

# 根施 5-氨基乙酰丙酸对早春茬日光温室黄瓜生长、产量及品质的影响

董荣荣<sup>1</sup> 刘玉梅<sup>1,2</sup> 李树珍<sup>1</sup> 闫妍<sup>1</sup> 王君<sup>1</sup> 于贤昌<sup>1</sup> 贺超兴<sup>1</sup> 李衍素<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院 蔬菜花卉研究所,北京 100081;

2. 菏泽学院园林工程系,山东 菏泽 274000)

**摘要** 为研究根施 5-氨基乙酰丙酸(5-aminolevulinic acid, ALA)对早春茬日光温室黄瓜生长、产量和品质的影响,以黄瓜‘中农 26 号’为试验材料,采用根区滴灌方式,以 1、5 和 10 mg/(株·次)为处理,以滴灌等量清水为对照进行试验。结果表明:与对照相比,根施 1 mg/(株·次)显著提高黄瓜植株的株高、叶片数和根系活力;同时该浓度处理显著提高叶绿体色素含量、净光合速率和气孔导度,从而增加了黄瓜产量,单产比对照增加 9.33%,但对果实品质(可溶性糖、维生素 C、游离氨基酸和可溶性蛋白)无显著影响。在早春茬日光温室黄瓜生产过程中,根施 1 mg/(株·次)可促进黄瓜生长,提高黄瓜产量。

**关键词** 黄瓜;日光温室;5-氨基乙酰丙酸;生长;产量

中图分类号 S642.2

文章编号 1007-4333(2019)08-0041-07

文献标志码 A

## Effects of root application of 5-aminolevulinic acid on the growth, yield and quality of early spring cucumber in solar greenhouses

DONG Rongrong<sup>1</sup>, LIU Yumei<sup>1,2</sup>, LI Shuzhen<sup>1</sup>, YAN Yan<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>,  
YU Xianchang<sup>1</sup>, HE Chaoxing<sup>1</sup>, LI Yansu<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. Landscape Engineering Department, Heze University, Heze 274000, China)

**Abstract** To investigate the effects of root application of 5-aminolevulinic acid (ALA) on the growth, yield and quality of early spring cucumber in solar greenhouse, different concentrations of ALA, 0 (control), 1, 5 and 10 mg/plant · time were applied to cucumber ‘Zhongnong 26’ using drip irrigation technology. The results showed that root application of ALA significantly increased the plants height, leaf numbers and root activities compared with the control, and that treatment of 1 mg/plant · time displayed the best effects. Moreover, under 1 mg/plant · time ALA treatment, the photosynthetic pigments contents (chlorophyll a and b, carotenoid), net photosynthetic rate and stomatal conductance of cucumber plant were also increased significantly. However, its intercellular carbon dioxide concentration was highly decreased, which enhanced the photosynthesis and plants yield. The yield of per ha was increased by 9.33%. There was no significant effect on fruits quality (soluble sugar, vitamin C, free amino acid and soluble protein). In conclusion, root application of 1 mg/plant · time ALA could be used for early spring cucumber cultivation in solar greenhouse.

**Keywords** cucumber; solar greenhouse; 5-aminolevulinic acid; growth; yield

收稿日期: 2018-08-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0201006); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-25-C-01); 中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-IVFCAAS); 农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室项目联合资助

第一作者: 硕士研究生, E-mail: dongrongrong91@163.com

通讯作者: 李衍素, 副研究员, 主要从事设施蔬菜高产高效栽培生理与分子生物学方面研究, E-mail: liyansu@caas.cn

近年来,我国蔬菜栽培面积不断扩大,设施蔬菜栽培面积和产量所占比例逐年增加,2016年已达到391.5万 $\text{hm}^2$ ,约占蔬菜总产值的30.5%<sup>[1]</sup>。黄瓜(*Cucumis sativus* L.)属于喜温作物,是我国北方设施栽培的主要蔬菜之一。但冬春季节设施内长期存在亚适宜环境,降低黄瓜的叶绿素含量、抑制碳同化相关酶活性,导致光合作用受阻、生长延缓,影响了黄瓜的生长、产量和品质<sup>[2]</sup>。研发冬春季节适用的设施黄瓜生长轻简化调控技术是促进我国设施黄瓜可持续发展的重要研究方向之一。

