthesis[J]. Frontiers in Physiology, 2019, 10: 1398.
- [13] MOHAMAD SALIN N S, MD SAAD W M, ABDUL RAZAK H R, et al. Effect of storage temperatures on physico-chemicals, phytochemicals and antioxidant properties of watermelon juice (*Citrullus lanatus*)[J]. Metabolites, 2022, 12(1): 75.
- [14] BANG H, DAVIS A R, KIM S, et al. Flesh color inheritance and gene interactions among canary yellow, pale yellow, and red watermelon[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2010, 135(4): 362-368.
- [15] BRANHAM S, VEXLER L, MEIR A, et al. Genetic mapping of a major codominant QTL associated with β -carotene accumulation in watermelon[J]. Molecular Breeding, 2017, 37(12): 1-13.
- [16] TADMOR Y, KING S, LEVIA, et al. Comparative fruit colouration in watermelon and tomato[J]. Food Research International, 2005, 38(8/9): 837-841.
- [17] YOO K S, BANG H, LEE E J, et al. Variation of carotenoid, sugar, and ascorbic acid concentrations in watermelon genotypes and genetic analysis[J]. Horticulture Environment and Biotechnology, 2012, 53(6): 552-560.
- [18] LIU C, ZHANG H, DAI Z, et al. Volatile chemical and carotenoid profiles in watermelons [*Citrullus vulgaris* (Thunb.) Schrad (Cucurbitaceae)] with different flesh colors[J]. Food Science and Biotechnology, 2012, 21(2): 531-541.
- [19] JIN B, LEE J, KWEON S, et al. Analysis of flesh color-related carotenoids and development of a *CRTISO* gene-based DNA marker for polyycopene accumulation in watermelon[J]. Horticulture Environment and Biotechnology, 2019, 60(3): 399-410.
- [20] 侯田莹,宋曙辉,李武,等.不同品种西瓜常温贮藏期间品质变化及贮藏特性研究[J].现代食品科技,2011,27(3):242-245.
- [21] 李赛,贺晓光.不同贮藏条件下小玲西瓜果实品质力学特性的比较研究[J].新疆农业大学学报,2011,34(1):36-39.
- [22] 王培伦.西瓜果实发育期间糖分的变化及贮藏期间品质下降的因子[J].中国西瓜甜瓜,1991,4(2):35-37.
- [23] KANG B S, ZHAO W E, HOU Y B, et al. Expression of carotenogenic genes during the development and ripening of watermelon fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 124(3): 368-375.
- [24] 赵文恩,康保珊,胡国勤.西瓜瓢类胡萝卜素研究进展[J].果树学报,2008,25(6):908-915.
- [25] PERKINS-VEAZIE 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.
- [26] BANG H, KIM S, LESKOVAR D, et al. Development of a codominant CAPS marker for allelic selection between canary yellow and red watermelon based on SNP in lycopene β -cyclase (*LCYB*) gene[J]. Molecular Breeding, 2007, 20(1): 63-72.
- [27] GUO S, LIU J, ZHENG Y, et al. Characterization of transcriptome dynamics during watermelon fruit development: sequencing, assembly, annotation and gene expression profiles[J]. BMC Genomics, 2011, 12(1): 454.
- [28] BOLLINEDI H, DHAKANE-LAD J, KRISHNAN S G, et al. Kinetics of β -carotene degradation under different storage conditions in transgenic Golden Rice[®] lines[J]. Food Chemistry, 2018, 278: 773-779.