

邱惠玲, 陈政, 周念念, 等. 外源激素萘乙酸和 6-苄氨基嘌呤对番茄侧枝生长和植株形态的影响[J]. 江苏农业学报, 2026, 42(5):1004-1014.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2026.05.014

## 外源激素萘乙酸和 6-苄氨基嘌呤对番茄侧枝生长和植株形态的影响

邱惠玲, 陈政, 周念念, 张元昊, 徐艳, 丁飞, 蒋芳玲, 周蓉, 吴震  
(南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210031)

**摘要:** 利用外源激素对番茄等侧枝生长较为旺盛的作物株型进行调控是现代农业高效生产的保证。为明确萘乙酸(NAA)和 6-苄氨基嘌呤(6-BA)对番茄株型的调控机制,本研究以侧枝稀疏型番茄品种 NT823 和侧枝茂盛型番茄品种 NT68 为材料,分别进行不同浓度和次数的外源 NAA 和 6-BA 处理,分析其对番茄侧枝生长和植株形态的影响。结果表明,NAA 和 6-BA 的施用浓度和次数均对番茄侧枝生长和植株形态有显著影响。53.7  $\mu\text{mol/L}$  NAA 能显著抑制 NT68 番茄侧枝生长,而 400.0  $\mu\text{mol/L}$  6-BA 则能显著促进 NT823 番茄侧枝生长。3~4 次 NAA 处理能有效抑制番茄侧枝并促进株高、茎粗生长;1 次 6-BA 处理对侧枝数量的促进作用最大,3~4 次 6-BA 处理最有利于侧枝伸长和茎粗发育,但亦显著抑制株高生长。NT823 对 NAA 和 6-BA 的敏感性高于 NT68,高节位侧枝长度对 NAA 和 6-BA 的敏感性高于低节位侧枝。本研究结果为合理利用外源激素 NAA 和 6-BA 进行番茄植株的定向调控提供了依据。

**关键词:** 番茄; 侧枝; 植株形态; 萘乙酸; 6-苄氨基嘌呤

**中图分类号:** S641.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2026)05-1004-11

## Effects of exogenous hormones naphthylacetic acid and 6-benzylaminopurine on lateral branch growth and plant morphology in tomato

QIU Huiling, CHEN Zheng, ZHOU Niannian, ZHANG Yuanhao, XU Yan, DING Fei, JIANG Fangling, ZHOU Rong, WU Zhen

(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

**Abstract:** The use of exogenous hormones to regulate the plant type of tomato and other crops with strong lateral branch growth is the guarantee of modern high-efficiency agricultural production. In order to clarify the regulatory mechanism of naphthylacetic acid (NAA) and 6-benzylaminopurine (6-BA) on tomato plant type, the effects of exogenous NAA and 6-BA at different concentrations and application frequencies on tomato lateral branch growth and plant morphology were analyzed by using sparse-lateral-branch tomato variety NT823 and lush-lateral-branch tomato variety NT68 as materials. The

results showed that the application concentration and frequency of NAA and 6-BA had significant effects on the lateral branch growth and plant morphology of tomato. 53.7  $\mu\text{mol/L}$  NAA significantly inhibited the lateral branch growth of NT68 tomato, while 400.0  $\mu\text{mol/L}$  6-BA significantly promoted the lateral branch growth of NT823 tomato. Three to four applications of NAA could effectively inhibit tomato lateral branch growth and promote plant height and stem diameter. One application of 6-BA had the greatest

收稿日期: 2025-05-08

基金项目: 国家自然科学基金联合基金项目(U1903106); 中央高校基本科研业务费项目(KYZZ2021004); 江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)

作者简介: 邱惠玲(1999-), 女, 江西赣州人, 硕士研究生, 主要从事番茄种质资源创新研究。(E-mail) 2091975784@qq.com

通讯作者: 周蓉, (E-mail) zhour@njau.edu.cn; 吴震, (E-mail) wzh@njau.edu.cn

promoting effect on the number of lateral branches, and three to four applications of 6-BA was most conducive to the elongation of lateral branches and the development of stem diameter, but also significantly inhibited the growth of plant height. The sensitivity of NT823 to NAA and 6-BA was higher than that of NT68, and the sensitivity of high-node lateral branch length to NAA and 6-BA was higher than that of low-node lateral branch length. The results of this study provide a basis for the targeted regulation of tomato plants through the rational application of exogenous hormones NAA and 6-BA.

**Key words:** tomato; lateral branch; plant morphology; naphthylacetic acid (NAA); 6-benzylaminopurine (6-BA)

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)是茄科番茄属的一年生或多年生草本植物,其果实富含番茄红素、维生素及矿物质等营养成分,兼具鲜食与加工特性,因此,番茄生产在全球农业中占据重要地位<sup>[1]</sup>。随着中国番茄种植面积的扩大与市场需求升级,提升果实商品性、营养品质及产量已成为番茄产业核心目标<sup>[2]</sup>。然而,番茄生长过程中每个叶腋都易产生侧枝,且侧枝生长较快,这常常导致番茄植株营养生长与生殖生长失衡<sup>[3]</sup>。此外,侧枝过多还会导致番茄冠层郁闭,通风和透光性能下降,进而增加病害发生风险,降低坐果率与果实商品性<sup>[4-5]</sup>。目前生产上主要通过人工整枝打杈来调控株型,这不但增加了劳动成本,还降低了生产效率。因此,利用植物生长调节剂进行番茄株型的调控研究得到了初步开展<sup>[6-7]</sup>。

植物侧枝生长发育受顶端优势<sup>[8]</sup>、内源激素<sup>[9]</sup>、糖信号<sup>[10]</sup>及光环境<sup>[11]</sup>等多因素协同调控。其中,生长素与细胞分裂素的拮抗调控被认为是决定侧芽命运的核心机制<sup>[12]</sup>。生长素通过极性运输建立顶端优势,抑制侧芽萌发<sup>[13]</sup>;而细胞分裂素则通过激活细胞周期基因直接刺激侧芽生长,并作为第二信使拮抗生长素信号<sup>[14]</sup>。萘乙酸(NAA)和 6-苄氨基嘌呤(6-BA)分别是生长素和细胞分裂素的人工合成类似物,是植物生长调节剂的关键因子,在植物生长发育调节中有诸多应用。董军等<sup>[15]</sup>研究认为,植物生长调节剂的应用效果不仅与其类型有关,还与喷施浓度、作物的品种特性、环境条件、喷施次数等因素有关。钱景扬<sup>[16]</sup>的研究结果表明,3 mg/L NAA 处理能显著减少茼蒿植株侧枝长度、侧枝粗度和侧蕾直径。李亚亚<sup>[17]</sup>的研究结果表明,6-BA 处理能显著增加蒙古栎侧枝数量并促进侧枝的伸长。目前生产中外源激素浓度和施用次数对不同品种类型番茄植株的生长影响还缺乏系统的研究。

因此,本研究拟通过不同浓度 NAA 和 6-BA 处理番茄植株,明确不同浓度 NAA 和 6-BA 对番茄侧枝生长及植株形态的影响并筛选出适宜的施用浓

度,并在此基础上进一步探明 NAA 和 6-BA 施用次数对侧枝稀疏型番茄品种 NT823 和侧枝茂盛型番茄品种 NT68 侧枝生长和植株形态的影响,确定 6-BA 和 NAA 在番茄栽培中的适宜处理次数,为 NAA 和 6-BA 在番茄生产中的应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料与培养

