

萼片对番茄果实发育及品质形成的影响

赵博 崔萌萌 缪佩 刘锐 王介玲 冷平*

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193)

摘要 为了解萼片对番茄果实发育及品质形成的影响,做2组试验。试验1:分别在初花后10、15、20、25、30、35和40 d去除萼片,以不去萼片的正常果实为对照,在果实转色6 d后(成熟期)采摘,进行分析测定。试验2:分别在花后25、30和35 d及转色和成熟期采摘果实,去除萼片,以相同时期不去萼片的正常果实为对照,采后放置25℃贮藏室内观察测定。试验1的结果表明处理果实成熟时间延迟;重量、抗氧化物质Vc和类黄酮含量下降;细胞壁构成物质的水溶性果胶、共价结合果胶及总果胶含量都有所下降。在抗氧化酶活性方面,处理果实中的CAT活性低于对照,而POD活性高于对照;糖酸比低于对照,但可溶性固形物含量与对照组差异不显著。试验2的结果表明在花后30 d之前,去除萼片处理果实的乙烯产量与对照相比减少了一半。而在花后35 d以后,处理与对照间的乙烯产量无显著差异。综上,萼片对番茄果实的发育、成熟及品质形成起着促进作用。

关键词 萼片;番茄果实;乙烯;发育;成熟;品质形成

中图分类号 S 641.2

文章编号 1007-4333(2015)02-0093-08

文献标志码 A

Effects of calyx on tomato fruit development and quality formation

ZHAO Bo, CUI Meng-meng, MIAO Pei, LIU Rui, WANG Jie-ling, LENG Ping*

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract To investigate the effects of calyx on tomato fruit development and quality formation, we did two tests. In test 1, calyxes were removed from fruits at 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 d after flowering. Normal fruits with calyxes were used as control. Fruits were harvested at mature stage (6 days after turning) and analyzed. In test 2, we picked fruits at 25, 30, 35, 40 and 45 d after flowering, removed the calyxes and then stored at 25℃. The fruits with calyxes were used as a control. The results of test 1 showed that removal of calyxes delayed fruits ripening, fruits weight and the content of ascorbic acid (Vc), flavonoids, and fruit cell wall materials. In terms of antioxidant enzymes, catalase (CAT) activity in treated fruits was lower than that of control, while peroxidase (POD) activity was higher the sugar-acid rate decreased. There is no significant difference in soluble solids between control and treated fruits. The results of test 2 showed that the ethylene production was reduced by half when calyxes were removed from fruits earlier than 30 d after flowering. There was no significant difference in ethylene production between control and treated fruits from 35 d after flowering. It can be therefore concluded that removing of calyx had some effects on the development growth and quality of tomato fruits.

Key words calyx; tomato fruit; ethylene; development; maturation; quality formation

番茄果实因色彩艳丽,营养物质丰富,且含有较高水平的功能性成分,而受到越来越多消费者的青睐^[1-3]。番茄果实的品质形成受激素、环境和发育信号所影响^[4],果实品质主要包括果品的外观;营养品

质如糖、有机酸、各种矿物质、芳香性物质以及抗逆性,如抗氧化能力及抗病虫害等。随着人们生活水平的提高,人们越来越看重萼片的颜色与形状,萼片从果实的一个附属物逐渐成为评判番茄果实品质的

收稿日期:2014-08-05

基金项目:北京市科委重大资助项目(D0706002000091)

第一作者:赵博,硕士研究生,E-mail:1074854034@qq.com

通讯作者:冷平,教授,主要从事果实发育生物学及采后处理技术研究,E-mail:pleng@cau.edu.cn

一项指标。

番茄属于宿萼果,萼片一直伴随着果实的生长发育及成熟。不像有些植物开花结果后果实萼片脱落,如大多数的仁果类和核果类果实。在梨属植物中,脱萼果实的品质比宿萼果实的品质好,萼片对果实的品质形成起着负作用^[5]。然而,从属于宿萼果的柿子来看,早期人工去除萼片,会抑制柿子果实的生长,后期去除萼片,对果实生长没有抑制作用^[6],可以看出萼片对柿子果实的生长有促进作用。但是,萼片对番茄果实发育及其品质形成的影响还未见报道。

