

# 喷施多效唑对大棚芥菜生长及氮素利用特征的影响

袁玉娟<sup>1</sup>, 朱煜雪<sup>2</sup>, 李进<sup>1,2</sup>, 徐晨伟<sup>1</sup>

(1. 南通科技职业学院 江苏南通 226007 2. 南通市农村专业技术协会 江苏南通 226009)

**摘要:** 为明确不同浓度多效唑对大棚芥菜生长、产量、氮素利用特征及品质的调控效应, 为芥菜优质高产栽培提供技术支撑, 以大叶芥菜为供试材料, 设置 5 个多效唑喷施浓度( $\rho$ , 后同)(50、100、150、200、250  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 以不施多效唑(C0)和不施多效唑与氮肥(CK)为对照。结果表明, 喷施适宜浓度多效唑可显著抑制芥菜徒长, 增加叶片数量, 促进地上部与地下部干物质积累, 其中 100  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理(C2)的株高较 C0 显著降低 16.41%, 叶片数最多, 比 C0 显著增加 7.14%, 地上鲜质量、地下鲜质量、地上干质量、地下干质量最大, 比 C0 分别显著增加 16.33%、28.81%、31.67%、36.83%; 产量随多效唑浓度升高呈先增后减的变化趋势, C2 产量最高, 达 21 645.19  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 较 C0 显著提高 12.86%; 氮素利用效率同步最优, C2 处理的总吸氮量、氮肥农学利用率、氮肥偏生产力、氮肥吸收利用率较 C0 分别显著提高 109.33%、59.04%、12.86%、90.69%。通过主成分分析计算各处理芥菜品质评价指标, C2 处理得分最高, 综合品质最好。5 个浓度处理的多效唑在芥菜中的降解符合一级动力学方程, 半衰期为 7.1~12.4 d, 采收时残留量均未超标。综上, 大棚芥菜喷施适当浓度的多效唑, 可促进生长, 提高产量及氮素利用率, 并改善品质, 其中 100  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (C2)处理效果最佳, 可以在生产上安全使用。

**关键词:** 芥菜; 多效唑; 生长; 氮素利用

中图分类号: S647

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)03-084-06

## Effects of paclobutrazol spraying on the growth and nitrogen utilization characteristics of *Capsella bursa-pastoris* in greenhouse

YUAN Yujuan<sup>1</sup>, ZHU Yuxue<sup>2</sup>, LI Jin<sup>1,2</sup>, XU Chenwei<sup>1</sup>

(1. Nantong Vocational College of Science and Technology, Nantong 226007, Jiangsu, China; 2. Nantong Rural Professional and Technical Association, Nantong 226009, Jiangsu, China)

**Abstract:** To clarify the regulatory effects of different concentrations of paclobutrazol on the growth, yield, nitrogen utilization characteristics, and quality of greenhouse-cultivated *Capsella bursa-pastoris*, and to provide technical support for its high-quality and high-yield cultivation, the large-leaf variety of *Capsella bursa-pastoris* was used as the test material. Five paclobutrazol spraying concentrations were applied (50, 100, 150, 200, 250  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), with control of no paclobutrazol application (C0) and no application of both paclobutrazol and nitrogen fertilizer (CK). The results showed that spraying an appropriate concentration of paclobutrazol could significantly inhibit excessive growth, increase leaf number, and promote dry matter accumulation in both aboveground and underground parts of *Capsella bursa-pastoris*. Among them, the 100  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  treatment (C2) significantly reduced plant height by 16.41% and increased leaf number by 7.14% compared to C0. It also resulted in the highest values for aboveground fresh mass, belowground fresh mass, aboveground dry mass, and belowground dry mass, which were significantly increased by 16.33%, 28.81%, 31.67%, and 36.83%, respectively, compared to C0. Yield exhibited a trend of initial increase followed by decrease with increasing paclobutrazol concentration. The C2 treatment achieved the highest yield of 21 645.19  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , which was a significant increase of 12.86% than C0. Nitrogen use efficiency was also optimal under the C2 treatment. Compared to C0, the total nitrogen uptake, agronomic nitrogen use efficiency, partial factor productivity of nitrogen, and nitrogen fertilizer recovery efficiency were significantly increased by 109.33%, 59.04%, 12.86%, and 90.69%, respectively. Principal component analysis of the quality evaluation indices for *Capsella bursa-pastoris* under different treatments showed that the C2 treatment had the highest score, indicating the best overall quality. The degradation of paclobutrazol in *Capsella bursa-pastoris* across the five treat-

收稿日期: 2025-08-05; 修回日期: 2026-01-12

基金项目: 南通市科技计划项目 (MS2024046, MS2024045)

