

文章编号: 1000-8551(2020)12-2858-07

脱落酸对番茄部分果实性状和营养品质的影响

刘浩然 汪俏梅*

(浙江大学园艺系/农业部园艺植物生长发育与品质控制重点开放实验室, 浙江 杭州 310029)

摘要:为研究脱落酸(ABA)对番茄果实品质的影响,本研究测定了番茄 ABA 生物合成缺失突变体 *not* 和 *flc* 及其野生型各成熟时期果实,以及外源 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ABA 处理后不同天数的番茄果实的外观品质和营养品质。结果表明,内源 ABA 缺失抑制番茄果实增重并促进果实纵向生长,但对果实硬度无明显影响。同时,内源 ABA 可影响番茄果实可溶性固形物含量并促进破色期和转色期的还原糖积累。*not* 和 *flc* 果实中番茄红素、 β -胡萝卜素、叶黄素和总类胡萝卜素含量均显著高于其野生型,且外源喷施试验表明,与对照组相比,外源 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ABA 处理能显著抑制番茄果实中番茄红素、 β -胡萝卜素和总类胡萝卜素的积累。综上,ABA 在调控番茄果实外观品质方面,可促进番茄果实增重并抑制番茄果实纵向生长;在调控番茄果实营养品质方面,可促进还原糖积累并抑制类胡萝卜素积累。本研究结果为利用 ABA 调控番茄果实品质提供了一定的理论依据和技术支持。

关键词:脱落酸;番茄果实;突变体;类胡萝卜素

DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2020.12.2858

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)不仅是世界范围内重要的蔬菜作物,也是研究果实发育和品质形成的模式体系。随着人们消费意识的提高,现在市场对番茄的要求已从对产量的单一追求逐渐转变成对果实品质的高要求。番茄果实品质包括外观品质和营养品质等^[1-2]。番茄的外观品质包括果型指数、果色和果实硬度等;而果实营养品质包括还原糖含量和类胡萝卜素含量等。其中,番茄果实还原糖含量直接决定着果实甜度,研究表明消费者更愿意购买具有适当甜酸度的番茄果实^[1]。类胡萝卜素是一类来源于丙酮酸的四十碳的四萜化合物及其氧化衍生物,对人类健康有重要作用,其组分和含量是番茄果实营养品质的重要构成因素^[3]。番茄果实中的类胡萝卜素包括番茄红素、 β -胡萝卜素和叶黄素等,其中番茄红素是成熟番茄果实中含量最高的类胡萝卜素^[3-7]。在番茄中,类胡萝卜素不仅是重要的光合色素,也是香气物质和脱落酸(abscisic acid, ABA)合成的前体物质^[3,8],类胡萝卜素代谢物 9-顺式-新黄质通过 9-顺式环氧类胡萝卜素双加氧酶(9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase,

NCED)、短链脱氢还原酶(short-chain dehydrogenase/reductase, SDR)、醛氧化酶(abscisic aldehyde oxidase, AAO)和钼辅因子硫酸酶(molybdenum-cofactor sulfuryase, MoCoS)依次生成黄氧素、脱落酸醛等物质并最终合成 ABA^[9-11]。

ABA 是一种以异戊二烯为基本结构单位的倍半萜类植物激素^[12],广泛调控植物的生长发育进程,如种子萌发、诱导气孔开闭和开花等,并在植物的逆境适应性中发挥作用^[13-17]。前人通过正向遗传学方法筛选到 2 种番茄 ABA 生物合成的缺失突变体 *notabilis* (简称 *not*) 和 *flacca* (简称 *flc*)^[18],并通过基因图谱的方法确定这 2 个突变体分别是 9-顺式环氧类胡萝卜素双加氧酶(NCED)基因移码突变的无效突变体^[18]和钼辅因子硫酸化酶(MoCoS)基因 6 对碱基缺失的突变体^[19]。这 2 种突变体果实内源 ABA 含量与野生型相比显著下降,是研究 ABA 调控果实发育和品质形成的良好材料^[20]。由于 ABA 含量在番茄果实成熟过程中是动态变化的,而突变体 *not* 和 *flc* 果实中 ABA 含量在果实成熟过程中一直保持低水平,利用这些突变体

收稿日期: 2019-05-22 接受日期: 2019-07-19

基金项目: 国家自然科学基金(31830078), 博士后科学基金(2019M662067)

