

# 外源赤霉素对厚皮甜瓜坐果节位叶片早衰与内源激素含量的影响

李 田, 刘海河\*, 张彦萍, 陈倩云, 左彬彬

(河北农业大学园艺学院, 河北保定 071000)

**摘要:** 采用全株叶片喷施外源赤霉素 ( $GA_3$ ) 的方法, 以黄瓜品种‘迎春’为试材, 通过对黄瓜坐果节位叶片中的叶绿素、可溶性蛋白质、抗氧化酶活性、活性氧及内源激素含量等各项生理指标及果实品质指标进行测定, 探究  $GA_3$  对厚皮甜瓜坐果节位叶片早衰及内源激素含量变化的调控作用, 为延缓厚皮甜瓜坐果节位叶片早衰并提高其果实产量和品质提供理论依据。结果显示: 与对照相比, 叶面喷施 50、100 和 150 mg/L 的外源  $GA_3$  水溶液可不同程度地增加坐果节位叶片中的叶绿素和可溶性蛋白含量, 提高其抗氧化酶活性, 降低超氧阴离子产生速率, 减缓丙二醛含量的增长, 同时抑制脱落酸的增长, 提升生长素、赤霉素和玉米素核苷水平, 最终显著改善果实产量和品质。通过叶面喷施适宜浓度外源  $GA_3$ , 对厚皮甜瓜坐果节位叶片抗氧化酶系统和内源激素含量的调控产生积极影响, 从而延缓叶片早衰并提高果实产量和品质。在本试验条件下, 喷施 100 mg/L 的外源  $GA_3$  水溶液延缓早衰效果最佳, 且在各个时期能够使坐果叶片内脱落酸含量分别平均降低 19.22%, 玉米素核苷、生长素和内源赤霉素含量分别平均升高 14.60%、23.50% 和 56.13%。

**关键词:** 外源赤霉素; 厚皮甜瓜; 叶片坐果节位; 早衰; 内源激素; 赤霉素

中图分类号: S652.9 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2018)05-0618-07

## Effects of exogenous $GA_3$ on leaf senescence and endogenous hormones content of the leaves in muskmelon fruiting nodes

LI Tian, LIU Haihe\*, ZHANG Yanping, CHEN Qianyun, ZUO Binbin

(College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei Province, China)

**Abstract:** In this study, the effects of exogenous  $GA_3$  on leaf senescence and endogenous hormones content of the leaves in muskmelon fruiting nodes were investigated. Muskmelon cultivar ‘Yingchun( $F_1$ )’ was used as the model and it was treated with exogenous  $GA_3$  solutions of different concentrations. The results of this study could provide a solution for delaying the premature senescence phenomenon and improving the yield and quality of fruit. The physiological indexes, including the concentration of chlorophyll and soluble protein, antioxidant enzyme activity, active oxygen, endogenous hormone content and fruit quality were determined in this work. Compared with the

收稿日期: 2018-03-16; 录用日期: 2018-07-31.

基金项目: 河北省自然科学基金项目 (C2016204135); 河北省科技厅科技计划项目 (16236901D-4); 河北省高等学校科学技术研究项目 (ZD2016133); 国家西甜瓜产业技术体系建设专项资金 (CARS-26-25).

作者简介: 李田, 女, 硕士研究生, E-mail: 1074284454@qq.com; \*刘海河, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 博士, 教授, 主要从事蔬菜栽培生理研究, E-mail: yylhh@hebau.edu.cn

control, the concentrations of chlorophyll and soluble protein of the leaves in fruiting nodes were increased, and the activities of antioxidant enzymes were enhanced. While the rate of superoxide anion production was reduced, and the growth of MDA content was depressed at different levels by treating with exogenous GA<sub>3</sub> solutions of different concentrations (50, 100, 150 mg/L). Meanwhile, the growth of abscisic acid was also inhibited, the concentrations of auxin, gibberellin and zeaxanthin were increased, and the fruit yield and quality were improved. Treating with GA<sub>3</sub> of suitable concentration on leaf surfaces has a positive effect on the regulation of antioxidant enzyme system and endogenous hormone content of the leaves in muskmelon fruiting nodes. Therefore, it can be used to postpone the senescence of leaves in the fruiting nodes and improve the qualities of the fruits. Under the conditions used in this study, 100 mg/L exogenous GA<sub>3</sub> solution was the most effective for delaying premature senescence. And it could decrease the content of abscisic acid in fruit-setting leaves by 19.22% on average, while the contents of zeatin nucleoside, auxin and endogenous gibberellin was increased by 14.60%, 23.50% and 56.13% on average, respectively.