侧枝数量少、长度短无限生长型番茄品种 NT823 和侧枝数量多、长度长的无限生长型番茄品种 NT68 均由南京农业大学蔬菜生理生态实验室所保存;6-苄氨基嘌呤(6-BA,化学式  $C_{12}H_{11}N_5$ ,纯度 $\geq 98\%$ )和萘乙酸(NAA,化学式  $C_{12}H_{10}O_2$ ,纯度 $\geq 98\%$ )均购自北京酷来博科技有限公司。

挑选籽粒饱满的 NT823 和 NT68 番茄种子,经 55 °C 热水表面消毒 25 min 后,用蒸馏水冲洗 3 次,置于铺有双层湿润滤纸的培养皿中于 25 °C 黑暗条件下催芽。待胚根突破种皮后,点播于装有草炭、珍珠岩、蛭石(2:1:1)的 32 孔穴盘中,然后放入 RDN-560E-4 智能人工气候箱(宁波东南仪器有限公司产品)中进行育苗,培养条件为昼温 26 °C、夜温 18 °C、光周期 14 h/d、光合有效辐射强度( $375\pm 20$ )  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、相对湿度 75%。幼苗长至 2 叶 1 心时,移栽至长度、宽度、高度均为 10 cm 的方形营养钵中,置于自然环境中生长,每 2 d 定量浇灌日本园试标准营养液 1 次。

### 1.2 试验设计与处理

#### 1.2.1 试验设计与处理方法

1.2.1.1 不同浓度 NAA 和 6-BA 对番茄侧枝生长和植株形态的影响 当 NT68 和 NT823 番茄幼苗生长至 4 叶 1 心时,以清水处理作对照(CK),分别进行不同浓度的 NAA 和 6-BA 处理。采用单因素试验设计。NAA 浓度设置为 0.5  $\mu\text{mol}/\text{L}$ (N1)、5.4  $\mu\text{mol}/\text{L}$ (N2)、53.7  $\mu\text{mol}/\text{L}$ (N3)、268.5  $\mu\text{mol}/\text{L}$ (N4)、537.0  $\mu\text{mol}/\text{L}$ (N5)和 1 074.0  $\mu\text{mol}/\text{L}$ (N6),

6-BA 浓度设置为 10.0  $\mu\text{mol/L}$  (B1)、25.0  $\mu\text{mol/L}$  (B2)、50.0  $\mu\text{mol/L}$  (B3)、100.0  $\mu\text{mol/L}$  (B4)、200.0  $\mu\text{mol/L}$  (B5) 和 400.0  $\mu\text{mol/L}$  (B6)。处理方法是利用无菌棉签对植株主茎生长点和所有节位叶腋处进行涂抹处理,每隔 48 h 涂抹 1 次,累计涂抹 4 次后 24 h 测定不同处理侧枝数量、第 1~第 6 节位侧枝长度、株高、茎粗和节位数等生长指标。每个处理设置 3 次重复,每重复 3 株幼苗。根据不同浓度 NAA 和 6-BA 对番茄幼苗生长指标的影响确定 NAA 和 6-BA 的适宜浓度。

1.2.1.2 处理次数对番茄侧枝生长和植株形态的影响 同样对 4 叶 1 心时期的 NT68 和 NT823 番茄幼苗使用适宜浓度 NAA 和 6-BA 进行涂抹处理次数影响试验。当 NT68 和 NT823 番茄幼苗生长至 4 叶 1 心时,每品种各取 3 株进行侧枝数量和长度、植株形态测定,并同时进行第 1 次适宜浓度 NAA 和 6-BA 及清水涂抹处理,处理后 24 h 每处理各取 3 株进行生长指标测定,此后每隔 48 h 进行 1 次涂抹处理,并在处理后 24 h 进行取样,得到 1~4 次涂抹处理的番茄植株生长指标。每次取样,各处理 3 个重复。

1.2.2 指标测定方法 参照文献[18]的方法进行番茄植株高度、节位数和茎粗的测定。其中,植株高度为植株茎基部至顶部生长点的垂直高度,节位数为子叶节以上至主茎顶端的有效节位数,茎粗为主茎基部距地表 1 cm 处的横径。参照文献[19]的方法进行番茄侧枝数量和侧枝长度的统计,以第一片真叶所在的节位作为侧枝统计的起始节位,并依次向上统计 6 个节位处的侧枝长度,侧枝长度  $\geq 1$  mm

时计为有效侧枝,纳入侧枝数量统计。

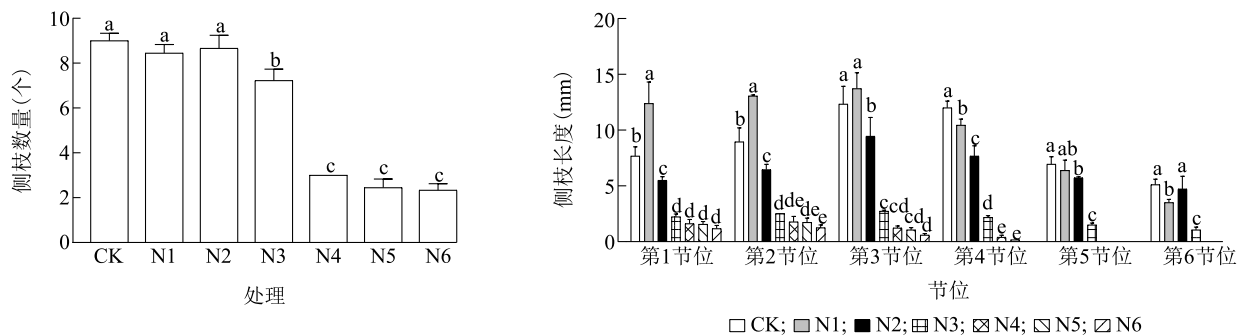
### 1.3 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2019 对试验数据进行整理与统计,利用 SPSS v25.0 软件进行单因素方差分析 ( $P < 0.05$ ),利用 GraphPad Prism 8 软件进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度 NAA 对番茄侧枝生长和植株形态的影响