番茄正常花蕾的萼片为5~7枚。萼片为绿色的叶状体,在结构上类似叶,有大量的绿色薄壁细胞,但无栅栏组织和海绵组织的分化,有一定的光合能力。萼片中含有葡萄糖、果糖及蔗糖,且葡萄糖含量最多^[7]。Betty K.等^[8]发现将番茄萼片离体培养在16~21℃时,萼片会膨胀、变红、多汁并产生乙烯,形成番茄果实组织的类似物,并且成熟萼片中成熟相关基因RIN和PSY1的表达与果实中的相似。此外,Vrebalov等^[9]发现如果番茄中Ripening-Inhibitor(RIN)位点发生突变,番茄果实不能成熟,而且萼片变大。上述研究表明,萼片对果实发育及其品质形成有一定影响。

本研究通过检测定期去除萼片果实的各项生理与生化指标以及测定采后果实去除萼片对乙烯产量的变化,旨在分析萼片对果实发育、成熟及其品质形成的影响。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于2010年在中国农业大学科技园区温室内进行。

以番茄品种“嘉宝”植株为材料。2010年3月14日播种育苗,4月25日定植于温室内,正常栽培管理:将草炭和蛭石1:1混合填进花盆中作为营养土,3d浇1次水,将花盆置于阳光充足的地方。从番茄初花(完全张开,花萼片张开约180°同时花瓣为鲜黄色)开始记日期并挂牌。

试验1:分别对初花后10、15、20、25、30、35和40d的果实去除萼片,每个处理随机选取表型大致相同的6个果实。被选果实选在第2和第3个,每个结位留一个果实,以正常生长的番茄果实为对照(CK)。之后在果实转色6d后取样,先测定各项物

理特性参数,然后将果皮与果肉分开,于液氮中速冻,随后贮存于-80℃冰箱中备用。

试验2:分别在花后25、30和35d的及转色和成熟期采摘果实,去除萼片后与正常生长对照果实(CK)一起放置在25℃贮藏室内,每次取样随机选取6个果实,每天测定果实的乙烯释放量,并记录采后至果实转色所需的时间,d。

1.2 萼片中类胡萝卜素含量的测定

类胡萝卜素含量:用丙酮提取,叶绿素和类胡萝卜素含量使用分光光度计在663、646和470nm波长下测定(SP-1900UV)。使用Lichtenthaler方法计算叶绿素a,b和类胡萝卜素含量。

1.3 果实成熟时间、果重、果实硬度和果形指数的测定

果实成熟时间计算是以初花日开始算起至果实转色后6d的时间,d。

果重使用电子天平(YP1201N, Shanghai precision & Scientific instrument CO., LTD)来测定(精确到0.1g)。

果实硬度使用KM型果实硬度计来测定(FUJIHARA Co., Japan)。每个株系取3个植株,每植株上取3个果实进行测定,测定果实的果胴部位,平均值为每个株系果实的硬度,kg/cm²。

果形指数:使用游标卡尺测定纵径和横径,果形指数等于纵径/横径。

1.4 果实可溶性固形物、SSC/TA、Vc、番茄红素和类黄酮含量测定

可溶性固形物含量使用折糖仪测定(Atago Co. Ltd, Tokyo, Japan),用20℃下⁰Brix表示。

可溶性糖含量:可溶性糖采用热水浴的方法在果肉中提取。在提取液中加入蒽酮-乙酸乙酯和浓硫酸,立即沸水浴1min。使用分光光度计在510nm波长下读取吸光值(SP-1900UV)。