**Keywords:** exogenous GA<sub>3</sub>; muskmelon; leaves of fruiting-node; senescence; endogenous hormones; GA<sub>3</sub>

厚皮甜瓜因果实硕大、肉质鲜嫩多汁和营养丰富等优点而广受消费者欢迎。为满足市场需求,厚皮甜瓜的种植逐渐发展为早春和秋延后一年两茬栽培<sup>[1]</sup>,种植面积和规模也不断扩大,但在生产中普遍存在坐果节位叶片早衰现象严重问题,即在果实膨大期,坐果节位叶片逐渐褪绿黄化,叶片功能期缩短,最终对厚皮甜瓜果实的产量和品质产生不利影响<sup>[2-4]</sup>。赤霉素可以促进植物茎和叶柄的延长、叶片扩大和侧枝伸长、坐果及果实生长,延缓其成熟和衰老<sup>[5]</sup>。有研究表明,喷施赤霉素可显著延缓植物叶片早衰,提高叶片中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)的活性,降低丙二醛的积累<sup>[6-7]</sup>;叶面喷施赤霉素可以提高植株叶片叶绿素和蛋白质含量,增强其光合作用<sup>[8]</sup>,从而防止早衰发生;施用外源赤霉素可以提高毛竹生长素(IAA)、赤霉素(GA<sub>3</sub>)和玉米素核苷(ZR)含量,降低脱落酸(ABA)含量<sup>[9]</sup>。因此,研究外源赤霉素对厚皮甜瓜坐果节位叶片早衰的调控作用对厚皮甜瓜的生产具有重要的理论价值和实践意义,为此笔者在已有30余年栽培历史的甜瓜种植基地,对厚皮甜瓜进行2年共4茬的田间试验,探索喷施外源GA<sub>3</sub>对坐果节位叶片早衰及内源激素含量的影响,以期在实际生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于2016年3月至2017年9月分别在河

北省保定市清苑区张登镇张登屯甜瓜种植基地的2块试验田进行。试验基地土壤耕层均为沙壤土,定植前施足基肥,土壤有机质含量为14.50 g/kg,含全氮1.20 g/kg、全磷1.00 g/kg和全钾20.53 g/kg,碱解氮50.01 mg/kg、速效磷39.99 mg/kg和速效钾138.91 mg/kg。供试药剂为分析纯赤霉素(GA<sub>3</sub>),由天津市天力化学试剂有限公司提供。

供试厚皮甜瓜为当地主栽品种‘迎春’,由河北农业大学甜瓜栽培及生理研究实验室提供。定植株行距为0.35 m × 1 m,定植后适时浇水追肥,水肥管理精细,且整个生长发育过程中均未发生病虫害。植株采用单干整枝,吊蔓栽培,每株只在第12和13片叶间节位的侧蔓留1瓜(每株只留1瓜,不考虑赤霉素对雌花授粉及坐果率的影响),第25片叶打顶。

### 1.2 试验方法

田间试验采用单因素随机区组试验设计,共设4个处理:于自留瓜雌花开放当天喷施50、100和150 mg/L的GA<sub>3</sub>水溶液,依次用G50、G100、G150表示,以喷等量清水为对照,用CK表示。药液喷至全株叶面均有液珠但不滴下为止。每隔7 d喷施1次,共喷施3次。每个处理重复3次,每个重复定植15株。

### 1.3 测定指标及方法

自侧蔓留瓜雌花开花当天,至授粉后第42天果实采收为止,每隔7 d测定1次坐果节位叶片的相关指标。每次取样时,每处理均随机取3株厚皮甜瓜植株坐果节位叶片,用去离子水洗净擦

干, 待测。

叶绿素含量采用  $V$ (乙醇):  $V$ (80% 丙酮) = 1:1 混合溶液在黑暗条件下浸提后用比色法测定<sup>[10]</sup>; 蛋白质含量、丙二醛 (MDA) 含量、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性均参照李合生的方法<sup>[11]</sup>测定; 超氧阴离子产生速率参照李玲的方法<sup>[12]</sup>测定; 叶片内源激素含量采用酶联免疫分析法 (ELISA)<sup>[13]</sup>测定。

每处理随机取 15 个成熟果实, 分别测定单果质量和各品质指标。可溶性固形物含量采用便携式数字测糖仪测定, 可溶性糖、Vc 和可滴定酸含量参照李合生的方法<sup>[11]</sup>测定。

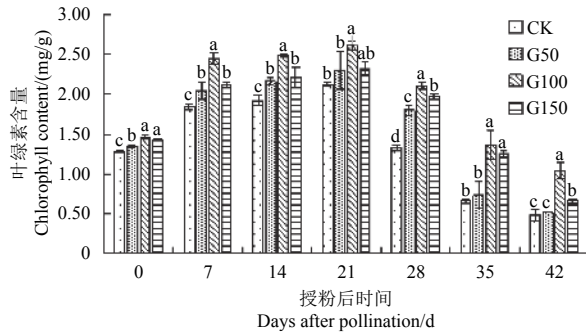
#### 1.4 数据处理与分析方法

数据采用 DPS7.05 软件进行单因素方差分析, Excel2007 绘图。数据显著性差异运用 Duncan's 新复极差法进行多重比较分析, 不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 外源赤霉素对厚皮甜瓜坐果节位叶片叶绿素含量的影响