5-氨基乙酰丙酸(5-aminolevulinic acid, ALA)又名 $\delta$ -氨基酮戊酸,是生物体合成叶绿素、血红素、维生素 $\text{B}_{12}$ 等四吡咯环色素必不可少的物质,作为卟啉衍生物生物合成的前体化合物在代谢中占有重要的地位。ALA无毒副作用、易降解无残留。适宜浓度的ALA处理可以促进水稻种子萌发、幼苗生长,提高抗氧化酶活性<sup>[3]</sup>。非生物逆境条件下,外源喷施适宜浓度的ALA可以提高植物抗性,促进植物生长。例如,低温胁迫下,0.5 mg/mL的ALA叶面喷施黄瓜幼苗叶片,可提高其光合效率,促进生长<sup>[4]</sup>;在弱光条件下,13.3~25 mg/L的ALA可提高菘蓝光合作用,提高其生物学产量<sup>[5]</sup>;干旱胁迫下,外源ALA可上调光合作用中卡尔文循环相关酶:果糖-1,6-二磷酸酶,丙糖-3-磷酸异构酶和核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶小亚基基因表达<sup>[6]</sup>,提高了油菜叶片叶绿素含量和内源ALA含量<sup>[7]</sup>;叶面施用ALA可缓解盐胁迫下匍匐剪股颖(*Agrostis stolonifera* L.)的膜脂过氧化,并提高净光合速率,从而增强植物耐盐性<sup>[8]</sup>;根施ALA可增强乳酸脱氢酶和醇脱氢酶活性,从而降低水渍胁迫对无花果的伤害作用<sup>[9]</sup>;过量合成ALA可增强转基因烟草株系ROS清除酶活性,使细胞免受氧化胁迫伤害<sup>[10]</sup>;高温条件下ALA预处理可以提高抗氧化酶活性和渗透调节物质含量,降低超氧阴离子和过氧化氢含量,从而缓解高温对黄瓜的伤害<sup>[11]</sup>。日光温室生产中,叶面喷施ALA会提高番茄、黄瓜的产量和改善果实品质<sup>[12]</sup>。已有多数研究主要考虑叶面喷施ALA促进植物生长和抗性提高。叶面喷施相对费时费工,且需考虑ALA见光易分解的缺点。而通过滴灌顺水冲施ALA就相对简单,节约劳动力,且不需考虑其见光易分解的特性,更符合现代设施蔬菜生产轻简化、省力化的要求。

本试验使用滴灌,通过根区灌溉不同量的

ALA,研究其对日光温室早春茬黄瓜生长、产量和品质的影响,旨在为结合水肥一体化外源应用ALA提高日光温室冬春茬黄瓜产量提供理论依据和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试黄瓜品种为‘中农26号’,由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供。ALA购自西安天丰生物科技有限公司。

### 1.2 试验设计

于2017年1—8月在中国农业科学院南口中试基地日光温室进行。1月11日选取饱满和大小一致的黄瓜种子催芽,1月13日播种,育苗基质为草炭+蛭石(草炭:蛭石=2:1,体积比)。2月15日黄瓜幼苗两叶一心时选取长势一致、健壮无病虫害的幼苗定植。每个小区长8.50 m,宽1.20 m,面积10.20  $\text{m}^2$ ,小区之间设置保护行,以保证小区间处理液体不互相渗透。大行距70.00 cm,小行距50.00 cm,株距35.00 cm,种植密度约4.51株/ $\text{m}^2$ ,合3 008株/667  $\text{m}^2$ 。