作者简介: 刘浩然,男,主要从事番茄品质研究。E-mail: liuhaoran@zju.edu.cn

* 通讯作者: 汪俏梅,女,教授,主要从事次生代谢物质与激素等领域的研究。E-mail: qiaomeiw@zju.edu.cn

可以排除番茄果实中 ABA 动态变化的干扰,便于研究 ABA 对果实发育和品质形成等的影响。本研究以这 2 种 ABA 缺失突变体及其野生型为材料,结合 ABA 外源处理研究 ABA 对番茄果实营养品质和外观品质的影响,旨在为 ABA 在番茄品质改良中的应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为 ABA 生物合成缺失突变体 *flc* 及其野生型 RR (Rheinlands Ruhm)、ABA 生物合成缺失突变体 *not* 及其野生型 AC (Ailsa Craig),均由美国加州大学 DAVIS 分校番茄种质资源中心提供后留种所得。

1.2 试验设计

试验于 2018 年 1—9 月于浙江大学园艺作物生长发育重点实验室进行,所有试验所用 4 个番茄品种均于 2018 年 1 月播种,并于 2018 年 3 月定植于浙江大学华家池校区。花期标记,共标记 3~4 穗花,每穗花限制在 5 朵以下。果实成熟标准参考文献[8],花后 35 d 左右全果绿色为绿熟期果实,花后 40 d 左右外观微红且显色少于 10%为破色期果实,花后 43 d 左右呈淡红色且显色约 70%为转色期果实,花后 50 d 左右呈深红色且显色为 100%为红熟期。对破色期、转色期和红熟期的果实进行单果重、果型指数、硬度以及可溶性固形物、还原糖和类胡萝卜素含量的测定。

摘取 24 个大小形状相似绿熟期的 AC 果实,均分为对照组和 ABA 处理组,每组 12 个果实。对照组涂抹未加入任何植物激素的羊毛脂,ABA 处理组的果实涂抹终浓度为 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ABA 的羊毛脂。羊毛脂均匀涂抹在果实表面,处理后放入温度为 23°C ,光周期为 16 h 光照/8 h 黑暗的温室中,并在处理后的第 1、第 4、第 7 和第 15 天取样进行番茄果实类胡萝卜素含量的测定。以上样品的测定指标均为完全随机试验设计,设置 3 个生物学重复,每个生物学重复为 3 个果实的混合样品。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 单果重、果型指数和硬度测定 单果重的测定:根据 1.2 的标准采摘各成熟期的 *flc* 及其野生型 RR 和 *not* 及其野生型 AC 的番茄果实,随机取 3 个,用天平分别测定其单果重。

果形指数的测定:采用游标卡尺分别测量各成熟期的 *flc* 及其野生型 RR 和 *not* 及其野生型 AC 果实的

横径和纵径,果形指数 = 纵径/横径,果形指数 >1.00 为高圆形果;介于 $0.85 \sim 1.00$ 之间为圆形果;介于 $0.71 \sim 0.85$ 之间为扁圆形果; ≤ 0.70 为扁形果。

果实硬度的测定:于破色期、转色期和红熟期选取大小均一、无机械伤的 *flc* 及其野生型 RR 和 *not* 及其野生型 AC 番茄果实在室温下使用具有直径 7.5 mm 左右塑胶探头的 TA-XT2i 质构仪 (Stable Micro Systems Ltd., 英国)在每个果实赤道部分均匀测定 4 个点,每次试验测定 6~9 个果实,测定深度为 10 mm,测定速度为 $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

1.3.2 可溶性固形物和还原糖含量测定 可溶性固形物含量采用 WYA-1S/2S 阿贝折射仪 (上海光学仪器厂)测定,分别随机取破色期、转色期和红熟期的 *flc* 及其野生型 RR 和 *not* 及其野生型 AC 的果实各 3 个,直接读取果实可溶性固形物含量,用百分比表示。还原糖的含量采用二硝基水杨酸法^[21]测定。

1.3.3 类胡萝卜素含量测定 将果实切成 1 cm^3 的小块,液氮速冻后用研钵在低温下磨成果实粉末。取 0.5 g 上述果实粉末于 50 mL 锡箔纸包裹的离心管中,立即加入 30 mL 提取液 (乙烷:丙酮:乙醇 = 1:1:1,体积比),然后 $150 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 摇动 30 min。再向混合物中加入 15 mL 双蒸水, 4°C 、 $1500 \times g$ 离心 10 min。上清液过 $0.22 \mu\text{m}$ 有机相滤膜,再氮吹浓缩至近乎无液体。加入 0.5 mL 溶解液 (四氢呋喃:乙腈:甲醇 = 3:10:11,体积比)3 次,所得即为待测样品。