作者简介: 袁玉娟, 女, 讲师, 主要从事园艺作物栽培相关研究。E-mail: 1647790861@qq.com

通信作者: 徐晨伟, 男, 讲师, 主要从事连作障碍土壤修复及园艺作物栽培相关研究。E-mail: ntkeycw@163.com

ments followed a first-order kinetic equation, with a half-life ranging from 7.1 to 12.4 days, and the residue levels at harvest did not exceed the maximum residue limits. In conclusion, foliar application of an appropriate concentration of paclobutrazol in greenhouse-cultivated *Capsella bursa-pastoris* can promote growth, increase yield, improve nitrogen use efficiency, and enhance quality. The C2 treatment ( $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) demonstrated the most favorable effects and can be safely used in production.

**Key words:** *Capsella bursa-pastoris*; Paclobutrazol; Growth; Nitrogen utilization

芥菜(*Capsella bursa-pastoris*)为十字花科芥菜属一、二年生草本植物,含有丰富的蛋白质、维生素C、Ca、P、Fe等营养成分,具有凉肝止血、平肝明目、清热利湿等功效<sup>[1]</sup>。作为一种为人所熟知的野菜,芥菜因特殊的香气以及极高的营养价值和药用价值而深受消费者喜爱,近年来对芥菜的需求量逐年增大,野生芥菜已远远不能满足城乡居民的需求,人工栽培芥菜蓬勃兴起<sup>[2]</sup>。大棚芥菜因投资小、周期短、效益高,在江苏省南通地区栽培面积不断增加,在优化产业结构、创汇出口、农民增收等方面发挥了重要作用。大棚内的气温较高、光强较弱、湿度较大,为追求高收益农民往往盲目投入较多的肥料,双重因素下芥菜徒长突出,产量与品质显著降低。多效唑(PP333)具有抑制植物赤霉素和吲哚乙酸合成,促进脱落酸、细胞分裂素及乙烯产生的双重作用,可延缓植物生长,降低株高,促进分蘖。在叶面喷施不同浓度多效唑可有效提高作物抗逆性及抗倒伏能力,并同时实现作物增产与品质优化,因此多效唑被广泛应用于我国蔬菜生产<sup>[3-5]</sup>。

芥菜生长期短、根系较浅、生长迅速,对肥料和养分的需求量较大,产量的提高大多依赖化肥的大量投入,尤其氮肥在推动芥菜增产中起非常重要的作用<sup>[6]</sup>。适当增加氮肥的施用量是作物获得高产的必要措施之一,然而过量施用氮肥不仅降低了作物对氮素的吸收和利用效率,而且造成作物种植效益降低、资源浪费和环境污染等一系列问题<sup>[7]</sup>。研究表明,多效唑可以提高高羊茅光合速率,并加快氮素吸收和运输<sup>[8]</sup>。多效唑和氮肥也是叶菜生产常用的调节手段,但关于多效唑和氮肥协同作用对芥菜生长影响的研究还未见报道<sup>[9-10]</sup>。鉴于此,笔者研究喷施不同浓度多效唑对芥菜产量、品质及氮素利用特征的影响,以期筛选出适宜芥菜生产的多效唑浓度,为芥菜产业可持续发展提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在南通科技职业学院薛窑基地大棚内进行,

土壤类型为潮土,前茬作物为辣椒。0~20 cm 土壤基本性质为 pH=6.4,有机质含量( $w$ ,后同)  $18.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全氮含量  $1.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,碱解氮含量  $128.56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全磷含量  $1.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效磷含量  $130.61 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全钾含量  $13.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾含量  $172.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 材料

供试芥菜品种为大叶芥菜,由江苏沿江地区农业科学研究所蔬菜研究室提供。处理药剂为多效唑 15%可湿性粉剂,由四川国光农化股份有限公司生产。

### 1.3 试验设计

2024年10月20日播种,播种量  $1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。播前基肥施尿素  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N含量46%)、过磷酸钙  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ( $\text{P}_2\text{O}_5$ 含量12%)、硫酸钾  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ( $\text{K}_2\text{O}$ 含量50%)。芥菜苗2片真叶时,进行第1次追肥,施尿素  $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;第2次追肥于收获前10d进行,施尿素  $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

芥菜3~4片真叶时喷施多效唑,设置5个浓度( $\rho$ ,后同)水平,分别为50、100、150、200、250  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,以不施多效唑和氮肥为空白对照(表1)。小区面积  $10 \text{ m}^2$ ,3次重复,随机区组排列。

表1 不同处理多效唑和氮肥施用量  
Table 1 Application amount of paclobutrazol and nitrogen fertilizer for different treatments