在前期浓度筛选试验的基础上,共设4个处理,分别为CK(清水)、T1(1 mg/(株·次)(ALA))、T2(5 mg/(株·次)(ALA))和T3(10 mg/(株·次)(ALA)),每次每株根施200 mL,采用单因子随机区组设计,3次重复,每重复46株。定植缓苗后,于2017年3月1日开始,将ALA溶于清水中,通过滴灌设备(以色列耐特菲姆公司)滴施到植株根部,该设备能保证前后滴头水量一致,通过计算植株和滴头数量计算ALA液体使用量,以保证单株间滴灌均匀。每7 d处理一次,至7月5日,共19次。整地前各处理统一施商品腐熟有机肥8  $\text{m}^3$ /667  $\text{m}^2$ ,结果期视天气情况,每7~10 d追施圣诞树牌水溶肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=19:8:27(质量比),北京福特森农业科技有限公司)1次,每次8 kg/667  $\text{m}^2$ ,其他管理按常规进行。试验地土壤理化性质:pH为7.28,容重为1.22  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,碱解氮含量163.30 mg/kg,速效磷含量22.63 mg/kg,速效钾含量186.97 mg/kg。

### 1.3 测定项目及方法

#### 1.3.1 生长指标

分别于3月1日(处理前)、3月15日(处理2次)、3月29日(处理4次)、4月7日(处理6次)和7月12日(处理19次)从每个重复中随机选取4株黄

瓜植株,用卷尺测量株高(茎基部到生长点的距离),并统计其叶片数。

### 1.3.2 生理指标

分别于3月15日和7月3日从每个重复中随机选取4株黄瓜植株的叶片(从生长点处下数第4片展开叶)和根系(挖坑冲洗法,从2株黄瓜中间点左右10.00 cm下挖深20.00 cm,样方体积20.00 cm×20.00 cm×20.00 cm。样品随即放入400目的尼龙袋中以清水洗去大部分泥土后,再将根系从其他杂质中分离出来。然后用滤纸吸干表层水分,尽快取样),采用乙醇浸提法和TTC(氯化三苯基四氮唑)比色法分别测定其光合色素含量和根系活力<sup>[13]</sup>。于3月18日和5月9日(晴天,上午)从每个重复中随机选取4株黄瓜植株,使用Li-6400(美国,LI-COR公司)光合测定仪测定其功能叶(从生长点处下数第4片叶片)的净光合速率、胞间CO<sub>2</sub>浓度、蒸腾速率和气孔导度,测定时设定光量子通量密度(Photo Flux Density, PFD)为400 μmol/(m<sup>2</sup>·s),空气中CO<sub>2</sub>浓度为400 μmol/mol,叶温为(29±2)℃。

### 1.3.3 产量

3月22日开始收瓜,8月2日拉秧。3月22日—4月30日收获的黄瓜统计为前期产量,5月1日—6月20日的为中期产量,6月21日—8月2日的为后期产量。按小区统计产量,并计算单株产量,单株

果数,小区前期、中期及后期产量和单产(kg/hm<sup>2</sup>)。

### 1.3.4 果实品质

4月12日,从每个处理的各重复中选取3~5个当日开放的雌花并做标记,于4月24日黄瓜果实成熟度良好时摘取送农业部蔬菜品质监督检验测试中心(北京)测定可溶性糖、可溶性蛋白、游离氨基酸和维生素C的含量,所采用方法分别为蒽酮比色法、考马斯亮蓝G-250染色法、茚三酮比色法和二甲苯萃取比色法<sup>[13]</sup>。

### 1.4 数据处理

分别用Microsoft Excel和GraphPad Prism6软件处理数据和作图,用SAS统计软件对数据进行单因素方差分析,并运用Duncan检验法对显著性差异( $P<0.05$ )进行比较。图表中数据为平均值±SD。

## 2 结果与分析

### 2.1 对早春茬日光温室黄瓜株高和叶片数的影响

根施适宜浓度的ALA可以促进早春茬日光温室黄瓜植株的生长,以T1处理效果最好。与对照相比,根施1 mg/(株·次)(ALA)处理的黄瓜株高在3月29日、4月7日和7月12日分别增加了11.54%、11.46%和18.95%,达显著差异水平(表1),黄瓜叶片数分别增加了6.96%、9.80%、12.69%和8.43%,达显著差异水平(表2)。

表1 根施ALA对早春茬日光温室黄瓜株高的影响

Table 1 Effects of root application of ALA on the plant height of early spring cucumber in solar greenhouses