取 $20 \mu\text{L}$ 样品,使用高效液相系统 (日本岛津) 进行测定,色谱柱采用 C_{18} 色谱柱 ($4.6 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$, $5 \mu\text{m}$)。流动相为 (甲醇:乙腈 = 9:1 体积比,同时加入 0.05% 三乙胺),流速为 $1.2 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。检测波长为 475 nm。采用番茄红素、 β -胡萝卜素和叶黄素的标准品进行外标法计算含量。结果以 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 为单位表示。

1.4 数据分析

采用 SPSS 10.0 软件进行数据分析,试验数据均为 3 次生物学重复的平均值 \pm 标准误。显著性分析采用 One-way ANOVA 进行。

2 结果与分析

2.1 ABA 生物合成缺失突变体果实的外观品质性状

由表 1 可知,ABA 生物合成缺失突变体 *not* 和 *flc* 在红熟期的单果重显著低于各自的野生型,分别减少至野生型单果重的 39.72% 和 55.62%。这说明 ABA 在果实增重上起正向作用。在番茄果实果型上,ABA

生物合成缺失突变体 *not* 在番茄各发育时期的果型指数均显著高于其野生型, *not* 为圆形果而其野生型 AC 为扁圆形果。同时, *flc* 及其野生型 RR 虽均为圆形果, 但红熟期 *flc* 的果型指数显著高于其野生型 RR。这表明内源 ABA 缺失会促进番茄果实纵向生长, 并且

NCED 缺失比 *MoCoS* 缺失更能促进番茄果实纵向生长。在果实硬度方面, ABA 生物合成缺失突变体 *not* 和 *flc* 的果实硬度在番茄各发育时期与野生型相比均无明显差异。说明内源 ABA 并未影响番茄果实的软化进程。

表 1 不同时期番茄中 ABA 缺失突变体及其野生型植株果实发育的外观品质性状

Table 1 The fruits visual quality characters of ABA deficient mutants and wild types at different ripening stages

基因型 Genotype	单果重 Single fruit weight/g			果形指数 Fruit shape index			硬度 Firmness/(kg·cm ⁻²)		
	破色期 Breaker	转色期 Turning	红熟期 Red ripening	破色期 Breaker	转色期 Turning	红熟期 Red ripening	破色期 Breaker	转色期 Turning	红熟期 Red ripening
<i>flc</i>	23.51a	37.97a	29.85b	0.96a	0.94a	0.97a	13.02a	9.94a	8.60a
RR	16.91a	38.11a	53.66a	1.01a	0.92a	0.89b	12.02a	9.94a	8.73a
<i>not</i>	21.47a	24.36b	31.47b	0.96a	0.96a	0.96a	13.71a	9.47a	8.58a
AC	19.94a	50.25a	79.21a	0.84b	0.81b	0.79b	13.64a	8.79a	8.38a

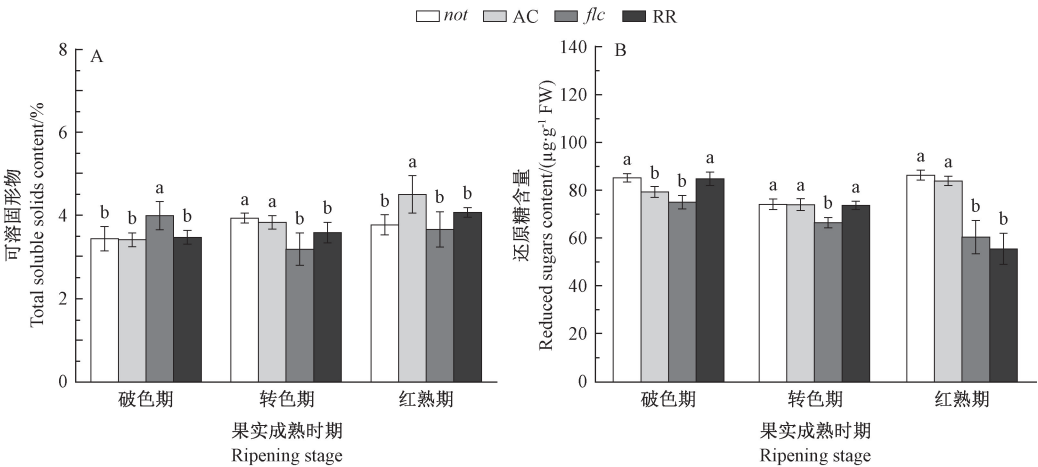
注: 不同字母表示品种间存在显著性差异 ($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among varieties at 0.05 level. The same as following.