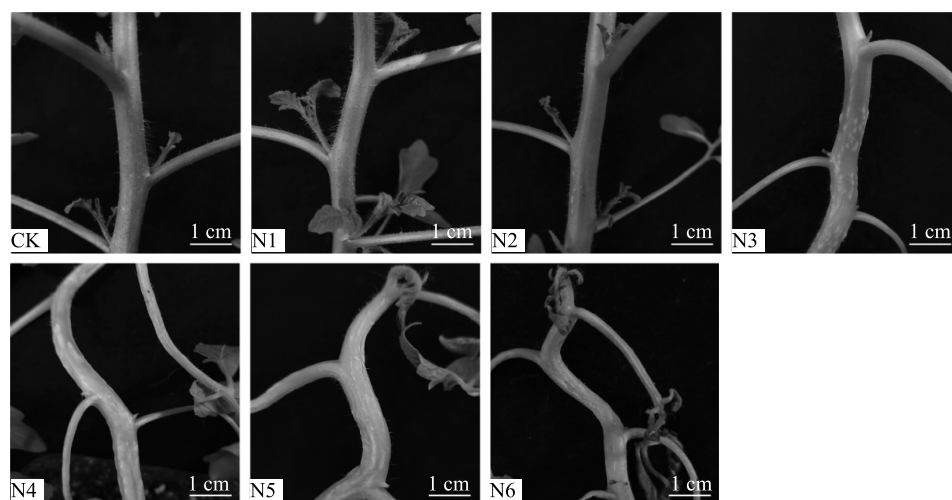
2.1.1 不同浓度 NAA 对番茄侧枝生长的影响 不同浓度 NAA 处理对 NT68 番茄侧枝数量、前 6 个节位侧枝长度及腋芽形态的影响如图 1 和图 2 所示。从图中可以看出,不同浓度 NAA 处理对番茄侧枝数量和长度有较大影响。较低浓度处理对番茄侧枝数量和长度影响较小,N1 和 N2 处理后侧枝数量与对照(CK)无显著差异,而高浓度处理番茄侧枝数量显著减少,N3、N4、N5 和 N6 处理侧枝数量分别比 CK 显著减少 19.50%、65.94%、72.14%、73.68%。NAA 浓度对各节位侧枝长度亦有显著影响。N1 处理第 1 节位和第 2 节位侧枝长度显著高于 CK,第 3 节位和第 5 节位侧枝长度与 CK 无显著差异,而第 4 节位和第 6 节位侧枝长度显著低于 CK。其他处理各节位长度总体显著低于 CK。N2 处理第 1 节位~第 5 节位长度分别比 CK 显著减少 28.26%、27.94%、23.43%、36.11%、17.57%,N3 处理第 1 节位~第 6 节位侧枝长度分别比 CK 减少 71.00%、72.06%、77.92%、81.94%、78.40%和 79.39%。N4~N6 处理各节位侧枝长度比 CK 减少均在 80.00%以上。



NAA: 萘乙酸。CK: 清水对照; N1: 0.5  $\mu\text{mol/L}$  NAA; N2: 5.4  $\mu\text{mol/L}$  NAA; N3: 53.7  $\mu\text{mol/L}$  NAA; N4: 268.5  $\mu\text{mol/L}$  NAA; N5: 537.0  $\mu\text{mol/L}$  NAA; N6: 1 074.0  $\mu\text{mol/L}$  NAA。

图 1 不同浓度 NAA 对 NT68 番茄侧枝数量和长度的影响

Fig.1 Effects of different concentrations of naphthylacetic acid (NAA) on the number and length of lateral branches of NT68 tomato



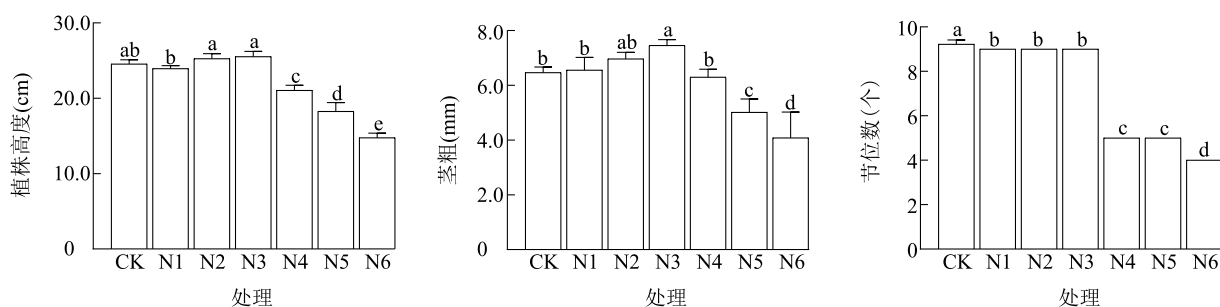
NAA: 萘乙酸。CK、N1、N2、N3、N4、N5、N6 见图 1 注。

图 2 不同浓度 NAA 处理对 NT68 番茄腋芽形态的影响

Fig.2 Effects of different concentrations of naphthylacetic acid (NAA) on the morphology of NT68 tomato axillary buds

2.1.2 不同浓度 NAA 对番茄植株形态的影响 不同浓度 NAA 处理对 NT68 番茄株高、茎粗和节位数的影响如图 3 和图 4 所示。从图中可以看出, N1~N3 处理番茄植株高度与 CK 无显著差异, N4~N6 处理植株高度显著低于 CK; N3 处理茎粗比 CK 显著增加 15.3%, N1、N2、N4 处理茎粗与 CK 差异, N5~N6 处理茎粗显著低于 CK; N1~N6 处理节位数均显著低于 CK, 且随着 NAA 浓度的增加, 节位数呈减少趋势。

N6 处理番茄植株高度、茎粗和节位数分别为 14.8 cm、4.1 mm 和 4 个, 比 CK 分别显著减少 39.8%、36.9% 和 56.6%。高浓度 NAA 处理 (N4、N5、N6) 会导致番茄植株生长点坏死, 植株变形, 整株萎蔫甚至死亡。综上所述, 高浓度 NAA 处理 (N4、N5 和 N6) 会显著降低番茄植株高度、减少茎粗和节位数, 导致植株变形、萎蔫甚至死亡。53.7  $\mu\text{mol/L}$  的 NAA 处理 (N3) 能够显著增加番茄茎粗, 减少植株节位数。



NAA: 萘乙酸。CK、N1、N2、N3、N4、N5、N6 见图 1 注。

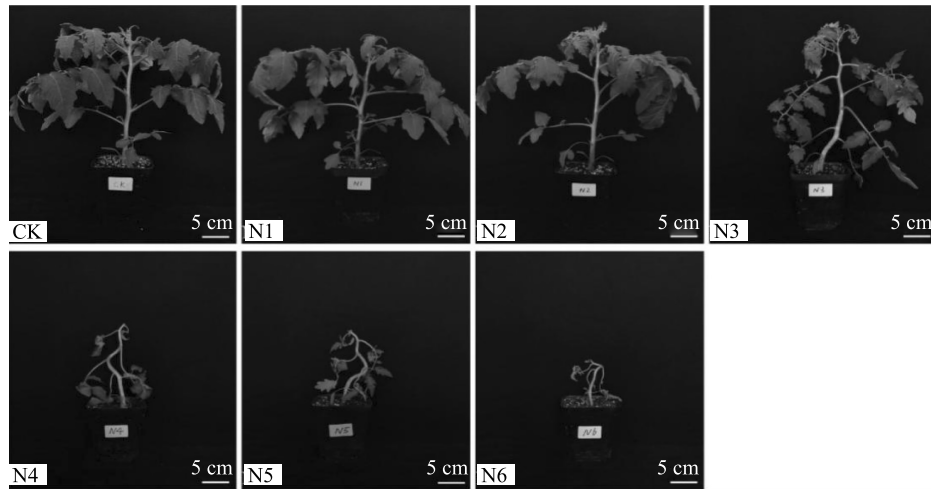
图 3 不同浓度 NAA 对 NT68 番茄植株形态指标的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of naphthylacetic acid (NAA) on the morphological indices of NT68 tomato plants