处理 Treatment	日期 Date				
	03-01	03-15	03-29	04-07	07-12
CK	0.30±0.02 a	1.11±0.02	1.56±0.07 d	1.92±0.13 b	6.28±0.39 b
T1	0.30±0.02 a	1.13±0.03 a	1.74±0.04 a	2.14±0.07 a	7.47±0.37 a
T2	0.29±0.01 a	1.14±0.03 a	1.71±0.03 b	2.11±0.06 a	6.68±0.40 b
T3	0.30±0.01 a	1.11±0.04	1.68±0.04 c	2.11±0.07 a	6.56±0.16 b

### 2.2 对早春茬日光温室黄瓜叶绿体色素含量的影响

由表3可知,根施适宜浓度的ALA可提高早春茬日光温室黄瓜植株的叶绿体色素含量,以T1(1 mg/(株·次)(ALA))处理的效果最好。3月15日时,T1处理可显著提高黄瓜植株叶片叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素和总叶绿素含量,与对照相

比,分别提高了11.89%、13.33%、10.87%和11.98%,但对叶绿素a和叶绿素b的比值没有显著影响;7月3日测定结果显示,与对照相比,T1处理显著提高植株叶片叶绿素b和总叶绿素含量,分别提高了20.51%和15.25%,降低了叶绿素a和叶绿素b的比值,但对叶绿素a、类胡萝卜素无显著影响。

表2 根施 ALA 对早春茬日光温室黄瓜叶片数的影响

Table 2 Effects of root application ALA on the leaves number of early spring cucumber in solar greenhouses

处理 Treatment	日期 Date				
	03-01	03-15	03-29	04-07	07-12
CK	4.9±0.3 a	11.5±0.5 b	15.3±0.8 c	18.9±1.2 c	52.2±1.3 b
T1	5.0±0.0 a	12.3±0.5 a	16.8±0.5 a	21.3±0.6 a	56.6±1.1 a
T2	5.0±0.0 a	12.2±0.9 a	16.1±0.7 b	20.6±0.9 b	53.2±0.8 b
T3	5.0±0.0 a	11.6±0.5 b	16.6±0.5 a	21.4±0.8 c	53.0±2.0 b

### 2.3 对早春茬日光温室黄瓜叶片气体交换参数的影响

根施适量 ALA 可提高黄瓜植株的净光合速率和气孔导度,降低胞间二氧化碳浓度。3月18日 T1 处理的黄瓜植株净光合速率和气孔导度分别比对照提高了 16.48% 和 25.00%,胞间二氧化碳浓度降低 18.20%,但对蒸腾速率无显著影响。5月9日 T1 处理仍可提高黄瓜植株的净光合速率,与对照相比,提高了 28.58%,降低了胞间二氧化碳浓度,但对气孔导度和蒸腾速率无显著影响(表 4)。

### 2.4 对早春茬日光温室黄瓜产量的影响

根施适量 ALA 可提高早春茬日光温室黄瓜的单株坐果数、单株产量和单位面积产量,但由于采收时选取大小基本一致的商品瓜,所以对单果重没有影响。与对照相比,T1 处理后黄瓜植株的单株坐果数达到 29.52 个,提高了 8.37%;单株产量为 6.07 kg,增加了 9.34%;小区前期、中期产量和单产分别比对照提高了 13.02%、7.15% 和 9.33%(表 5)。

### 2.5 对早春茬日光温室黄瓜植株根系活力的影响

如图 1 所示,根施适宜浓度的 ALA 可提高早春茬日光温室黄瓜植株的根系活力,以 T1 处理效果最好。与对照相比,3月15日 T1 处理使黄瓜根系活力显著提高了 44.70%,7月3日 T1 处理使黄瓜根系活力显著提高了 17.97%。

### 2.6 对早春茬日光温室黄瓜果实品质的影响

根施适宜浓度的 ALA 对早春茬日光温室黄瓜果实的品质无显著影响。与对照相比,T1 和 T2 处理对黄瓜果实的可溶性糖、维生素 C、游离氨基酸和可溶性蛋白的含量无显著影响。T3 处理提高了可溶性蛋白的含量,对可溶性糖、维生素 C 和游离氨基酸含量无显著影响(表 6)。