2.2 ABA 生物合成缺失突变体果实的可溶性固形物和还原糖含量

如图 1-A 所示, ABA 生物合成缺失突变体 *flc* 在破色期果实中可溶性固形物含量显著高于其野生型 AC, 增加 0.53 个百分点; ABA 生物合成缺失突变体 *not* 在红熟期果实中可溶性固形物含量显著低于其野生型

RR, 降低 1.01 个百分点。这说明 ABA 在破色期和红熟期分别负调控和正调控可溶性固形物的含量。如图 1-B 所示, ABA 生物合成缺失突变体 *flc* 果实中还原糖含量在破色期和转色期均显著低于其野生型 RR。说明内源 ABA 可促进破色期和转色期番茄果实中还原糖的积累。



注: 不同字母表示品种间存在显著性差异 ($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among varieties at 0.05 level. The same as following.

图 1 ABA 生物合成缺失突变体及其野生型不同成熟期果实的可溶性固形物和还原糖含量

Fig.1 The total soluble solids and reduced sugars contents of tomato fruits in ABA deficient mutants and wild types at different ripening stages

2.3 ABA 生物合成缺失突变体果实的类胡萝卜素含量

如图 2-A 所示, 在破色期, ABA 生物合成缺失突变体 *not* 果实中番茄红素含量显著高于其野生型 AC, 升高了 31.23%。并且在红熟期, 突变体 *not* 和 *flc* 果

实中番茄红素含量均显著高于各自的野生型, 分别增加了 23.62% 和 43.07%。上述结果表明内源 ABA 缺失能明显促进果实番茄红素积累。如图 2-B 所示, ABA 生物合成缺失突变体 *not* 果实中 β -胡萝卜素含

量在破色期和红熟期显著高于其野生型 AC,分别增加 31.81%和 28.37%;但在转色期两品种差异不显著。同时,突变体 *flc* 果实中 β -胡萝卜素含量在转色期和红熟期均显著高于其野生型 RR,分别增加 6.82%和 23.07%。表明内源 ABA 缺失能明显促进番茄果实中 β -胡萝卜素积累。如图 2-C 所示,ABA 生物合成缺失突变体 *not* 果实中叶黄素含量在转色期和红熟期显著高于其野生型 AC,分别增加 25.01%和 14.28%;突变体 *flc* 果实中叶黄素含量在各果实成熟时期均显著高

于其野生型 RR,在破色期、转色期和红熟期分别增加了 55.55%、110.52%和 182.53%。说明内源 ABA 能够抑制叶黄素的积累。如图 2-D 所示,ABA 生物合成缺失突变体 *not* 和 *flc* 果实中总类胡萝卜素含量在转色期和红熟期均显著高于各自的野生型,说明内源 ABA 显著抑制了番茄果实总类胡萝卜素的积累。综上可知,内源 ABA 可抑制成熟过程中番茄果实的番茄红素、 β -胡萝卜素、叶黄素和总类胡萝卜素的积累。