可滴定酸含量(TA):使用0.05mol NaOH滴定法^[10]测定。

Vc含量:Vc含量测定采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[11]。使用抗坏血酸(Sinopbarm chemical reagent CO., LTD)作标准物。果肉样品5g,加入5mL 2%的草酸。然后研磨5min,真空过滤到100mL容量瓶中。用2%草酸洗涤几次,洗涤液转入容量瓶中,定容,摇匀。然后取10mL滤液用2,6-二氯酚靛酚蓝滴定。

番茄红素含量:番茄红素含量按照GB/T

14215—2008 方法^[12]测定,稍作修改。苏丹 I (AMRESO)为标准物质。使用 1 g 果肉样品,加入 5 mL 甲醇。然后研磨并过滤,直至滤液无色。残渣中加入 10 mL 甲苯并过滤,重复上述步骤直至滤液无色。滤液收集在 50 mL 的棕色容量瓶中,使用分光光度计(SP-1900UV)在 485 nm 波长下测定吸光值。

类黄酮含量:类黄酮使用超声波方法^[13]提取。用芦丁作为标准物质,使用分光光度计测定。样品用 1 g,用 3 mL 甲醇稀释,加入 1 mL 5% NaNO₂,静置 5 min,加入 1 mL 10% AlCl₃,静置 6 min,然后加入 10 mL 1mol/L 的 NaOH。使用分光光度计(SP-1900UV)在 510 nm 波长下测定吸光值。

1.5 细胞壁物质的提取、分离及测定

称取果肉(去果皮,种子后的果胴部位)样品 2 g,用 80%乙醇、无水乙醇和丙酮纯化,分别沸水浴 30 min。

细胞壁物质的提取、分离和测定:细胞壁物质的提取参考 Huber^[14]方法,稍作改进。参照 Siddiqui 等^[15]方法进行细胞壁物质的分离。最后,残渣在二甲基亚砷浸泡 15 h。干物质即为细胞壁物质。按照 Siddiqui 等^[15]的方法进行分离。分离得到了水溶性果胶、离子结合果胶、共价结合果胶和半纤维素。不溶性物质烘干为纤维素。细胞壁物质的含量使用分光光度计测定。

1.6 果实中 MDA 和脯氨酸含量的测定

MDA 和脯氨酸含量按照曹建康等^[11]方法测定。MDA 使用三氯乙酸方法测定。脯氨酸含量采用酸性茚三酮法。用 2 g 果肉样品,甲苯为空白对照,然后用 485 nm 处用分光光度计检测。

1.7 果实 CAT、POD 和 SOD 活性测定

用 0.1 mol/L 磷酸钠缓冲液(pH=6.8)提取酶液,均浆在 12 000g 离心 20 min,上清液用于酶活性测定。整个提取过程在 4 °C 下进行。CAT 活性通过过氧化氢最初的反应速度来决定^[16]。过氧化氢的下降在 240 nm 处测定,活性通过消光系数来计算。POD 活性采用 MacAdam 的方法^[17]来测定。活性计算是通过消光系数。SOD 活性是按照 Paoletti 等^[18]的方法计算。

1.8 乙烯释放量的测定

将果实密封于一密闭容器中,2 h 后取容器上部气样 1 mL,用 AGILENT 6890N 气相色谱仪分析;FID 检测器,检测器温度 200 °C,柱温 40 °C,

Agilent 19091J-413 毛细柱。每次取 4~6 针气样分析。

1.9 数据分析

所有数据用 Excel 软件进行计算和作图,采用 Tukey-Test 对试验数据进行差异显著性分析。每列数字后标上同一字母表示在 0.05 水平上无显著差异。

2 结果

2.1 果实发育过程中萼片叶绿素含量的变化

萼片的叶绿素成分中叶绿素 a 的含量最高,其次是叶绿素 b,类胡萝卜素含量最低。萼片的叶绿素含量和类胡萝卜素含量均随着果实的发育逐渐增加,在花后 20~30 d 达到最大值,然后随着果实的成熟而逐渐降低。与花后 10 d 的萼片相比,花后 30 d 和 20 d 的萼片中叶绿素 a 和 b 含量均提高了 45%,类胡萝卜素含量提高了 52%(图 1)。