## 3 讨论

ALA 是植物体合成叶绿素必不可少的物质<sup>[7]</sup>,

而叶绿素是高等植物光合作用过程中重要的色素分子,其含量对植物叶片光合作用强弱有重要影响。本试验表明,根施适宜浓度的 ALA 可显著提高早春茬日光温室黄瓜植株的光合色素含量、净光合速率和气孔导度,降低胞间二氧化碳浓度,而对蒸腾速率没有显著影响,以 T1 处理的效果最好,并降低叶绿素 a/b,以 T1 处理的效果最好(表 3 和表 4)。这与前人<sup>[4,14-15]</sup>的研究结果一致。低温下 ALA 处理增加植物叶片合色素含量增加,可能是植物自身“源-库”关系变化的结果,与外源 ALA 促进叶绿素合成与稳定、维持正常的气孔开闭、提高 PS II 反应中心光合电子传递活性、降低光合限制有关<sup>[16]</sup>。外源叶面喷施低浓度 ALA 可以提高油菜子叶叶绿素和 ALA 的含量,而高浓度(600  $\mu\text{mol/L}$ )严重抑制了叶绿素和 ALA 的积累,但谷氨酰-tRNA 还原酶和谷氨酸-1-半醛氨基转移酶(ALA 合成过程中的关键酶)的基因表达对外源 ALA 处理没有反应,因此认为外源 ALA 调节叶绿素的合成不是通过 ALA 途径的转录调节起作用<sup>[7]</sup>。也有研究发现,NaCl 胁迫下,根施 ALA 对叶绿素含量的提高幅度大于叶面喷施,而光合参数结果表明,叶施 ALA 作用效果较好,2 种处理方式的叶绿素荧光参数差异不显著,认为 ALA 对光合作用的促进作用并非完全取决于叶绿素含量的增加,可能存在更复杂的调控机制<sup>[17]</sup>。但尚未见根施 ALA 对植物叶绿素含量增加作用的机制研究。

研究认为,非生物逆境下外施适宜浓度的 ALA 可以促进黄瓜生长,提高产量。遮光时叶面喷施适宜浓度的 ALA 可促进黄瓜幼苗株高、叶面积等的生长,增加茎粗,以 1 mg/L 的 ALA 处理效果最佳<sup>[14]</sup>。盐胁迫下外源喷施 0.1 g/m<sup>2</sup> ALA 可以显著提高黄瓜叶片中可溶性蛋白含量、叶绿素 b/a 值,降低细胞膜透性,提高根系活力,抑制 MDA 产生,

表 3 根施 ALA 对早春茬日光温室黄瓜光合色素含量的影响 (FW)

处理 Treat- ment	叶绿素 a 含量/ (mmol/mol)		叶绿素 b 含量/ (mmol/mol)		类胡萝卜素含量/ (mmol/mol)		叶绿素 a/b Chlorophyll a/b		总叶绿素含量/ (mmol/mol)	
	03-15	07-03	03-15	07-03	03-15	07-03	03-15	07-03	03-15	07-03
CK	1.85±0.01 b	2.17±0.03 a	0.60±0.00 b	0.78±0.02 b	0.46±0.01 b	0.44±0.01 a	3.30±0.01 a	2.79±0.00 a	2.42±0.01 b	2.95±0.05 b
T1	2.07±0.12 a	2.46±0.04 a	0.68±0.04 a	0.94±0.02 a	0.51±0.02 a	0.48±0.01 a	3.24±0.01 ab	2.61±0.01 b	2.71±0.11 a	3.40±0.06 a
T2	1.89±0.02 b	2.18±0.21 a	0.64±0.01 b	0.78±0.10 b	0.47±0.01 b	0.44±0.04 a	3.14±0.02 b	2.78±0.09 a	2.50±0.02 b	2.96±0.31 b
T3	1.90±0.01 b	2.33±0.13 a	0.61±0.02 b	0.88±0.06 ab	0.47±0.01 b	0.45±0.02 a	3.36±0.13 a	2.67±0.04 b	2.47±0.02 b	3.21±0.19 ab