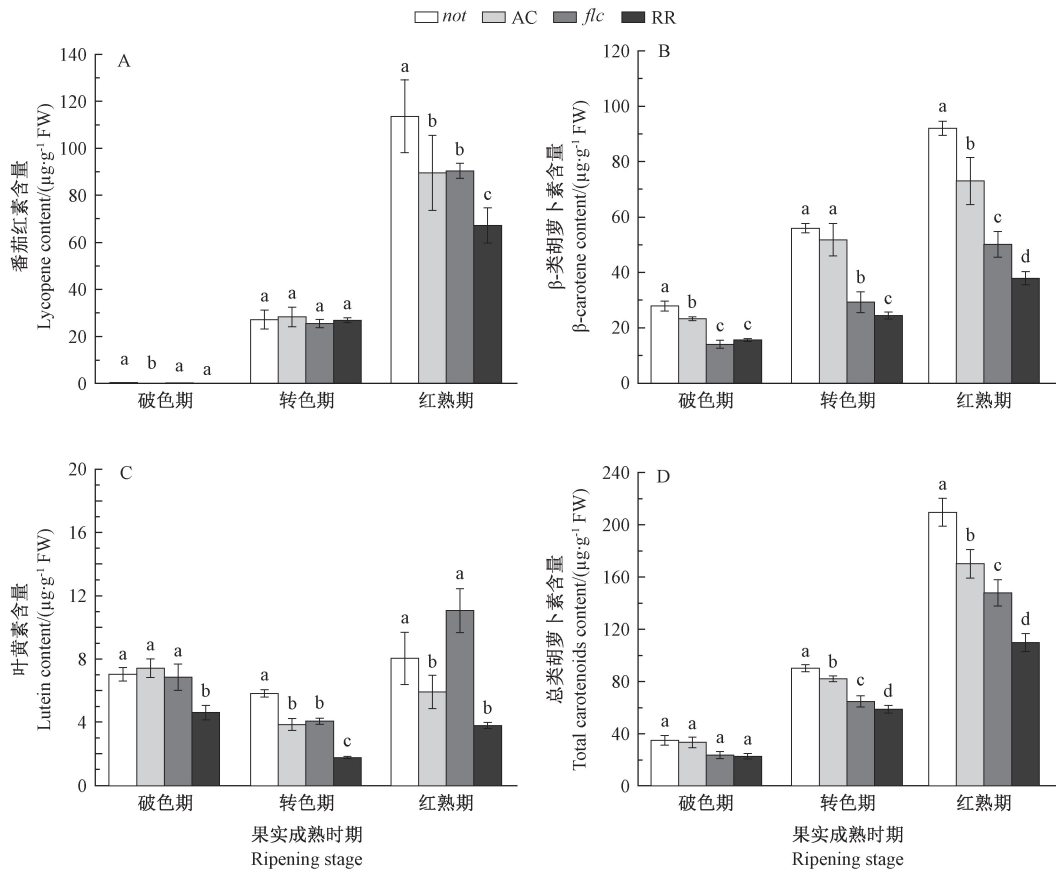


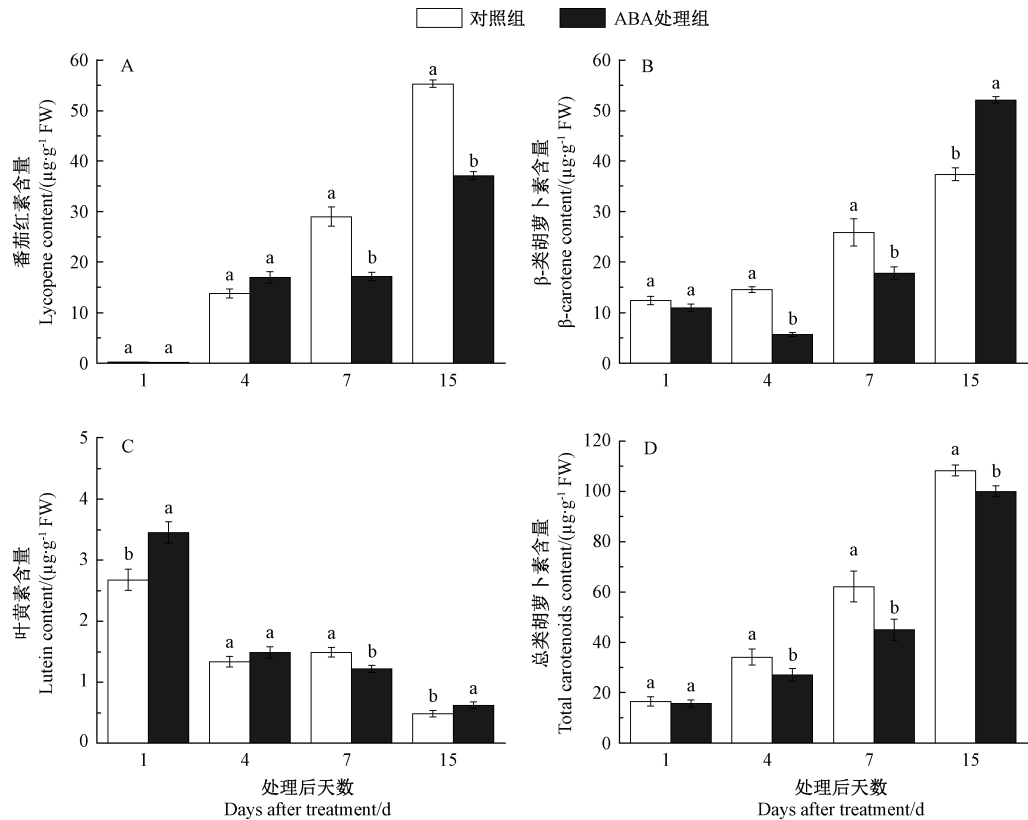
图 2 ABA 生物合成缺失突变体及其野生型不同成熟期果实的类胡萝卜素含量

Fig.2 The contents of carotenoids in tomato fruits of abscisic acid biosynthetic deficient mutant and their wild types at different ripening stages