萼片在花未开放时起到保护花芽的作用。萼片的数量和大小对于果实是否能够正常发育有影响^[19]。在幼果时期中寄存萼起到保护幼果的作用。而随着番茄果实的发育,萼片逐渐变得更大、更绿,并且叶绿素和类胡萝卜素的含量在绿熟阶段达到峰值(开花后 30 d,图 1)。萼片中的叶绿素和类胡萝卜素含量分别是相同时期叶片的 80.7%和 83.7%。

先前的试验报道了植物的绿色部分可以进行光合作用,包括萼片^[20]。番茄果实中的萼片含有光合作用所必须的叶绿素 a,以及辅助色素叶绿素 b 和

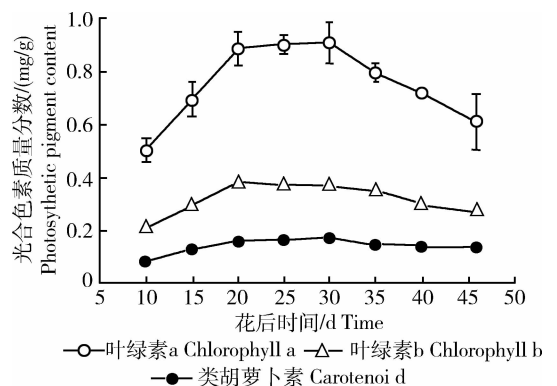


图 1 果实发育过程中叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量的变化

Fig. 1 Changes in chlorophylla, chlorophyllb and carotenoid content of calyx during fruit development

类胡萝卜素(图1)。同样,萼片还含有光合作用产物糖和淀粉^[21]。

2.2 去除萼片对番茄果实物理特性的影响

在果实发育的前期去除萼片会使果实重量降低($P \leq 0.05$ 表1),且在果实发育后期去除萼片对果实的影响较小,这可能是因为在果实组织中,萼片作为源将光合作用产物运送到果实,能够在果实成熟

过程中起一定的促进作用,果实发育后期萼片中的叶绿素和类胡萝卜素含量降低,对果实的促进作用减少。去除萼片,果实生长受到一定抑制,这与 Kitagawa 等^[22]研究结果一致。处理组果实均能达到成熟,其硬度和果形指数没有明显差异,说明萼片对果实最终成熟时的硬度和果形指数影响不显著。

表1 处理果实与对照果实的物理特性比较

Table 1 Comparison of the physical characteristics between treated and control fruits

去除萼片的时间(花后)/d Time of removal calyx	果实成熟天数/d Fruit ripening days	果实重量/g Fruit weight	果实硬度/(kg/cm ²) Fruit firmness	果形指数/% Fruit shape index
CK	45.0 a	221.4 a	1.00 a	0.85 a
10	48.6 b	178.9 c	0.86 a	0.83 a
15	47.8 bc	174.8 c	1.04 a	0.88 a
20	48.4 b	197.8 bc	1.05 a	0.85 a
25	47.6 bc	176.6 c	1.04 a	0.86 a
30	47.4 bc	183.2 bc	1.01 a	0.85 a
35	47.2 bc	196.2 bc	1.04 a	0.89 a
40	46.8 c	203.9 ab	1.07 a	0.84 a

注:同一列数值后的不同小写字母表示处理间在 $P \leq 0.05$ 水平差异显著。下表同。

Note: Values of followed by different letters within same column are significantly different at the 0.05 probability level. The same as blow.