## 2.2 不同浓度 6-BA 对番茄侧枝生长和植株形态的影响

2.2.1 不同浓度 6-BA 对番茄侧枝生长的影响 不同浓度 6-BA 对 NT823 番茄侧枝数量和长度及腋芽形态的影响如图 5 和图 6 所示。从图中可以看出, 不同浓度 6-BA 处理 (B1~B6) 对番茄植株侧枝数量均无显著影响, 但可显著影响番茄植株侧枝长度。低浓度 6-BA 处理 (B1、

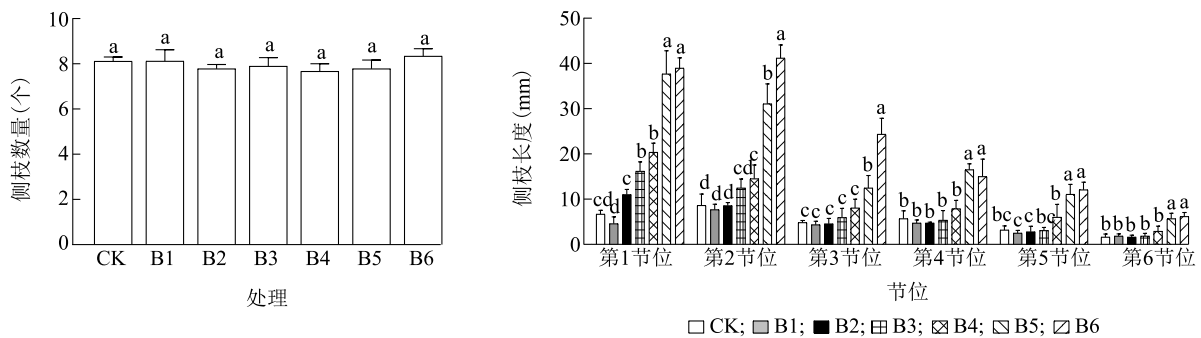
B2) 对各节位侧枝长度无显著影响, B3 处理第 1 节位侧枝长度比 CK 显著增加 1.4 倍, B4 处理第 1 节位、第 2 节位、第 5 节位侧枝长度分别比 CK 显著增加 2.1 倍、0.7 倍和 0.9 倍, B5 处理第 1~第 6 节位侧枝长度分别比 CK 显著增加 4.6 倍、2.6 倍、1.6 倍、1.9 倍、2.5 倍、2.5 倍, B6 处理第 1~第 6 节位侧枝长度分别比 CK 显著增加 4.8 倍、3.8 倍、4.0 倍、1.6 倍、2.8 倍和 2.8 倍。



NAA: 萘乙酸。CK、N1、N2、N3、N4、N5、N6 见图 1 注。

图 4 不同浓度 NAA 处理对 NT68 番茄植株形态的影响

Fig.4 Effects of different concentrations of naphthylacetic acid (NAA) on the morphology of NT68 tomato plants



6-BA: 6-苄氨基嘌呤。CK: 清水对照; B1: 10.0  $\mu\text{mol/L}$  6-BA; B2: 25.0  $\mu\text{mol/L}$  6-BA; B3: 50.0  $\mu\text{mol/L}$  6-BA; B4: 100.0  $\mu\text{mol/L}$  6-BA; B5: 200.0  $\mu\text{mol/L}$  6-BA; B6: 400.0  $\mu\text{mol/L}$  6-BA。

图 5 不同浓度 6-BA 对 NT823 番茄侧枝生长的影响

Fig.5 Effects of different concentrations of 6-benzylaminopurine (6-BA) on lateral branch growth of NT823 tomato

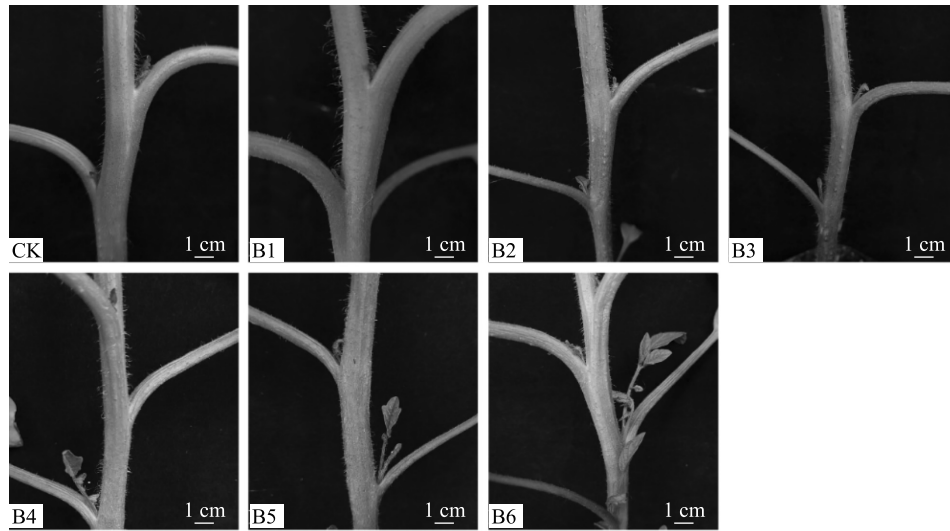
2.2.2 不同浓度 6-BA 对番茄植株形态的影响 不同浓度 6-BA 处理对 BT823 番茄植株高度、茎粗及节位数的影响如图 7 所示。从图中可以看出,不同浓度 6-BA 处理对番茄植株高度和节位数无显著影响, B3、B5、B6 处理番茄植株茎粗分别比 CK 显著增加 13.4%、34.3% 和 39.2%, B1、B2、B4 处理番茄茎粗与 CK 无显著差异。总之,高浓度的 6-BA 处理能有效提高番茄植株茎粗(图 8)。

### 2.3 NAA 和 6-BA 处理次数对番茄侧枝生长和植株形态的影响

2.3.1 NAA 和 6-BA 处理次数对番茄侧枝生长的影响 适宜浓度 NAA (53.7  $\mu\text{mol/L}$ ) 和 6-BA (400.0  $\mu\text{mol/L}$ ) 处理次数对 NT823 和 NT68 番茄植株侧枝数量和主茎基部第 1~第 6 节位侧枝长度及腋芽形态的

影响如图 9 和图 10 所示。从图中可以看出, NAA 可以显著减少 2 个番茄品种的侧枝数量和各节位侧枝长度, 6-BA 可以显著增加 2 个番茄品种的侧枝数量和各节位侧枝长度。