由图 1 可知: 厚皮甜瓜叶片中叶绿素含量呈现先升高后降低的趋势, 并在施药后 21 d 达到峰值且显著高于对照, 其中以 G100 处理效果最好, 比对照高 14.25%~117.69%。表明喷施适宜浓度的外源  $GA_3$  可以显著降低叶绿素降解速率, 从而延缓叶片早衰。



CK: 清水, G50: 赤霉素 50 mg/L, G100: 赤霉素 100 mg/L, G150: 赤霉素 150 mg/L; 柱上不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。

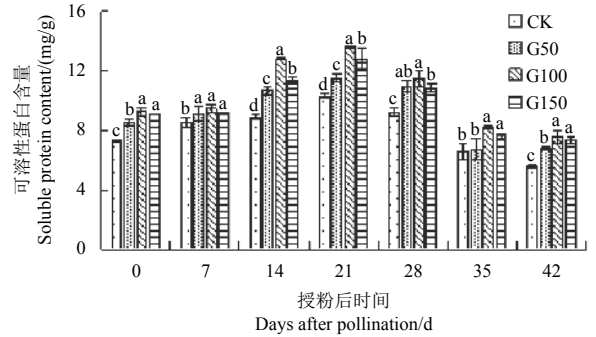
CK, G50, G100 and G150 represented water control,  $GA_3$  50 mg/L,  $GA_3$  100 mg/L and  $GA_3$  150 mg/L, respectively. The different lowercase letters are significant differences at 0.05 level.

图 1 外源赤霉素对厚皮甜瓜坐果节位叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of exogenous  $GA_3$  on the chlorophyll content in the leaves in fruiting nodes

### 2.2 外源赤霉素对厚皮甜瓜坐果节位叶片可溶性蛋白含量的影响

由图 2 可知: 厚皮甜瓜叶片中可溶性蛋白含量亦呈先升高后降低的趋势, 并在施药后 21 d 达到峰值, 其中, G100 和 G150 处理均显著高于对照和 G50 组 ( $P < 0.05$ ), 分别比对照高 11.31%~44.06% 和 7.39%~30.68%。表明叶面喷施适宜浓度外源  $GA_3$  可显著提高叶片可溶性蛋白含量。



CK: 清水, G50: 赤霉素 50 mg/L, G100: 赤霉素 100 mg/L, G150: 赤霉素 150 mg/L; 柱上不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。

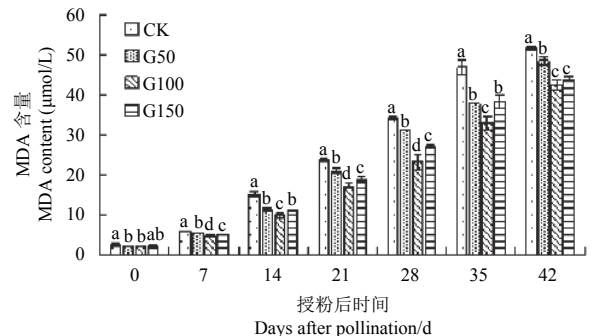
CK, G50, G100 and G150 represented water control,  $GA_3$  50 mg/L,  $GA_3$  100 mg/L and  $GA_3$  150 mg/L, respectively. The different lowercase letters are significant differences at 0.05 level.

图 2 外源赤霉素对坐果节位叶片可溶性蛋白含量的影响

Fig. 2 Effects of exogenous  $GA_3$  on the soluble protein content in the leaves in fruiting nodes

### 2.3 外源赤霉素对厚皮甜瓜坐果节位叶片 MDA 含量的影响

由图 3 可知: 厚皮甜瓜叶片中 MDA 含量呈现逐渐升高的趋势, 喷药后 0~14 d 增长缓慢, 之后急剧增长。授粉后 7~35 d, G100 组 MDA 含量



CK: 清水, G50: 赤霉素 50 mg/L, G100: 赤霉素 100 mg/L, G150: 赤霉素 150 mg/L; 柱上不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。

CK, G50, G100 and G150 represented water control,  $GA_3$  50 mg/L,  $GA_3$  100 mg/L and  $GA_3$  150 mg/L, respectively. The different lowercase letters are significant differences at 0.05 level.