表 4 根施 ALA 对早春茬日光温室黄瓜气体交换参数的影响

处理 Treatment	净光合速率/ $(\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$		气孔导度/ $(\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$		胞间二氧化碳浓度/ $(\mu\text{mol}/\text{mol})$		蒸腾速率/ $(\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$	
	03-18	05-09	03-18	05-09	03-18	05-09	03-18	05-09
CK	10.50±0.65 c	13.47±0.48 c	0.12±0.02 b	0.93±0.12 a	204.41±20.66 a	350.40±0.57 a	4.30±0.69 a	10.51±6.65 b
T1	12.23±0.72 a	17.32±0.46 a	0.15±0.02 a	0.97±0.11 a	167.20±16.29 b	334.57±0.88 b	4.52±0.53 a	10.42±8.67 b
T2	11.08±0.39 b	15.85±1.08 b	0.12±0.02 b	0.98±0.08 a	174.00±15.03 b	336.39±0.59 b	4.37±0.59 a	10.01±8.25 b
T3	11.04±0.35 b	16.39±0.65 b	0.12±0.02 b	0.97±0.09 a	178.37±13.52 b	339.15±0.57 b	3.62±0.45 b	11.35±8.33 a

表 5 根施 ALA 对早春茬日光温室黄瓜产量的影响

处理 Treatment	单果重/kg Weight per fruit	单株产量/kg Yield per plant			小区产量/kg Plot yield			单产/(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield per ha	
		前期 Early	中期 Middle	后期 Later	前期 Early	中期 Middle	后期 Later	前期 Early	后期 Later
CK	0.20±0.02 a	5.55±0.05 b	62.94±1.51 b	137.77±1.75 b	54.63±4.92 a	250.45±3.12 a	250.45±3.12 a	250.45±3.12 a	
T1	0.20±0.2 a	6.07±0.15 a	71.13±3.04 a	147.62±2.44 a	60.42±1.62 a	273.831.00±6.961.50 a	273.831.00±6.961.50 a	273.831.00±6.961.50 a	
T2	0.20±0.01 a	5.91±0.07 ab	72.05±2.51 a	145.68±6.31 a	54.05±7.03 a	266.589.00±3.174.00 ab	266.589.00±3.174.00 ab	266.589.00±3.174.00 ab	
T3	0.20±0.02 a	5.74±0.17 ab	68.50±0.94 ab	133.31±2.65 b	55.40±2.16 a	258.816.00±7810.50 ab	258.816.00±7810.50 ab	258.816.00±7810.50 ab	

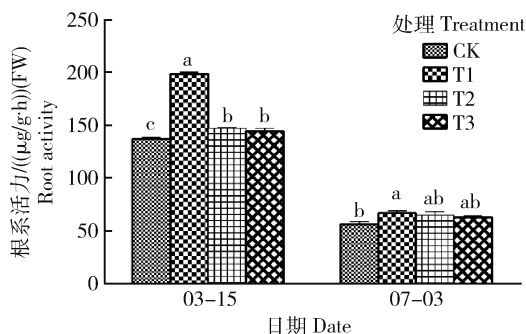


图1 根施 ALA 对早春茬日光温室黄瓜根系活力的影响(FW)

Fig. 1 Effects of root application ALA on the root activity of early spring cucumber in solar greenhouses

增加黄瓜植株对盐胁迫的抵抗能力,使黄瓜产量增加 52.3%<sup>[18]</sup>。叶片喷施 25 mg/L(ALA) 可以黄瓜缓解盐胁迫,降低亚铁红素含量和亚铁螯合酶基因

表达水平,但提高谷氨酰-tRNA 还原酶、酶螯合酶和原叶绿素酸脂氧化还原酶的基因表达,提高叶绿素含量,从而促进了黄瓜对盐胁迫的抗性<sup>[19]</sup>。本研究结果显示,根施一定浓度的 ALA 可以显著提高早春茬日光温室黄瓜根系活力、叶绿素含量和净光合速率,从而提高黄瓜坐果数和产量,与前人结果基本一致。