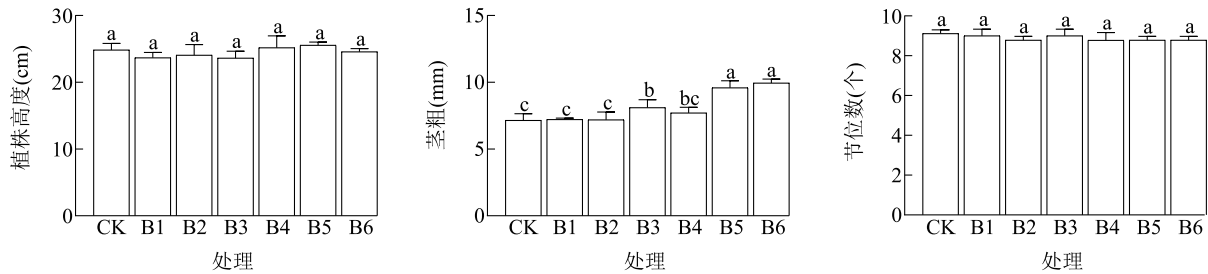
NAA 处理 1 次、2 次、3 次、4 次 NT823 侧枝数量分别比 CK 显著减少 80.84%、85.56%、86.55%、80.49%, NAA 处理 1 次、2 次、3 次、4 次 NT68 侧枝数量分别比 CK 显著减少 29.50%、55.21%、43.50%、41.31%; 6-BA 处理 1 次、2 次、3 次、4 次 NT823 侧枝数量分别比 CK 显著增加 86.69%、74.71%、45.36%、28.18%, 6-BA 处理 1 次、2 次、3 次 NT68 侧枝数量分别比 CK 显著增加 28.32%、21.33%、10.27%, 6-BA 处理 4 次侧枝数量与 CK 无显著差异, 由此可见, NAA 处理 2~3 次和 6-BA 处理 1 次对 2 个品种番茄侧枝数量影响较大。



6-BA:6-苄氨基嘌呤。CK、B1、B2、B3、B4、B5、B6 见图 5 注。

图 6 不同浓度 6-BA 处理对 NT823 番茄腋芽形态的影响

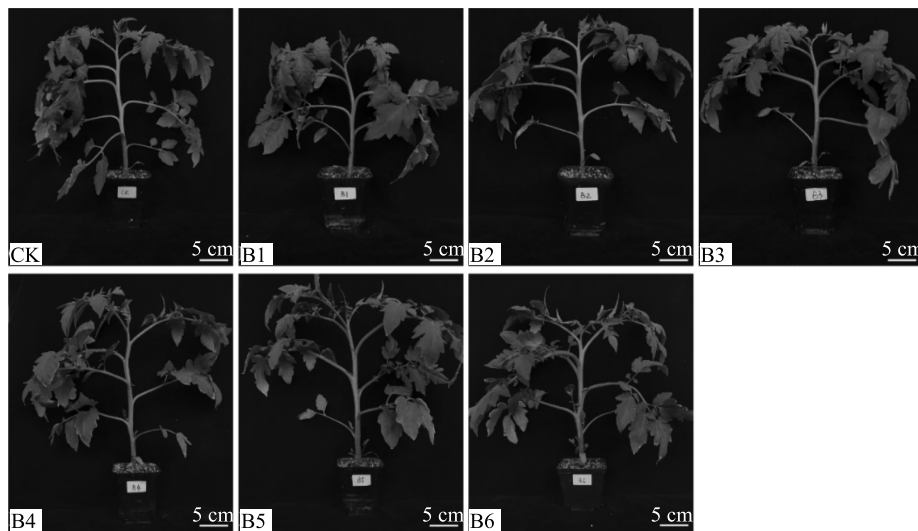
Fig.6 Effects of different concentrations of 6-benzylaminopurine (6-BA) on axillary bud morphology of NT823 tomato



6-BA:6-苄氨基嘌呤。CK、B1、B2、B3、B4、B5、B6 见图 5 注。图中不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 7 不同浓度 6-BA 对 NT823 番茄形态指标的影响

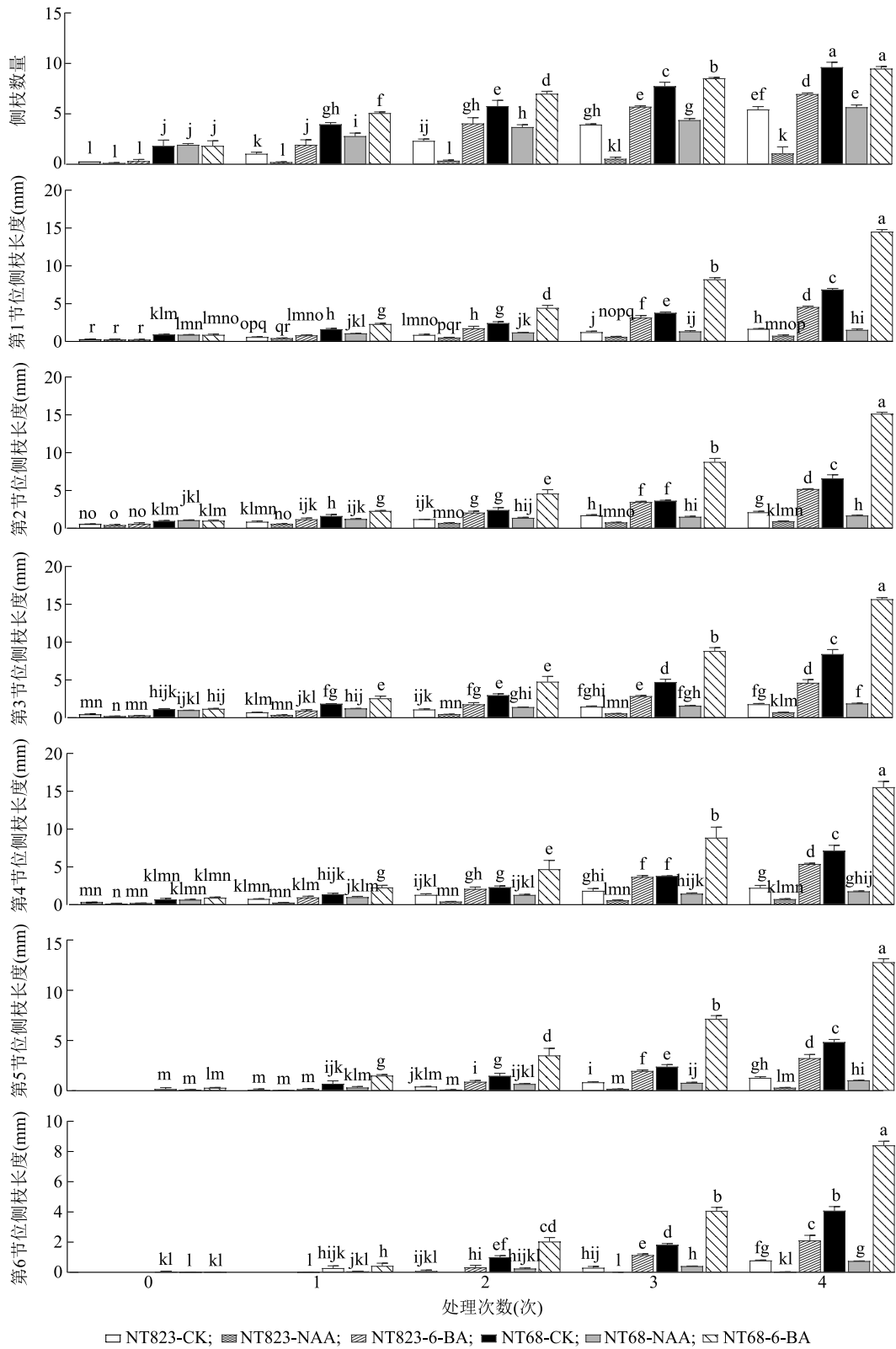
Fig.7 Effects of different concentrations of 6-benzylaminopurine (6-BA) on the morphological indices of NT823 tomato plants