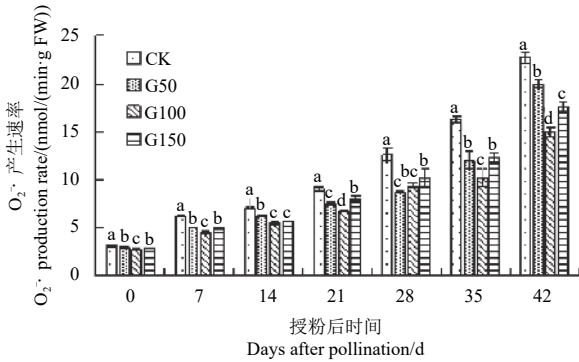
图 3 外源赤霉素对坐果节位叶片丙二醛含量的影响

Fig. 3 Effects of exogenous  $GA_3$  on the MDA content in the leaves in fruiting nodes

显著低于 G50 和 G150 处理组。从授粉到果实成熟的各个时期内, 各处理组 MDA 含量均显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ), 其中 G100 比对照组低 16.10%~34.41%。表明叶面喷施外源  $GA_3$  能够显著减缓 MDA 含量的增加。

## 2.4 外源赤霉素对厚皮甜瓜坐果节位叶片超氧阴离子产生速率的影响

由图 4 可知: 厚皮甜瓜叶片中超氧阴离子产生速率同样呈先缓慢升高后急剧增长的趋势, 且均显著低于对照组。各处理组按速率大小排序为  $CK > G50 > G150 > G100$ 。果实采收前 14 d G100 处理组显著低于 CK 及其他处理组 ( $P < 0.05$ )。各时期 G100 组超氧阴离子产生速率比对照低 11.70%~37.67%。由此表明, 叶面喷施外源  $GA_3$  可以显著降低超氧阴离子产生速率。



CK: 清水, G50: 赤霉素 50 mg/L, G100: 赤霉素 100 mg/L, G150: 赤霉素 150 mg/L; 柱上不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。

CK, G50, G100 and G150 represented water control,  $GA_3$  50 mg/L,  $GA_3$  100 mg/L and  $GA_3$  150 mg/L, respectively. The different lowercase letters are significant differences at 0.05 level.

## 图 4 外源赤霉素对坐果节位叶片超氧阴离子产生速率的影响

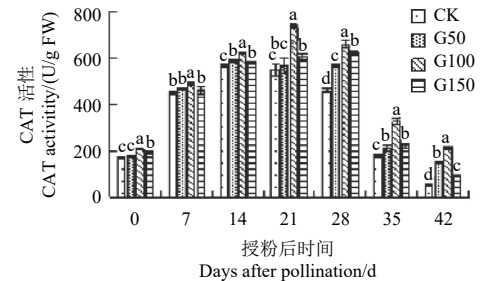
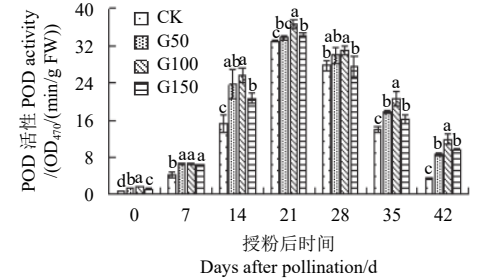
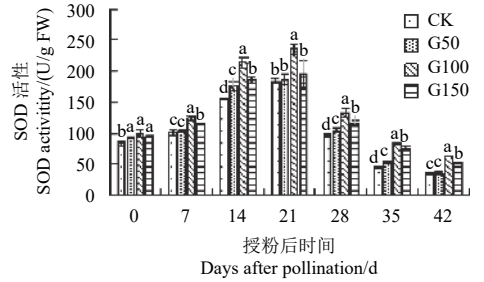
Fig. 4 Effects of exogenous  $GA_3$  on the  $O_2^{\cdot-}$  production rate in the leaves in fruiting nodes

## 2.5 外源赤霉素对厚皮甜瓜坐果节位叶片抗氧化酶活性的影响

由图 5 可知: 厚皮甜瓜叶片中 SOD、POD 和 CAT 的活性均呈现先升高后降低的趋势, 且在施药后 21 d 达到峰值。在各个时期, 施药虽均可提高 3 种酶活性, 但仅 G100 处理显著高于对照 ( $P < 0.05$ ), 表明喷施适宜浓度外源  $GA_3$  可以提高叶片抗氧化酶活性。

## 2.6 外源赤霉素对厚皮甜瓜坐果节位叶片内源激素含量的影响

ABA 对叶片衰老有促进作用。由图 6-A 可知:



CK: 清水, G50: 赤霉素 50 mg/L, G100: 赤霉素 100 mg/L, G150: 赤霉素 150 mg/L; 柱上不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。

CK, G50, G100 and G150 represented water control,  $GA_3$  50 mg/L,  $GA_3$  100 mg/L and  $GA_3$  150 mg/L, respectively. The different lowercase letters show significant differences at 0.05 level.