根施适宜浓度的 ALA 对黄瓜前期产量提高效果最显著,这可能是因为结果前期,日光室内温光环境稍差,而外源 ALA 可以提高黄瓜植株的抗逆性,促进黄瓜植株生长、增加了叶片数、提高了叶片叶绿素含量和光合作用,使得植株结果数增多,最终使黄瓜前期产量较对照增加幅度较大。另外,本试验结果显示,根施 ALA 对早春茬日光温室黄瓜果实品质无显著影响,这与前人<sup>[17]</sup>研究 ALA 可以改善果实品质的研究结果不一致,这可能与试验的处理方法和黄瓜品种不同有关。

表6 根施 ALA 对早春茬日光温室黄瓜果实品质的影响(FW)

Table 6 Effects of root application ALA on the quality of early spring cucumber in solar greenhouses

处理 Treatment	可溶性糖/ (mg/g) Soluble sugar	维生素 C/ (mg/100 g) Vitamin C	游离氨基酸/ (μg/g) Free amino acid	可溶性蛋白/ (mg/g) Soluble protein
CK	13.486±1.47 a	72.604±3.23 a	77.170±2.75 a	1.339±0.06 b
T1	13.241±1.70 a	68.764±2.11 a	79.548±3.63 a	1.880±0.12 b
T2	13.410±0.36 a	66.844±2.11 a	80.737±5.62 a	1.982±0.04 ab
T3	12.630±0.30 a	70.286±1.83 a	77.658±0.69 a	2.115±0.06 a

## 4 结论

根施适宜浓度的 ALA 可以促进日光温室黄瓜生长、增加叶片数,提高叶绿体色素含量和根系活力,提高光合作用,提高黄瓜产量,对果实品质无显著影响,本试验条件下,以 1 mg/(株·次)的处理效果最好。本研究为结合水肥一体化,利用 ALA 促进日光温室早春茬黄瓜的生长提供了一定的理论依据。但 ALA 施用的最优时间和最佳次数还需进一步研究。由于 ALA 见光易降解,其发挥作用的时效性及在土壤中残留的时间也需要进一步的研究和探讨。

## 参考文献 References

[1] 中华人民共和国. 中国统计年鉴 2017[M]. 2017,北京:中国统计出版社

The People's Republic of China. *China Statistical Yearbook 2017*[M]. 2017,Beijing:China Statistics Press (in Chinese)

[2] 刘玉梅. 亚适温较弱光照条件下调控黄瓜光合作用的原理与技术研究[D]. 泰安:山东农业大学,2006

Liu Y M. Regulation principle and technique of photosynthesis of cucumber under suboptimal temperature and suboptimal light[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2006 (in Chinese)

[3] Uthaiwan K, Kanapol J, Yongyuth O, Witith C, Sukanya J. Promotive effect of priming with 5-aminolevulinic acid on seed germination capacity, seedling growth and antioxidant enzyme activity in rice subjected to accelerated ageing treatment[J]. *Plant Production Science*, 2015, 18(4): 443-454

[4] 刘玉梅,艾希珍,于贤昌. 5-氨基乙酰丙酸对亚适宜温光条件下黄瓜幼苗光合特性的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(1): 65-71  
Liu Y M, Ai X Z, Yu X C. Effects of ALA on photosynthesis of cucumber seedlings under suboptimal temperature and light intensity[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2010, 37(1): 65-71 (in

Chinese)