2.3 去除萼片对番茄营养品质的影响

处理组果实中的糖酸比含量降低(表2)。这可能是因为果实去除萼片以后,缺少了萼片向果实输送葡萄糖、果糖和蔗糖等糖类,降低了果实中的可溶

性糖类,间接影响了果实的糖酸比。与果实成熟时间、果重的变化规律类似,在果实发育后期去除萼片对果实影响较小。

抗坏血酸,是番茄果实的重要品质,且具有氧化

表2 处理果实与对照果实的营养品质比较

Table 2 Comparison of the nutritional quality in pulp between treated and control fruits

去除萼片的时间(花后)/d Time of removal calyx	可溶性固形物/ ^o Brix Soluble solids	糖酸比 SSC/TA	抗坏血酸/(mg/100 g) Vc	番茄红素/(mg/100 g) Lycopene	类黄酮/(mg/g) Flavonoid
CK	4.89 a	6.78 a	13.05 a	6.91 a	0.172 a
10	5.32 a	5.81 b	10.00 b	7.12 a	0.145 b
15	4.68 a	5.92 b	10.07 b	7.22 a	0.135 b
20	4.96 a	5.69 b	10.52 b	6.50 a	0.141 b
25	4.78 a	5.40 b	10.33 b	6.44 a	0.139 b
30	4.73 a	4.13 c	11.88 ab	6.61 a	0.143 b
35	4.63 a	6.64 a	11.78 ab	8.14 a	0.146 b
40	5.07 a	6.54 a	12.12 ab	7.70 a	0.165 a

还原作用,与植物的抗性相关^[23]。处理组果实中的 Vc 含量均比对照果实要低(表 2),果实发育后期去除萼片对抗坏血酸影响较小,抗坏血酸是由 D-葡萄糖合成^[24],处理组果实中可溶性糖含量降低,可能造成抗坏血酸的合成减少。处理组果实中番茄红素的量与对照没有显著差异(表 2),这表明去除萼片与番茄红素含量无关。

处理组果实中的类黄酮含量降低(表 2)。类黄酮是多酚的一种,类黄酮的合成受到外界环境因子的影响,光照、温度、营养等因子均影响茶树中的酚类物质的合成^[25]。本试验中去除萼片对类黄酮含量的影响机制有待于进一步研究。

2.4 去除萼片对番茄果实细胞壁物质含量的影响

处理组果实的细胞壁物质含量与对照没有达到显著差异。但是,处理组果实中的水溶性果胶含量、共价结合果胶含量与总果胶含量均比对照果实要低;半纤维素和纤维素含量在对照和处理组之间相

差无几,且没有明显规律。在处理组中,花后 40 d 去除萼片的果实中水溶性果胶与总果胶含量最高,并与对照果实相差很少(表 3)。

细胞壁结构和成分的改变是引起果实质地变化的主要原因^[26]。处理组果实中的水溶性果胶和共价结合果胶含量减少,其他成分没有明显差异(表 3);水溶性果胶与果实的软化程度相关,共价结合果胶与果实的耐贮性相关^[27]。由此可知去除萼片降低了果实的成熟度及耐贮性。

综上所述可以看出,去除萼片以后对果实的物理特性和品质都有影响,且在果实发育后期去除萼片对果实的影响较小,果实发育后期萼片中的叶绿素和类胡萝卜素减少,推测上述两者之间可能存在着一定的联系。果实采摘后,保持完整的萼片形状和鲜艳的绿色不仅能提高番茄的品质,还在很大程度上影响它的附加值。萼片已经成为评定番茄果实品质的一项指标。

表 3 处理果实与对照果实的细胞壁物质含量比较

Table 3 Comparison of cell wall material content in pulp between treated and control fruits

去除萼片的时间 (花后天数)/d Time of removal calyx	水溶性果胶/ (mg/g) WSP	ICP/ (mg/g)	共价结合果胶/ (mg/g) CBP	半纤维素/ (mg/g) Hemicellulose	纤维素/ (mg/g) Cellulose	总果胶/ (mg/g) Total pectin
CK	0.605 a	0.573 a	0.413 a	0.071 a	12.13 a	1.591 a
10	0.474 c	0.562 a	0.312 bc	0.069 a	12.63 a	1.348 a
15	0.482 c	0.667 a	0.311 bc	0.074 a	16.83 a	1.460 a
20	0.514 bc	0.618 a	0.327 bc	0.070 a	15.02 a	1.459 a
25	0.558 abc	0.572 a	0.275 c	0.072 a	9.50 a	1.405 a
30	0.541 abc	0.602 a	0.321 bc	0.074 a	11.10 a	1.463 a
35	0.535 abc	0.548 a	0.263 c	0.057 a	10.09 a	1.345 a
40	0.588 ab	0.659 a	0.349 b	0.080 a	13.76 a	1.596 a