## 图 5 外源赤霉素对坐果节位叶片 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

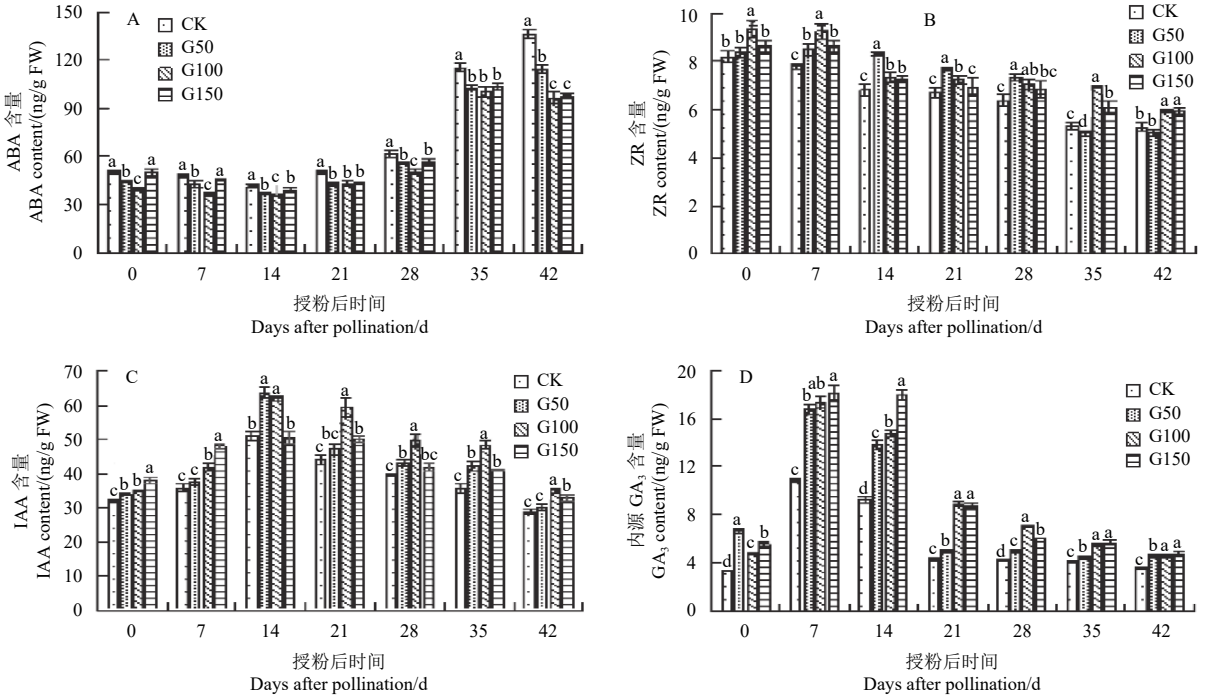
Fig. 5 Effects of exogenous  $GA_3$  on SOD, POD and CAT activities in the leaves in fruiting nodes

随着坐果节位叶片衰老, ABA 含量先缓慢升高后急剧增加, 尤其在果实成熟期, ABA 含量达到峰值。整个果实生长过程中, 喷施外源  $GA_3$  可以显著延缓坐果节位叶片 ABA 含量的增加, 各处理组均显著低于对照 ( $P < 0.05$ ), 分别比对照低 9.03%~16.20%、12.91%~29.19% 和 3.92%~28.29%。

由图 6-B 可知: 随着植株生长, 坐果节位叶片中 ZR 含量呈逐渐降低的趋势, 喷施外源  $GA_3$  可以提高 ZR 含量, 在施药后 35~42 d, G100 和 G150 处理组含量显著高于对照和 G50 处理组 ( $P < 0.05$ )。各个时期, G50、G100、G150 处理组分别比对照高 2.47%~22.13%、8.54%~30.87% 和 3.77%~15.05%。

由图 6-C 可知: 喷施外源  $GA_3$  后, 厚皮甜瓜坐果节位叶片中 IAA 含量呈现先升高后下降的趋





CK: 清水, G50: 赤霉素 50 mg/L, G100: 赤霉素 100 mg/L, G150: 赤霉素 150 mg/L; 柱上不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。CK, G50, G100 and G150 represented water control, GA<sub>3</sub> 50 mg/L, GA<sub>3</sub> 100 mg/L and GA<sub>3</sub> 150 mg/L, respectively. The different lowercase letters show significant differences at 0.05 level.