- [5] 唐晓清, 王康才, 肖云华, 汪良驹. 5-氨基乙酰丙酸(ALA)对遮光环境下菘蓝的生长、叶片气孔气体参数和生物碱含量的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(5): 155-1160  
Tang X Q, Wang K C, Xiao Y H, Wang L J. Effects of 5-aminolevulinic acid (ALA) on the growth, leaf stomatal gas exchange, and leaf alkaloids content of *Isatis indigotica* under shading condition[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(5): 155-1160 (in Chinese)
- [6] Liu D, Hu L Y, Ali B, Yang A G, Wan G L, Xu L, Zhou W J. Influence of 5-aminolevulinic acid on photosynthetically related parameters and gene expression in *Brassica napus* L under drought stress[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2016, 62(3): 254-262
- [7] Liu D, Kong D D, Fu X K, Ali B, Xu L, Zhou, W J. Influence of exogenous 5-aminolevulinic acid on chlorophyll synthesis and related gene expression in oilseed rape de-etiolated cotyledons under water-deficit stress[J]. *Photosynthetica*, 2016, 54(3): 468-474
- [8] Yang Z, Chang, Z L, Sun L H, Yu J J, Huang, B R. Physiological and metabolic effects of 5-aminolevulinic acid for mitigating salinity stress in creeping bentgrass[J]. *PloS One*, 2014, 9(12): e116283
- [9] An Y Y, Qi L, Wang L J. ALA pretreatment improves waterlogging tolerance of fig Plants[J]. *PloS one*, 2016, 11(1): e0147202
- [10] 张治平, 汪良驹, 姚泉洪. 过量合成 ALA 转基因烟草叶片光合与叶绿素荧光特性的研究[J]. 西北植物学报, 2008(6): 1196-1202  
Zhang Z P, Wang L J, Yao Q H. Study on leaf photosynthesis and chlorophyll fluorescence of transgenic tobacco over-producing 5-(ALA) [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008(6): 1196-1202 (in Chinese)
- [11] Zhang J, Li D M, Gao Y, Yu B, Xia C X, Bai J G. Pretreatment with 5-aminolevulinic acid mitigates heat stress of cucumber leaves[J]. *Biologia Plantarum*, 2012, 56(4): 780-784
- [12] 徐铭, 徐福利. 5-氨基乙酰丙酸对日光温室番茄生长发育和产量品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008(9): 128-132  
Xu M, Xu F L. Effects of exogenous 5-aminolevulinic acid on the growth and the yield of the tomato in sunlight greenhouse [J]. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2008(9): 128-132 (in Chinese)
- [13] 王学奎, 黄见良. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014  
Wang X K, Huang J L. *Principles and Techniques of Plant and Biochemical Experiments* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2014 (in Chinese)
- [14] 柳翠霞, 罗庆熙, 李跃建, 刘小俊, 梁根云, 杨宏. 外源 5-氨基乙酰丙酸(ALA)对弱光下黄瓜生长指标及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(16): 72-78  
Liu C X, Luo Q X, Li Y J, Liu X J, Liang G Y, Yang H. Effect of exogenous ALA on cucumber growth indices and antioxidant enzymes activity under suboptimal light[J]. *China Vegetable*, 2011(16): 72-78 (in Chinese)
- [15] Guo X Q, Li Y S, Yu X C. Promotive effects of 5-aminolevulinic acid on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of tomato seedlings under suboptimal low temperature and suboptimal photon flux density stress[J]. *Horticultural Science*, 2012, 39(2): 97-99
- [16] 赵艳艳, 燕飞, 胡立盼, 周小婷, 邹志荣. 5-氨基乙酰丙酸对 NaCl 胁迫下番茄幼苗光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(10): 2919-2926  
Zhao Y Y, Yan F, Hu L P, Zhou X T, Zou Z R. Effect of 5-aminolevulinic acid on photosynthetic characteristics of tomato seedlings under NaCl stress[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(10): 2919-2926 (in Chinese)
- [17] 杨蕊, 邹志荣, 祁向玲. ALA 和 CaCl<sub>2</sub> 处理对黄瓜植株初花期、结果期盐胁迫的缓解效应[J]. 干旱地区农业研究, 2008(4): 136-140  
Yang R, Zou Z R, Qi X L. The effects of ALA and CaCl<sub>2</sub> on cucumbers during initial bloom and fruit-bearing (*Cucumis sativus* L) under salt stress[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008(4): 136-140 (in Chinese)
- [18] Wu Y, Jin X L, W B, Hu L L, Dawuda M M, Zhao X J, Tang Z Q, Gong T Y, Yu J H. 5-(ALA) alleviated salinity stress in cucumber seedlings by enhancing chlorophyll synthesis pathway[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018(9): 635-635
- [19] 杨蕊. 外源 ALA 处理对盐胁迫下黄瓜的缓解效应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008  
Yang R. Effect of extrinsic substance ALA on cucumber under NaCl stress[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2008 (in Chinese)

责任编辑: 王燕华