2.4 ABA 处理对番茄果实类胡萝卜素积累的影响

由图 3 可知,在番茄果实采后处理过程中,随着处理后时间的延长,番茄红素、 β -胡萝卜素和总类胡萝卜素含量呈增加趋势,而叶黄素含量呈下降趋势。如图 3-A 所示,与对照组相比,番茄果实中番茄红素含量在 ABA 处理后第 7 和第 15 天显著降低,分别下降了 40.13%和 32.85%。表明外源 ABA 能抑制番茄果实中番茄红素的合成,这与图 2-A 中内源 ABA 缺失促进番茄红素积累的结果一致。如图 3-B 所示, β -胡萝卜素含量在 ABA 处理后第 4 和第 7 天较对照组显著降

低,分别下降了 61.26%和 33.33%,这与图 2-B 中内源 ABA 缺失能提高破色期和转色期果实 β -胡萝卜素含量的现象相吻合;但在处理后第 15 天,ABA 处理组显著促进了 β -胡萝卜素的积累, β -胡萝卜素含量较对照组提高了 27.51%。表明,外源 ABA 抑制番茄果实成熟前期 β -胡萝卜素的积累,但促进后期积累。如图 3-C 所示,与对照组相比,叶黄素含量在 ABA 处理后第 1 和第 15 天显著增加,处理后第 7 天显著降低。如图 3-D 所示,与对照组相比,总类胡萝卜素含量在 ABA 处理后第 4、第 7 和第 15 天显著降低,分别降低



注:不同字母表示处理间存在显著性差异 ($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatments at 0.05 level.

图 3 ABA 处理对番茄果实中的类胡萝卜素含量的影响

Fig.3 Effects of abscisic acid treatment on the contents of carotenoids in tomato fruits

33.19%、27.88%和2.69%,图2-D也表明内源ABA抑制番茄果实总类胡萝卜素积累。综上,ABA处理抑制了番茄果实中番茄红素、 β -胡萝卜素和总类胡萝卜素的积累。

3 讨论

在外观品质方面,本研究结果表明内源ABA能抑制番茄果实纵向伸长,这与草莓^[22]中的研究结果一致,说明ABA抑制果实纵向生长的功能在不同物种之间是保守的。另外,本研究结果表明内源ABA促进番茄果实增重,这与前人关于ABA不影响桃子单果重的结论相反^[23]。这可能是因为前人采用ABA直接喷施桃子的叶片而非果实的方式,说明激活ABA处理果实增重效应的方式存在组织特异性。此外,前人研究表明鳄梨中ABA含量和果实硬度呈负相关^[24],此效应并未在番茄中体现,一方面可能是因为鳄梨上的研究并未使用ABA相关突变体,所以这种负相关可能不是ABA对果实硬度的直接效应;另一方面也可能是因为鳄梨是仁果,番茄是浆果,两种果实在组织结构上存在

的差异导致硬度对ABA的响应存在较大差异。

在营养品质方面,内源ABA可促进番茄果实中还原性糖的积累,这与外源ABA促进葡萄和桃子果实中还原糖含量增加的结果相一致^[23,25],且促进桃和葡萄中还原糖积累的ABA处理浓度分别是 $150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,即约 $567.49\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $378.33\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,与本试验采用的 $100\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度属同一数量级,这可能是因为ABA促进还原糖作用在不同物种的保守性使得处理浓度数量级也一致。另外,本研究中ABA处理抑制了番茄类胡萝卜素积累,这与前人在脐橙中的研究结果相同^[26],说明ABA抑制果实类胡萝卜素积累的作用在不同园艺物种间具有保守性。此外,本研究结果表明NCED基因缺失能显著促进番茄果实类胡萝卜素积累,这与之前的研究结果相吻合^[27]。且研究表明,MoCoS基因缺失也会显著促进番茄类胡萝卜素积累,提高番茄果实品质。这表明抑制ABA合成代谢途径关键酶NCED和MoCoS的基因表达均能提高番茄果实品质特别是类胡萝卜素含量,暗示利用基因编辑技术定向缺失基因NCED和MoCoS提高番茄果实品质的巨大潜力。

4 结论

本研究利用 ABA 生物合成突变体结合外源激素处理的方法发现,植物激素 ABA 对番茄果实典型发育时期的外观品质和营养品质均有显著影响。在外观品质方面,ABA 可促进番茄果实增重并抑制果实的纵向生长,但对番茄果实硬度无显著影响。在营养品质方面,ABA 影响了番茄果实可溶性固形物含量,并促进了还原糖积累,同时 ABA 还抑制了番茄果实中番茄红素、 β -胡萝卜素和总类胡萝卜素的积累。综上可知,ABA 在调控番茄果实外观品质方面,可促进番茄果实增重并抑制番茄果实纵向生长;在调控番茄果实营养品质方面,可促进还原糖积累并抑制类胡萝卜素积累。本研究为利用番茄 ABA 相关突变体和 ABA 处理改善番茄品质提供了理论基础。