2.5 处理果实与对照果实的抗逆境能力相关指标比较

去除萼片以后,果实中的脯氨酸含量降低,尤其是早期去除萼片的果实,下降明显(图 2)。脯氨酸作为细胞质渗透调节物质,与膜透性之间存在着显著的正相关^[28]。这说明去除萼片以后降低了果实的抗逆性。然而,去除萼片以后,果实中膜脂过氧化的最终产物丙二醛(MDA)含量与对照没有差异(图 2)。

2.6 去除萼片对果实抗氧化活性的影响

处理组果实和对照中的这 3 种抗氧化酶活性的

差异没有达到显著水平,但是从分析 CAT 活性可以看出,除花后 20 d 去除萼片的果实外,处理组果实比对照均低。分析 POD 活性可以看出,处理组果实均比对照高,处理组果实中的最高值比对照高了 0.46 U(1 U=16.67 n kat)。果实中的 SOD 活性没有表现出明显的规律性(表 4)。

去除萼片后,果实 CAT 活性减弱,POD 活性增强,但都没有达到显著差异。然而,SOD 活性与对照果实没有差异(表 4)。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)是植物体内

抗氧化防御系统的相关酶。SOD能催化体内的歧化反应,使超氧自由基转化为 H_2O_2 和 O_2 , H_2O_2 再通过CAT和POD分解成没有毒害的 H_2O 和 O_2 ,

从而使需氧生物体免受伤害^[29]。CAT和SOD活性的差异可能是因为去除萼片对果实造成了一定程度的伤害,但是此伤害在果实的自我调节范围内。

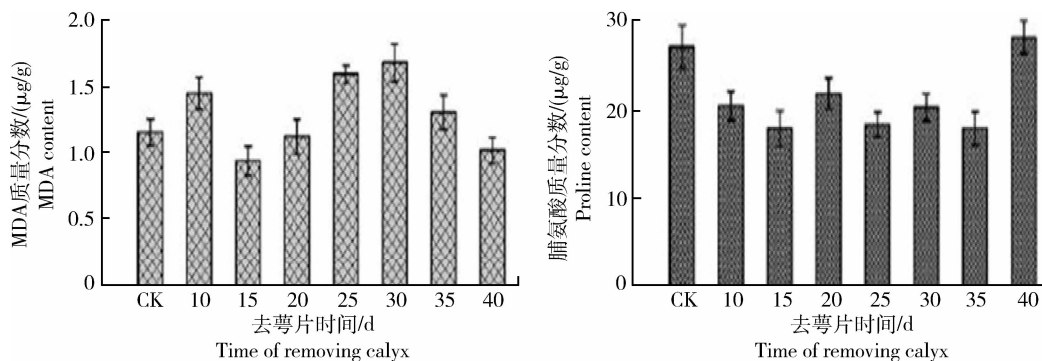


图2 处理果实与对照果实中MDA和脯氨酸含量比较

Fig. 2 Comparison of MDA and proline content of pulp between treated and control fruits

表4 处理果实与对照果实的抗氧化活性比较

Table 4 Comparison of antioxidant activity in pulp between treated and control fruits

去除萼片的时间 (花后时间)/d Time of removal calyx	过氧化氢酶(0.01△OD ₂₄₀)/ (U/(min·g)) CAT	超氧化物歧化酶/ (U/(min·g)) SOD	过氧化物酶(△OD ₄₇₀)/ (U/(min·g)) POD
CK	13.46 a	0.786 a	1.75 a
10	11.52 a	0.746 a	1.96 a
15	10.93 a	0.800 a	2.06 a
20	14.30 a	0.768 a	1.93 a
25	10.52 a	0.794 a	2.17 a
30	12.66 a	0.816 a	2.04 a
35	10.97 a	0.805 a	2.12 a
40	11.25 a	0.797 a	2.01 a