6-BA:6-苄氨基嘌呤。CK、B1、B2、B3、B4、B5、B6 见图 5 注。

图 8 不同浓度 6-BA 处理对 NT823 番茄植株形态的影响

Fig.8 Effects of different concentrations of 6-benzylaminopurine (6-BA) on the morphology of NT823 tomato plants



NT823-CK:NT823 蒸馏水对照;NT823-NAA:NT823 53.7  $\mu\text{mol/L}$  NAA 处理;NT823-6-BA: NT823 400.0  $\mu\text{mol/L}$  6-BA 处理;NT68-CK:NT68 蒸馏水对照;NT68-NAA:NT68 53.7  $\mu\text{mol/L}$  NAA 处理;NT68-6-BA:NT68 400.0  $\mu\text{mol/L}$  6-BA 处理。NAA:萘乙酸;6-BA:6-苄氨基嘌呤。

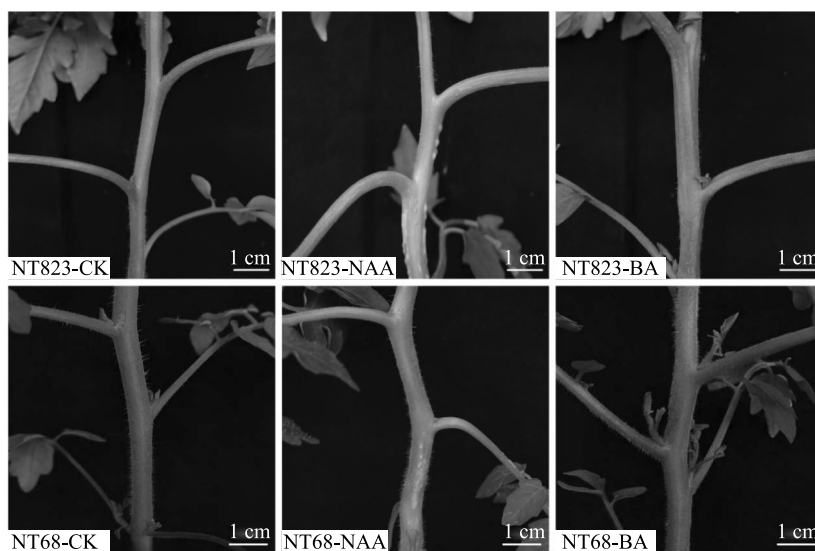
图 9 NAA 和 6-BA 处理次数对番茄侧枝生长的影响

Fig.9 Effects of application frequency of naphthylacetic acid (NAA) and 6-benzylaminopurine (6-BA) on the growth of tomato lateral branches

NAA 处理次数对 NT823 各节位侧枝长度的影响存在差异。4 次 NAA 处理 NT823 番茄第 1、第 2 节位侧枝长度分别比 CK 显著减少 55.08% 和 57.14%, 3 次 NAA 处理第 3、第 4、第 5 节位侧枝长度分别比 CK 显著减少 62.23%、68.93%、79.35%, 2 次 NAA 处理第 6 节位侧枝长度比 CK 显著减少 100%; 4 次 6-BA 处理 NT823 第 1~第 5 节位侧枝长度分别比 CK 显著增加 176.63%、145.71%、161.17%、142.32%、153.81%, 2 次 6-BA 处理 NT823 第 6 节位侧枝长度比 CK 增加 3.13 倍, 增加最为显著。6-BA 处理 3 次和 NAA 处理 4 次对 NT68 各节位侧枝长度影响最大, 3 次 6-BA 处理 NT68 番茄第 1~第 6 节位侧枝长度分别比 CK 增加 117.23%、142.64%、87.24%、134.81%、200.28%、124.31%, 4 次 NAA 处理 NT68 番茄第 1~第 6 节位

侧枝长度分别比 CK 减少 78.01%、74.59%、77.80%、75.73%、78.94%、81.90%, 变化幅度均高于其他次数处理。

不同施用次数下, 高节位侧枝长度对 NAA 和 6-BA 的敏感性高于低节位侧枝。2 次、3 次和 4 次 NAA 处理 NT823 第 6 节位侧枝长度分别比 CK 减少 100%、98.85%、97.83%, 2 次、3 次和 4 次 6-BA 处理 NT823 第 6 节位侧枝长度分别比 CK 增加 3.13 倍、2.91 倍、1.73 倍, 变化幅度均高于其他节位。1 次、2 次、3 次、4 次 NAA 处理 NT68 第 6 节位侧枝长度分别比 CK 减少 81.48%、75.59%、77.72%、81.90%, 1 次、2 次、3 次、4 次 6-BA 处理 NT68 第 5 节位侧枝长度分别比 CK 增加 1.20 倍、1.38 倍、2.00 倍、1.65 倍, 变化幅度高于其他节位。从上述结果还可看出, NT823 对 NAA 和 6-BA 的敏感性高于 NT68。



NAA: 萘乙酸; 6-BA: 6-苄氨基嘌呤。NT823-CK、NT823-NAA、NT823-6-BA、NT68-CK、NT68-NAA、NT68-6-BA 见图 9 注。

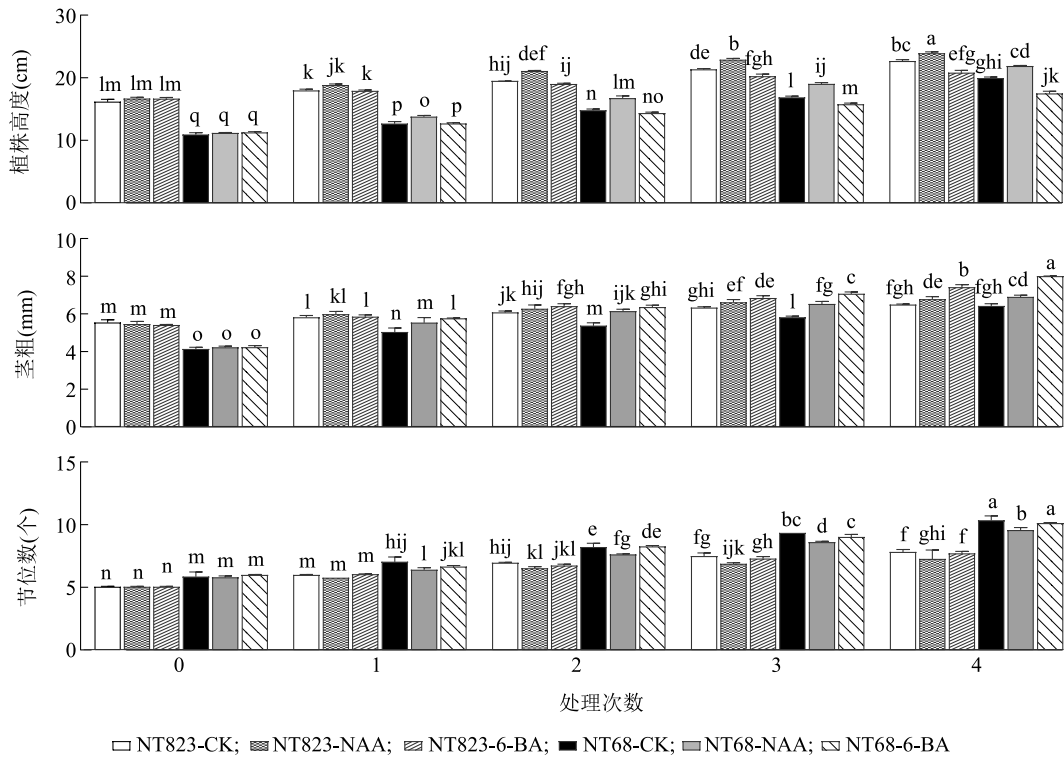
图 10 4 次外源 NAA 与 6-BA 处理后的番茄腋芽形态

Fig.10 The morphology of tomato axillary buds after four applications of exogenous naphthylacetic acid (NAA) and 6-benzylaminopurine (6-BA)