图 6 外源赤霉素对坐果节位叶片内源激素含量的影响

Fig. 6 Effects of exogenous GA<sub>3</sub> on the endogenous hormones content in the leaves in fruiting nodes

势, 在第 14 天左右达到峰值。施药后 21~35 d, 各处理组 IAA 含量均显著高于对照。各个时期, G100 处理组的叶片 IAA 含量始终显著高于对照 ( $P < 0.05$ ), 且比对照高 9.27%~35.25%。

由图 6-D 可知: 自授粉至果实采收, 坐果节位叶片中内源 GA<sub>3</sub> 含量呈先升高后降低的趋势, 在第 7 天达到峰值, 且各处理均显著高于对照。其中施药后 21~42 d, G100 和 G150 处理组 GA<sub>3</sub> 含量显著高于对照和 G50 处理组 ( $P < 0.05$ ), 且分别比对照高 27.65%~105.23%、31.91%~102.39%。

## 2.7 外源赤霉素对厚皮甜瓜果实产量及品质的影响

由表 1 可知: 叶面喷施外源 GA<sub>3</sub> 后, 厚皮甜瓜果实与对照相比在产量与品质上有所差异。各处理组的果实单果质量和可溶性固形物含量均显著高于对照, G100 和 G150 处理组中可溶性糖及 Vc 含量显著提高, 可滴定酸含量显著降低。综上所述, G100 处理显著提高果实单果质量、可溶性固形物、可溶性糖和 Vc 含量, 并显著降低可滴定酸含量 ( $P < 0.05$ )。由此表明喷施外源 GA<sub>3</sub> 可以提高单果质量并改善果实品质, 且以 G100 处理效果最佳。

表 1 外源赤霉素对厚皮甜瓜果实产量和品质的影响

Table 1 Effects of exogenous GA<sub>3</sub> on fruit yield and quality

处理 Treatment	单果质量 Fruit mass/kg	可溶性固形物含量 Soluble solid/%	可溶性糖含量 Soluble sugar/(mg/g FW)	可滴定酸含量 Titratable acid/%	维生素 C 含量 Vc/(mg/g FW)
CK	1.97 ± 0.08 b	13.40 ± 0.89 c	15.48 ± 1.74 c	0.40 ± 0.00 a	8.45 ± 0.23 b
G50	2.14 ± 0.05 a	14.47 ± 0.25 b	16.97 ± 2.26 bc	0.39 ± 0.05 ab	9.45 ± 0.31 b
G100	2.22 ± 0.04 a	15.67 ± 0.32 a	21.50 ± 0.60 a	0.31 ± 0.04 c	12.99 ± 0.61 a
G150	2.17 ± 0.04 a	15.23 ± 0.06 ab	18.60 ± 0.11 b	0.34 ± 0.00 bc	12.05 ± 0.83 a

注: 表中不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。

Note: The different lowercase letters mean significant differences at 0.05 level.

## 3 讨论与结论

叶片衰老最直观的表现就是伴随着叶绿素的

不断降解, 叶片逐渐失绿, 因此叶绿素含量及其降解速率在一定程度上反映了叶片衰老的程度<sup>[14]</sup>。

厚皮甜瓜自雌花授粉坐果至果实采收, 除坐果节位叶片“未老先衰”外, 植株其他部位叶片未出现明显衰老现象, 表明坐果节位叶片内部发生了复杂的高度被调控的变化。

研究表明, 喷施赤霉素可以使叶绿素合成加快, 叶绿体数量增加, 从而增加叶绿素含量, 最终增强光合作用, 延缓早衰<sup>[15]</sup>。本研究中叶面喷施不同浓度外源 GA<sub>3</sub> 可不同程度地提高坐果节位叶片叶绿素含量, 减慢叶绿素降解速率, 对推迟早衰有一定的积极作用。

前人研究表明, 赤霉素可以减慢叶片中可溶性蛋白水解成游离氨基酸的过程, 抑制叶片蛋白质降解, 同时还可以促进叶片蛋白质的合成, 这种作用可能是由于它在一定程度上增强了翻译水平, 产生大量 I 淀粉酶的缘故<sup>[16]</sup>。本研究中喷施不同浓度的外源 GA<sub>3</sub> 可不同程度地提高叶片可溶性蛋白含量, 进而延缓衰老, 这一研究结果与前人关于冬枣叶片的研究结果类似<sup>[17]</sup>。

研究表明, 叶片衰老程度与活性氧增长呈正相关, 叶片内活性氧的积累与自由基代谢失调引发并加剧膜脂质过氧化产生 MDA, 使细胞的结构和功能遭到损害。随着叶片衰老, 植物叶片内能够降低活性氧伤害的 SOD、POD 和 CAT 活性逐渐下降, 同时超氧阴离子等活性氧产生速率和 MDA 含量逐渐上升<sup>[18]</sup>。赤霉素可通过提高 SOD、POD 和 CAT 的活性, 促进细胞对活性氧的清除, 减轻自由基对细胞的损害, 使生物大分子和生物膜受到保护, 延缓衰老<sup>[19]</sup>。本研究中, 喷施外源 GA<sub>3</sub> 可不同程度地提高上述 3 种酶的活性, 降低 MDA 含量及超氧阴离子产生速率。表明喷施外源 GA<sub>3</sub> 通过增强抗氧化酶活性清除叶片内过多的活性氧, 降低膜脂过氧化, 减少对膜透性的伤害, 从而延缓早衰。