2.7 去除萼片对采后果实的乙烯释放量的影响

采后放置的果实大部分是在转色后2~3d出现乙烯高峰,但是在花后25和30d采摘的果实中,去除萼片以后果实的乙烯产量与对照相比减少了一半。而在花后35d以后,去除萼片对果实乙烯的产生没有显著影响(表5)。

从果实采摘后转色所需时间来看,花后35d采摘的果实去除萼片以后没有明显影响。

结果显示,萼片对果实乙烯的产生有一定影响,而且这个影响依赖于果实的发育阶段。

果实转色以后采摘,去除萼片的果实中产生的乙烯比对照要高(表5)。转色及成熟时,果实本身已具备产生乙烯的条件,去除萼片的情况下,加剧失水,使去萼片果实产生的乙烯较多。在早期采摘的果实产生的乙烯要比成熟期采摘的果实产生的乙烯量多,这与贾惠娟等^[30]研究结果一致。前期采摘的果实去除萼片以后产生的乙烯量少,乙烯与果实的成熟有相当大的联系,这与果实在植株上生长时在早期去除萼片,果实成熟延迟相一致。

表5 采后果实的乙烯释放量
Table 5 Release of ethylene after fruit picking

时期 Time of fruit	转色所需时间/d Days required for turning	乙烯峰出现时间/d Time of ethylene peak	乙烯含量(FW)(ng/(g·h)) Ethylene content	
花后 25 d	对照 CK	12	转色后, 2	32.46
	去萼 Remove	10	转色后, 2	15.06
花后 30 d	对照 CK	10	转色后, 2	24.09
	去萼 Remove	9	转色后, 2	8.05
花后 35 d	对照 CK	9	转色后, 3	11.11
	去萼 Remove	9	转色后, 4	13.93
转色	对照 CK		转色后, 2	7.23
	去萼 Remove		转色后, 4	8.71
成熟	对照 CK		采后, 1	9.35
	去萼 Remove		采后, 0	10.55

3 结 论

萼片在一定程度上影响了番茄果实的成熟及品质特性。在果实发育早期去除萼片对果实品质的影响比晚期去除萼片的影响要大。

本试验只对萼片影响番茄果实的生物效应做了一些初步探讨。但是今后还应进一步研究萼片对番茄果实发育及其品质形成影响的调节机制。

参 考 文 献

- [1] Warnock S J. Developmental gene regulation during tomato fruit ripening[J]. Hort Science, 1983, 23(4): 669-673
- [2] 刘仲齐, 薛俊, 张要武. 番茄分子连锁图谱的发展和分子标记辅助育种[J]. 天津农业科学, 2004, 10(1): 37-40
- [3] Steven K, Clinton M D. Lycopene: Chemistry, biology and implications for human health and disease [J]. Nutrition Reviews, 1998, 56(2): 35-51
- [4] Glenn E B, Betty K I. Developmental gene regulation during tomato fruit ripening and in-vitro sepal morphogenesis[J]. BMC Plant Biology, 2003, 3: 4
- [5] 衡伟, 陈捷, 叶振风, 等. 砀山酥梨幼果花萼发育及其调控技术研究[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(2): 238-243
- [6] Keizo Y, Ken H, Akira S. Growth inhibition of persimmon fruit caused by calyx lobe removal and possible involvement of endogenous hormones[J]. Scientia Horticulturae, 1995, 61(1): 37-45
- [7] 齐红岩, 李天来, 刘海涛, 等. 番茄不同部位中糖含量和相关酶活性的研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(2): 239-243