参考文献:

- [1] Tieman D, Zhu G T, Resende M F R, Lin T, Taylor M, Zhang B, Ikeda H, Liu Z Y, Fisher J, Zemach I, Monforte A, Zamir D, Granell A, Kirst M, Huang S, Klee H, Nguyen C, Bies D, Rambla J L, Beltran K S O. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor[J]. *Science*, 2017, 355(6323): 391–394
- [2] Giovannoni J J. Genetic regulation of fruit development and ripening [J]. *Plant Cell*, 2004, 16: S170–S180
- [3] Wang X D. Lycopene metabolism and its biological significance[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2012, 96(5): 1214S–1222S
- [4] Liu L H, Shao Z Y, Zhang M, Wang Q M. Regulation of carotenoid metabolism in tomato[J]. *Molecular Plant*, 2015, 8(1): 28–39
- [5] Krinsky N I, Johnson E J. Carotenoid actions and their relation to health and disease [J]. *Molecular Aspects of Medicine*, 2005, 26(6): 57
- [6] Ivanov N I, Cowell S P, Brown P, Rennie P S, Guns E S, Cox M E. Lycopene differentially induces quiescence and apoptosis in androgen-responsive and -independent prostate cancer cell lines[J]. *Clinical Nutrition*, 2007, 26(2): 252–263
- [7] Zou J, Feng D, Ling W H, Duan R D. Lycopene suppresses proinflammatory response in lipopolysaccharide-stimulated macrophages by inhibiting ROS-induced trafficking of TLR4 to lipid raft-like domains[J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2013, 24(6): 1117–1122
- [8] Liu H R, Meng F L, Miao H Y, Chen S S, Yin T T, Hu S S, Shao Z Y, Liu Y Y, Gao L X, Zhu C Q, Zhang B, Wang Q M. Effects of postharvest methyl jasmonate treatment on main health-promoting components and volatile organic compounds in cherry tomato fruits [J]. *Food Chemistry*, 2018, 263: 194–200
- [9] Schwartz S H, Tan B C, McCarty D R, Welch W, Zeevaert J A. Substrate specificity and kinetics for VP14, a carotenoid cleavage dioxygenase in the ABA biosynthetic pathway [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2003, 1619(1): 9–14
- [10] Cheng W H, Endo A, Zhou L, Penney J, Chen H C, Arroyo A, Leon P, Nambara E, Asami T, Seo M, Koshiha T, Sheen J. A unique short-chain dehydrogenase/reductase in *Arabidopsis* glucose signaling and abscisic acid biosynthesis and functions [J]. *Plant Cell*, 2002, 14(11): 2723–2743
- [11] Watanabe S, Sato M, Sawada Y, Tanaka M, Matsui A, Kanno Y, Hirai M Y, Seki M, Sakamoto A, Seo M. Arabidopsis molybdenum cofactor sulfurase ABA3 contributes to anthocyanin accumulation and oxidative stress tolerance in ABA-dependent and independent ways [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 16592
- [12] Hauser F, Waadt R, Schroeder J I. Evolution of abscisic acid synthesis and signaling mechanisms [J]. *Current Biology*, 2011, 21(9): R346–355
- [13] Dong Z J, Yu Y W, Li S H, Wang J, Tang S J, Huang R F. Abscisic acid antagonizes ethylene production through the ABI4-Mediated transcriptional repression of ACS4 and ACS8 in *Arabidopsis* [J]. *Molecular Plant*, 2016, 9(1): 126–135
- [14] Wang Y P, Li L, Ye T T, Lu Y M, Chen X, Wu Y. The inhibitory effect of ABA on floral transition is mediated by ABI5 in *Arabidopsis* [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2013, 64(2): 675–684
- [15] Yang X R, Bai Y, Shang J X, Xin R J, Tang W Q. The antagonistic regulation of abscisic acid-inhibited root growth by brassinosteroids is partially mediated via direct suppression of abscisic acid insensitive 5 expression by brassinazole resistant 1 [J]. *Plant, Cell and Environment*, 2016, 39(9): 1994–2003
- [16] Tezuka K, Taji T, Hayashi T, Sakata Y. A novel *abi5* allele reveals the importance of the conserved Ala in the C3 domain for regulation of downstream genes and salt tolerance during germination in *Arabidopsis* [J]. *Plant Signaling and Behavior*, 2013, 8(3): e23455
- [17] Chen C T, Wu C A, Miao J M, Lei Y X, Zhao D X, Sun D, Yang G D, Huang J G, Zheng C C. Arabidopsis SAG protein containing the MDN1 domain participates in seed germination and seedling development by negatively regulating ABI3 and ABI5 [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2014, 65(1): 35–45
- [18] Taylor I B, Burbidge A, Thompson A J. Control of abscisic acid synthesis [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51(350): 1563–1574
- [19] Sagi M, Fluhr R, Lips S H. Aldehyde oxidase and xanthine dehydrogenase in a flacca tomato mutant with deficient abscisic acid and wilt phenotype [J]. *Plant Physiology*, 1999, 120(2): 571–578
- [20] Nitsch L, Kohlen W, Oplaat C, Charnikhova T, Cristescu S, Michieli P, Wolters-Arts M, Bouwmeester H, Mariani C, Vriezen W H, Rieu I. ABA-deficiency results in reduced plant and fruit size in tomato [J]. *Journal of Plant Physiology*, 2012, 169(9): 878–883
- [21] 任婧, 李景富, 张佳, 刘俊芳, 许向阳, 姜景彬. 基于 3,5-二硝基水杨酸比色法建立一种快速测定总糖含量的方法 [J]. *黑龙江科学*, 2017(10): 66–69
- [22] Liao X, Li M S, Liu B, Yan M L, Yu X M, Zi H L, Liu R Y,