### 2.3.2 NAA 和 6-BA 处理次数对番茄植株形态的影响

适宜浓度 NAA 和 6-BA 不同处理次数对 NT823 和 NT68 番茄植株高度、茎粗和节位数及形态的影响如图 11 和图 12 所示。从图中可以看出, 2~4 次 NAA 处理可以显著增加 NT823 和 NT68 番茄植株高度, 3~4 次 6-BA 处理可以显著降低番茄植株高度。其中, 2 次 NAA 处理 NT823 和 NT68 植株高度分别比 CK 显著增加 8.1% 和 13.2%, 4 次 6-BA 处理 NT823 和 NT68 植株高度分别比 CK 显著降低 8.2% 和 12.3%, 变化最为显

著。3~4 次 NAA 和 2~4 次 6-BA 处理均可以增加番茄植株茎粗, 其中, 3 次 NAA 处理 NT823 茎粗比 CK 增加 4.5%, 2 次 NAA 处理 NT68 茎粗比 CK 增加 14.4%; 4 次 6-BA 处理 NT823 和 NT68 茎粗分别比 CK 增加 14.2% 和 24.8%, 增加最为显著。2~4 次 NAA 处理可以降低 NT823 和 NT68 番茄的节位数, 3 次 NAA 处理 NT823 和 NT68 番茄节位数分别比 CK 降低 8.1% 和 8.0%。总体上看, 6-BA 处理对 2 个番茄品种节位数的影响不大。



NAA: 萘乙酸; 6-BA: 6-苄氨基嘌呤。NT823-CK、NT823-NAA、NT823-6-BA、NT68-CK、NT68-NAA、NT68-6-BA 见图 9 注。

图 11 NAA 和 6-BA 处理次数对番茄植株形态的影响

Fig.11 Effects of application frequency of naphthylacetic acid (NAA) and 6-benzylaminopurine (6-BA) on tomato plant morphology



NAA: 萘乙酸; 6-BA: 6-苄氨基嘌呤。NT823-CK、NT823-NAA、NT823-6-BA、NT68-CK、NT68-NAA、NT68-6-BA 见图 9 注。

图 12 4 次外源 NAA 与 6-BA 处理后的番茄植株形态

Fig.12 The morphology of tomato plants after four applications of exogenous naphthylacetic acid (NAA) and 6-benzylaminopurine (6-BA)

### 3 讨论

#### 3.1 不同浓度 NAA 和 6-BA 对番茄侧枝生长和植株形态的影响

生长素(IAA)是最早被确认为通过顶端优势调控侧芽生长的激素,其作用机制一直是植物发育研究的热点<sup>[20-23]</sup>。陈浩杰等<sup>[24]</sup>研究发现,低浓度 IAA 可以增强西瓜幼苗的顶端优势,抑制侧枝的生长,并对西瓜幼苗株高和茎粗有促进作用。NAA 作为一种人工合成的生长素类似物,具有和生长素相似的作用和功效<sup>[25-26]</sup>。邢恩杰<sup>[27]</sup>研究发现,NAA 处理能减少番茄侧芽数量,降低侧芽长度。Grossmann<sup>[28]</sup>研究发现,高浓度生长素能快速激活膜离子通道和质膜 H<sup>+</sup>-ATP 酶,引发细胞伸长,并诱导乙烯合成,导致叶片向下卷曲、茎扭曲等异常现象,且随着作用时间的延长,植株气孔关闭,叶片光合作用减弱,活性氧(ROS)积累增加,进而引发氧化损伤,破坏细胞膜和维管系统,导致作物植株生长失调、枯萎或死亡。本研究结果表明,53.7 μmol/L 的 NAA 处理(N3)能增加 NT68 番茄植株茎粗,降低侧枝数量、主茎基部第 1~第 6 节位侧枝长度和节位数,这与钱景扬<sup>[16]</sup>的研究结果一致。而高浓度的 NAA 处理(268.5 μmol/L、537.0 μmol/L 和 1 074.0 μmol/L)不但能抑制 NT68 番茄侧枝生长,还影响植株的正常生长,导致植株变形、萎蔫甚至死亡,这与 Grossmann<sup>[28]</sup>的研究结果一致。因此,施用适宜浓度的 NAA 才能有效抑制番茄侧枝生长,同时还能避免 NAA 浓度过高给作物植株生长带来的负作用。

细胞分裂素作为生长素的第二信使,对生长素有拮抗作用,可直接进入植物花芽中调控生长素活性<sup>[29]</sup>。6-BA 是一种类似细胞分裂素的物质,可以促进植物侧芽和侧枝的生长<sup>[27]</sup>。6-BA 是远红光下番茄侧枝活化生长的关键信号<sup>[30]</sup>,其外源施用可以使远红光抑制的番茄侧芽恢复生长。本研究结果表明,较低浓度的 6-BA 对番茄植株无显著影响,而 400.0 μmol/L 6-BA 处理可以显著增加番茄主茎茎粗和主茎基部第 1~第 6 节位侧枝长度,但对番茄侧枝数量影响不显著,这与 Wang 等<sup>[13]</sup>的研究结果存在一定差异。

#### 3.2 NAA 和 6-BA 施用次数对番茄侧枝生长和植株形态的影响

植物生长调节剂的多次施用可导致其在植物植

株体内累积,进而通过促进或抑制等作用方式影响植物的生长进程<sup>[31]</sup>。马玲等<sup>[32]</sup>的研究结果表明,外源激素的施用次数能影响植物枝条顶芽中内源激素水平,从而影响侧枝形成和伸长。汪磊<sup>[33]</sup>的研究结果表明,单次 6-BA 处理可以显著增加苜蓿的植株高度、主茎节数和分枝数,多次 6-BA 处理对各指标表现出不同程度的抑制作用。本研究结果表明,3 次 NAA 处理对番茄侧枝数量和节位数的抑制作用较大,3 次~4 次 NAA 处理对各节位侧枝长度的抑制作用较大,2 次~3 次 NAA 处理对番茄植株高度和茎粗的促进作用最大,这种差异的产生可能是 NAA 施用次数会影响其在植物植株各器官中的积累水平。NAA 施用次数对 2 个番茄品种的侧枝数量、节位数和植株高度等性状指标的影响特征基本一致,但对 2 个品种各节位侧枝长度的影响呈现不同的特征。4 次 NAA 处理对 NT68 番茄主茎基部第 1~第 6 节位侧枝长度的抑制作用较大,而 NT823 番茄第 1~第 2 节位、第 3~第 5 节位和第 6 节位的最敏感处理次数分别为 4 次、3 次和 2 次,这可能是由于 NT823 幼嫩组织对 NAA 的敏感性较高。上述结果说明,外源激素处理效果会受作物品种类型和植株具体部位的影响,在生产实践中应根据具体的品种类型和生产需求制定具体的施用方案。1 次 6-BA 处理对 2 个番茄品种侧枝数量的促进作用最大,而 4 次 6-BA 处理对 2 个番茄品种植株高度和节位数的抑制作用最显著,对茎粗的促进作用最明显,这与马玲等<sup>[34]</sup>的研究结果类似。3 次 6-BA 处理对 NT68 侧枝长度的促进作用最大,而 NT823 番茄侧枝长度促进作用最大的处理是 4 次。上述结果说明,1 次 6-BA 处理有利于侧枝的产生,而 3~4 次 6-BA 处理更有利于侧枝的伸长和主茎的增粗,并抑制株高的增加。