- [8] Ishida B K, Jenkins S M, Say B. Induction of AGAMOUS gene expression plays a key role in ripening of tomato sepals in vitro [J]. Plant Molecular Biology, 1998, 36(5): 733-739
- [9] Vrebalov J, Ruezinsky D, Padmanabhan V, et al. A MADS-Box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening-inhibitor (Rin) Locus[J]. Science, 2002, 296(5566): 243-246
- [10] 汪沛洪. 基础生物化学实验指导[M]. 西安: 陕西科技出版社, 1985
- [11] 曹健康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T14215—2008, 番茄酱罐头[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008
- [13] Xu Y Q, Zhang R, Fu H. Study on ultrasonic extraction of flavonoids from redraspberry and purification[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 4: 130-132
- [14] Huber D J. Polyuronide degradation and hemicellulose modification on ripening tomato fruit [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1983, 108(3): 405-409
- [15] Siddiqui S, Brackman A, Streif, et al. Controlled atmosphere storage of apples: Cell wall composition and fruit softening[J]. Journal of Horticultural Science, 1996, 71(4): 613-620
- [16] Kato M, Shimizu S. Chlorophyll metabolism in higher plants. VII. Chlorophyll degradation in senescencing tobacco leaves: phenolic-dependent peroxidative degradation [J]. Canadian Journal of Botany-revue Canadienne de Botanique, 1987, 65: 729-735
- [17] Mahan J R. Thermal dependence of glutathione reductase: Thermal limitations on antioxidant protection in plants[J]. Crop Science, 1994, 34(6): 1550-1556

- [18] Paoletti F, Aldinucci D, Mocali A, et al. A sensitive spectrophotometric method for the determination of superoxide dismutase activity in tissue extracts [J]. *Analytical Biochemistry*, 1986, 154(2): 536-541
- [19] Xu H, Li T L, Guo Y, et al. The relationship between the occurrence of malformed fruit and flower organs of tomato[J]. *Advance of Horticulture(II)*, 1998, 2: 398-402
- [20] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [21] 齐红岩, 李天来, 张洁, 等. 番茄果实发育过程中糖的变化与相关酶活性的关系[J]. *园艺学报*, 2006, 33(2): 294-299
- [22] Thomma B P, Peter van Esse H, Crous P W, et al. *Cladosporium fulvum* (syn. *Passalora fulva*), a highly specialized plant pathogen as a model for functional studies on plant pathogenic *Mycosphaerellaceae* [J]. *Molecular Plant Pathology*, 2005, 6(4): 379-393
- [23] Conklin P L, Williams E H, Last R L. Environmental stress sensitivity of an ascorbic acid deficient arabidopsis mutant[J]. *Proceedings of the National Academy of Science*, 1996, 93(18): 9970-9974
- [24] Wheeler G L, Jones M A, Smirnoff N. The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants[J]. *Nature*, 1998, 393(6683): 365-369
- [25] Bogs J, Downey M O, Harvey J S, et al. Proanthocyanidin synthesis and expression of genes encoding leucoanthocyanidin reductase and anthocyanidin reductase in developing grape berries and grapevine leaves[J]. *Plant Physiology*, 2005, 139(2): 652-663
- [26] Zhou H W, Sonogoi L, Ben A R. Analysis of cell wall components in juice of flavortop nectarines during normal ripening and woolliness[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1999, 124(4): 424-429
- [27] 魏建梅, 马锋旺. 苹果果实发育期间细胞壁组分变化特性[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(2): 314-319
- [28] 肖用森, 王正直, 郭绍川. 渗透胁迫下稻苗中游离脯氨酸累积与膜脂过氧化的关系[J]. *武汉植物研究*, 1996, 14(4): 334-340
- [29] Stewert R C, Bewley J D. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes[J]. *Plant Physiology*, 1980, 65(2): 245-248
- [30] 贾惠娟, 李斌, 水口京子, 等. 不同成熟采收期对清水白桃果实达到成熟时品质的[J]. *果树学报*, 2007, 24(3): 276-281
- [31] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000

责任编辑: 王燕华