在植物衰老过程中, IAA、GA<sub>3</sub> 和 ZR 含量减少, ABA 和乙烯含量增加, 各类激素的平衡及消长后综合效应调节着植物的衰老过程<sup>[3]</sup>。有研究认为, 多胺对自由基清除及稳定膜结构有一定作用, 其水平下降与叶片衰老有关, IAA 和 GA<sub>3</sub> 能促进多胺合成, 而 ABA 抑制多胺合成, 对衰老产生影响<sup>[20]</sup>。本研究中, 喷施 GA<sub>3</sub> 可以加快内源 IAA 和 ZR 的合成, 减缓其下降趋势, 也提高了内源 GA<sub>3</sub> 的含量, 但是促进了 GA<sub>3</sub> 合成还是外源 GA<sub>3</sub> 的吸收所致有待研究。内源激素的调控与

维持叶片功能, 增强活性氧清除剂间可能存在某种联系, 共同作用延缓早衰。

在本试验条件下, 喷施外源 GA<sub>3</sub> 后, 厚皮甜瓜果实的产量和品质得到显著改善, 可能是因为适宜浓度的 GA<sub>3</sub> 延缓坐果节位叶片的早衰, 延长叶片的功能期, 延长了向果实供应能量的时间, 促进碳水化合物的合成和积累。与前人关于金丝小枣<sup>[21]</sup>、油茶<sup>[22]</sup>和葡萄<sup>[23]</sup>的研究结果一致。

综上所述, 在厚皮甜瓜生长过程中, 叶面喷施适宜浓度外源 GA<sub>3</sub> 对坐果节位叶片抗氧化酶系统和内源激素含量的调控产生了明显的积极影响, 坐果节位的物质代谢得以改善, 延缓了其早衰, 同时显著提高果实产量, 优化品质。在本试验条件下, 以喷施 100 mg/L GA<sub>3</sub> 水溶液效果最佳。

## 参考文献 (Reference):

- [1] 李景锁, 雷冬侠. 清苑区塑料大棚厚皮甜瓜秋延后栽培技术[J]. 现代化农业, 2016(6): 26-28.  
LI J S, LEI D X. Cultivation techniques of muskmelon in Qingyuan area after autumn[J]. Moderniz Agric, 2016(6): 26-28.
- [2] 朱立保, 刘海河, 张彦萍, 等. 镁对厚皮甜瓜坐果节位叶片叶绿素荧光特性和活性氧清除系统的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1279-1285.  
ZHU L B, LIU H H, ZHANG Y P, et al. Effects of magnesium on chlorophyll fluorescence and active oxygen scavenging system of fruiting-node leaves of muskmelon[J]. J Plant Nutrit Fertil, 2015, 21(5): 1279-1285.
- [3] 张利云, 刘海河, 张彦萍, 等. 硝酸钙对厚皮甜瓜坐果节位叶片衰老及果实产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 490-495.  
ZHANG L Y, LIU H H, ZHANG Y P, et al. Effects of calcium nitrate on leaf senescence in fruiting nodes and yield and quality of fruits of muskmelon[J]. J Plant Nutrit Fertil, 2014, 20(2): 490-495.
- [4] 张利云, 刘海河, 张彦萍, 等. 钙对厚皮甜瓜坐果节位叶片衰老与抗氧化酶活性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2014, 37(1): 39-43.  
ZHANG L Y, LIU H H, ZHANG Y P, et al. Effects of calcium on the senescence and antioxidase activities of the fruiting node leaf in muskmelon[J]. J Hebei Agric Univ, 2014, 37(1): 39-43.
- [5] 徐践, 程玉琴. 园艺植物生物学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.  
XU J, CHENG Y Q. Horticultural plant biology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [6] 程建平, 赵锋, 游爱兵, 等. 赤霉素喷施量及时期对水稻穗层整齐度和产量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(6): 657-662.  
CHENG J P, ZHAO F, YOU A B, et al. Effects of spraying exogenous gibberellin (GA<sub>3</sub>) at heading stage on heading uniformity and yield of rice[J]. J Huazhong Agric Univ, 2011, 30(6): 657-662.
- [7] 曾富华, 罗泽民. 赤霉素对杂交水稻生育后期剑叶中活性氧清除剂