综上所述,外源 NAA 和 6-BA 在番茄侧枝生长发育中表现出显著的抑制或促进效果,且其作用效果随浓度、处理次数和品种特性而异。本研究结果为番茄侧枝的调控提供了坚实的基础,对于开发高效、低成本的化学整枝技术,实现轻简化栽培具有重要的实践价值。通过优化 NAA 和 6-BA 的应用策略,有望降低番茄生产中的劳动力成本,提高生产效率和经济效益。未来的研究中,可通过转录组、蛋白组、激素互作分析等方式进一步解析激素调控番茄侧枝生长发育的分子机制,探索 NAA、6-BA 与其他

生长调节剂的协同效应,进而推动化学整枝技术的标准化、智能化,实现轻简高效的现代化农业生产。

### 参考文献:

- [1] ALI M Y, SINA A A, KHANDKER S S, et al. Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease; a review[J]. *Foods*, 2020, 10(1): 45.
- [2] 杨永政, 巩振辉, 梁燕. 樱桃番茄主要营养品质性状的配合力与遗传效应研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2007, 35(5): 179-183.
- [3] 王慧茹, 闫思华, 高艳明, 等. 不同整枝方式对樱桃番茄果实商品性、营养品质及产量的影响[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2021, 47(3): 347-353.
- [4] 张洪伦, 陈万英, 杨敏, 等. 番茄植株整形的研究综述[J]. *新农业*, 2020(21): 30-31.
- [5] 许洋. 侧枝摘除长度对番茄植株生长和产量的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- [6] 柴文臣. 工厂化育苗基质配比及生长调节剂对番茄苗期生长的影响[D]. 太原: 山西农业大学, 2017.
- [7] 聂波. 探究植物生长调节剂在番茄上的应用[J]. *河南农业*, 2020(26): 24-25.
- [8] THIMANN K V, SKOOG F. Studies on the growth hormone of plants[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1933, 19(7): 714-716.
- [9] DONG H, WANG J C, SONG X W, et al. HY5 functions as a systemic signal by integrating BRC1-dependent hormone signaling in tomato bud outgrowth[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2023, 120(16): e2301879120.
- [10] BERTHELOOT J, BARBIER F, BOUDON F, et al. Sugar availability suppresses the auxin-induced strigolactone pathway to promote bud outgrowth[J]. *New Phytologist*, 2020, 225(2): 866-879.
- [11] SONG X W, GU X H, CHEN S Y, et al. Far-red light inhibits lateral bud growth mainly through enhancing apical dominance independently of strigolactone synthesis in tomato[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2024, 47(2): 429-441.
- [12] BÉZIAT C, BARBEZ E, FERARU M I, et al. Light triggers PILS-dependent reduction in nuclear auxin signalling for growth transition[J]. *Nature Plants*, 2017, 3: 17105.
- [13] WANG F L, HU Z R, LUO H H, et al. The functional verification of CmSMXL6 from *Chrysanthemum* in the regulation of branching in *Arabidopsis thaliana*[J]. *Horticulturae*, 2024, 10(7): 718.
- [14] CAO X W, CUI H M, YAO Y, et al. Effects of endogenous hormones on variation of shoot branching in a variety of non-heading Chinese cabbage and related gene expression[J]. *Journal of Plant Biology*, 2017, 60(4): 343-351.
- [15] 董军, 洪莉, 陈令会, 等. 植物生长调节剂对甜樱桃坐果率的影响[J]. *浙江农业科学*, 2021, 62(12): 2435-2437, 2441.
- [16] 钱景扬. 芍药资源多样性分析及外源激素调控侧枝发育研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2024.
- [17] 李亚亚. 外源 6-BA 和 GA3 对蒙古栎株型的调控作用[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2023.
- [18] 李锡香, 杜永臣. 番茄种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [19] 孙倩. 独脚金内酯调控番茄侧枝生长的功能研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
- [20] 常海霞, 李静, 李明源, 等. 耐盐产吲哚乙酸(IAA)多功能菌株筛选及对盐胁迫小麦的促生效应[J]. *江苏农业学报*, 2025, 41(1): 9-20.
- [21] 庞丹丹, 刘玉飞, 蒋会兵, 等. 茶树完全不育花内源激素含量分析[J]. *南方农业学报*, 2025, 56(4): 1235-1244.
- [22] 彭明亮, 张敬敏, 王兴翠, 等. 叶面喷施钙与吲哚乙酸对番茄果皮生理特征及果实裂果的影响[J]. *江苏农业科学*, 2024, 52(17): 135-139.
- [23] 程辉玲, 杨建军, 程平, 等. 井式节水灌溉下红肉苹果花芽分化期间内源激素的动态变化[J]. *江苏农业科学*, 2024, 52(6): 166-172.
- [24] 陈浩杰, 江鸿, 戴玉娟, 等. 外源激素对西瓜幼苗侧枝发育、膜脂过氧化反应及光合特性的影响[J]. *中国瓜菜*, 2024, 37(3): 54-62.
- [25] 吴元彩, 王东登, 郑旭阳, 等. 激素和蔗糖对番茄子叶节位侧芽萌发与生长的影响[J]. *南方农业学报*, 2024, 55(2): 509-519.
- [26] 高妍婷, 赵文清, 石菁, 等. 萘乙酸诱导玉米瘤黑粉病抗性的生理机制[J]. *江苏农业学报*, 2025, 41(2): 242-250.
- [27] 邢恩杰. 组蛋白 H2A.Z 变体调控番茄侧枝生长的分子机制[D]. 扬州: 扬州大学, 2024.
- [28] GROSSMANN K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action[J]. *Pest Management Science*, 2010, 66(2): 113-120.
- [29] DOMAGALSKA M A, LEYSER O. Signal integration in the control of shoot branching[J]. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 2011, 12(4): 211-221.
- [30] 顾晓华. 远红光通过激素信号调控番茄侧枝发育的机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [31] 张中玮. 生长调节剂对映山红花期与光合特性的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [32] 马玲, 张鑫, 孟莹, 等. 喷施 GA3 和 6-BA 对“富士”苹果顶芽内源激素及成花成枝的影响[J]. *西北植物学报*, 2018, 38(5): 873-884.
- [33] 汪磊. 植物生长物质对菹草石芽形成与萌发的调节作用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.

(责任编辑: 石春林)