- Yamamuro C. Interlinked regulatory loops of ABA catabolism and biosynthesis coordinate fruit growth and ripening in woodland strawberry[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2018, 115(49): 11542–11550
- [23] 许建兰, 马瑞娟, 张斌斌, 倪林箭. 叶面喷施不同浓度 ABA 对美香桃果实品质的影响[J]. 西南农业学报, 2012, 25(3): 4
- [24] Meyer M D, Chope G A, Terry L A. Investigation into the role of endogenous abscisic acid during ripening of imported avocado cv. Hass[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(11): 3656–3664
- [25] 王利廷, 高江曼, 周亚丽, 姜越, 段冰冰, 惠竹梅. 外源 ABA 和 EBR 处理对酿酒葡萄“赤霞珠”生长成熟的调控及内源激素的影响[J]. 北方园艺, 2018(3): 38–45
- [26] 王贵元, 夏仁学, 周开兵. 外源 ABA 和 GA3 对红肉脐橙果皮主要色素含量变化和果实着色的影响[J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(3): 3
- [27] Ji K, Kai W B, Zhao B, Sun Y F, Yuan B, Dai S J, Li Q, Chen P, Wang Y, Pei Y L, Wang H Q, Guo Y D, Leng P. *SINCE1* and *SICYP707A2*: Key genes involved in ABA metabolism during tomato fruit ripening[J]. Journal of Experimental Botany, 2014, 65(18): 5243–5255

Effect of Absciscic Acid on Partial Traits and Nutritional Quality in Tomato Fruit

LIU Haoran WANG Qiaomei*

(Department of Horticulture, Zhejiang University/Key Laboratory of Horticultural Plant Growth, Development and Quality Improvement, Ministry of Agriculture, Hangzhou, Zhejiang 310029)

Abstract: In order to investigate the effects of phytohormone abscisic acid (ABA) on the tomato fruit quality, the visual and nutritional quality of ABA biosynthetic deficiency mutants, *not* and *flc*, and their wild types at different ripening stages as well as the fruits at different days after 100 μ M ABA treatment were analyzed. The results showed that endogenous ABA deficiency significantly decreased the fruit weight and promoted the fruit longitudinal elongation, but had no effect on fruit firmness. ABA affected the soluble solids content of tomato fruits and promoted the accumulation of reducing sugar in the color-breaking periods. Moreover, the contents of lycopene, β -carotene, lutein and total carotenoids greatly increased in two ABA deficiency mutants when compared with their wild types. Meanwhile, the contents of lycopene, β -carotene and total carotenoids significantly decreased after exogenous 100 M ABA treatment. Taken together, ABA increased the fruit weight and inhibited the fruit longitudinal elongation in terms of fruit visual regulation. ABA also promoted the reduced sugar accumulation and decreased the carotenoid accumulation in tomato fruits in term of fruit nutritional quality. These findings will provide the theoretical basis and technical support for the improvement of fruit quality via regulation of ABA.

Keywords: abscisic acid, tomato fruit, mutants, carotenoids