- 的影响[J]. *作物学报*, 1994, 20(3): 347-351.
- ZENG F H, LUO Z M. The effects of gibberellic acid ( $GA_3$ ) on the factors scavenging active oxygens in the flag leaves of hybrid rice during the later growth stages[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1994, 20(3): 347-351.
- [8] 褚孝莹, 李晶, 李馨园, 等. 开花期叶面喷施赤霉素对小黑麦旗叶光合及产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2011, 31(6): 1136-1140.
- CHU X Y, LI J, LI X Y, et al. Effect of spraying  $GA_3$  at anthesis stage on photosynthesis of flag leaf and yield of triticale[J]. *J Trit Crops*, 2011, 31(6): 1136-1140.
- [9] 江雪. 外源赤霉素对毛竹实生苗生长的影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2015.
- JIANG X. The effects of exogenous gibberellin on growth of Moso Bamboo seedling[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2015.
- [10] 朱立保, 刘海河, 张彦萍, 等. 芸苔素内酯对厚皮甜瓜坐果节叶片衰老及叶绿素荧光特性的影响[J]. *河北农业大学学报*, 2014, 37(4): 58-62.
- ZHU L B, LIU H H, ZHANG Y P, et al. Effects of brassinolide on the fruiting-node leaf senescence and characteristics of chlorophyll fluorescence in muskmelon[J]. *J Agric Univ Hebei*, 2014, 37(4): 58-62.
- [11] 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.
- LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [12] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- LI L. Experimental guidance of plant physiology module[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [13] 何钟佩. 农作物化学控制实验指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 60-68.
- HE Z P. Experimental guidance for chemical control of crops[M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993: 60-68.
- [14] 苗立祥, 张豫超, 杨肖芳, 等. 厚皮甜瓜植株衰老进程相关生理指标变化初探[J]. *浙江农业学报*, 2011, 23(5): 914-919.
- MIAO L X, ZHANG Y C, YANG X F, et al. Preliminary study on physiological indices related to natural senescence in muskmelon[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2011, 23(5): 914-919.
- [15] 王忠. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- WANG Z. Plant physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [16] 潘瑞炽, 董得愚. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1984.
- PAN R C, DONG D Y. Plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1984.
- [17] 曹柳青. 赤霉素对冬枣光合作用和内源激素的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2006.
- CAO L Q. Effect of  $GA_3$  on Photosynthesis and hormone in leaves of brumal Jujube (*Zizyphus Jujube* cv. Dongzao)[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2006.
- [18] 曾广伟, 林琪, 杜金哲, 等. 不同土壤水分条件下施磷量对小麦旗叶衰老及产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2010(2): 35-40.
- ZENG G W, LIN Q, DU J Z, et al. Effects of different soil water conditions and different phosphorus supplied on the flag leaf senescence and yield of wheat[J]. *Soil Fertil Sci China*, 2010(2): 35-40.
- [19] 虞慧芳, 曹家树, 武涛. 无蔓南瓜对外源 $GA_3$ 处理的生理反应[J]. *园艺学报*, 2006, 33(6): 1331-1334.
- YU H F, CAO J S, WU T. Physiological response of dwarf pumpkin on exogenous  $GA_3$  treatment[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33(6): 1331-1334.
- [20] 周玲, 魏小春, 郑群, 等. 脱落酸与赤霉素对瓜尔豆叶片光合作用及内源激素的影响[J]. *作物杂志*, 2010(1): 15-20.
- ZHOU L, WEI X C, ZHENG Q, et al. Effects of ABA and  $GA_3$  on guar photosynthetic characteristics and endogenous hormones[J]. *Crops*, 2010(1): 15-20.
- [21] 杜晓彧, 常海飞, 冯晓东. 不同浓度赤霉素对金丝小枣叶片生长和果实品质的影响[J]. *延安大学学报(自然科学版)*, 2014, 33(1): 50-53.
- DU X Y, CHANG H F, FENG X D. Effect of leaf growth and fruit quality of *Zizyphus jujube* cv. Jinsixiaozao at different concentration of  $GA_3$ [J]. *J Yan'an Univ: Nat Sci Ed*, 2014, 33(1): 50-53.
- [22] 温玥, 苏淑钗, 马履一, 等. 赤霉素处理对油茶花芽形成和果实品质的影响[J]. *浙江农林大学学报*, 2015, 32(6): 861-867.
- WEN Y, SU S C, MA L Y, et al. Effects of gibberellins on flower bud formation and fruit quality in *Camellia oleifera*[J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2015, 32(6): 861-867.
- [23] 林玲, 白先进, 张瑛, 等. 赤霉素对巨峰葡萄冬果花序拉长效果及果实品质的影响[J]. *南方农业学报*, 2017, 48(6): 1031-1035.
- LIN L, BAI X J, ZHANG Y, et al. Effects of gibberellin on inflorescence elongation and fruit quality of Kyoho winter fruit[J]. *J Southern Agric*, 2017, 48(6): 1031-1035.

(责任编辑: 曲来娥)