处理 Treatment	$\rho$ (多效唑) Paclobutrazol concentration/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	施氮量 Application amount of nitrogen fertilizer/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$
CK	0	0
C0	0	138
C1	50	138
C2	100	138
C3	150	138
C4	200	138
C5	250	138

### 1.4 测定指标与方法

喷施多效唑 5、10、15、20、30、40、50、60 d 采用“S”形取样,每小区选取10株芥菜,多效唑残留用液相色谱-串联质谱法测定。2025年1月7日芥菜

一次性采收,统计各处理的产量。计算小区平均产量,折算成 1 hm<sup>2</sup>产量。采收时芥菜去除黄叶,记录完全展开的叶片数量,拉直后采用直尺测量植株高度;地上部、地下部分开测定地上鲜质量、地下鲜质量;在烘箱中 105 °C杀青 30 min,然后 80 °C烘干至恒质量,测定地上干质量、地下干质量,粉碎后采用凯氏定氮法测定氮含量。芥菜采收后测定叶绿素、纤维素、可溶性蛋白、游离氨基酸、可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C、硝酸盐含量等指标,参照李合生<sup>[11]</sup>的方法测定。其中,叶绿素含量采用分光光度法,纤维素含量采用蒽酮比色法,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法,游离氨基酸含量采用氨基酸分析仪,可溶性糖含量采用苯酚-硫酸法,可溶性固形物含量采用 TD-45 手持式数显糖度计,维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚靛酚法,硝酸盐含量采用紫外分光光度法。

吸氮量/(g·m<sup>-2</sup>)=植株总干物质质量×氮含量<sup>[12]</sup>;

氮肥农学利用效率(kg·kg<sup>-1</sup>)=(施氮区产量-不施氮区产量)/施氮量<sup>[13]</sup>;

氮肥偏生产力(kg·kg<sup>-1</sup>)=施氮区实际产量/施氮量<sup>[13]</sup>;

氮素吸收利用率/%=(施氮区地上部总吸氮量-无氮区地上部总吸氮量)/施氮量×100<sup>[14]</sup>。(4)

### 1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 软件统计分析数据;采用 SPSS 9.50 软件对数据进行方差分析及显著性分析;采用 SPSS 9.50 软件对芥菜品质指标进行主成分分析,并对不同处理进行排序和评价<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度多效唑处理对芥菜生长的影响

由表 2 可知,C1、C2、C3、C4、C5 处理对芥菜株高均有明显的矮化作用,且株高随着喷施多效唑浓度的增加不断降低,5 个处理的株高较 C0 分别显著降低 13.71%、16.41%、24.50%、26.10%、30.58%;C1 处理的株高比 CK 降低 3.65%,但差异不显著;C2、C3、C4、C5 处理的株高较 CK 分别显著降低 6.66%、15.70%、17.49%、22.49%。C1、C2、C3、C4、C5 处理均促进芥菜叶片数量增加,其中 C2 处理的效果最好,较 C0、CK 分别显著增加 7.14%、11.80%。C1、C2、C3、C4、C5 处理的地上鲜质量、地下鲜质量、地上干质量、地下干质量随多效唑浓度增加均呈先升高后降低的变化趋势,其中 C2 处理的地上鲜质量、地下鲜质量、地上干质量、地下干质量最大,较 C0 分别显著提高 16.33%、28.81%、31.67%、36.83%,较 CK 分别显著提高 55.24%、31.03%、64.58%、37.92%。

表 2 不同浓度多效唑处理对芥菜生长的影响

Table 2 Effects of paclobutrazol treatments of different concentrations on the growth of *Capsella bursa-pastoris*

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	叶片数 Leaf number	地上鲜质量 Aboveground fresh mass/g	地下鲜质量 Underground fresh mass/g	地上干质量 Aboveground dry mass/g	地下干质量 Underground dry mass/mg
CK	15.61 b	16.1 c	5.92 e	0.58 c	0.48 e	81.46 c
C0	17.43 a	16.8 bc	7.90 c	0.59 c	0.60 d	82.11 c
C1	15.04 bc	17.2 ab	8.38 b	0.73 ab	0.72 b	95.23 b
C2	14.57 c	18.0 a	9.19 a	0.76 a	0.79 a	112.35 a
C3	13.16 d	17.5 ab	8.08 bc	0.71 ab	0.71 b	93.72 b
C4	12.88 d	17.8 a	7.33 d	0.68 b	0.65 c	85.74 c
C5	12.10 e	17.4 ab	6.26 e	0.60 c	0.57 d	83.50 c

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

### 2.2 不同浓度多效唑处理对芥菜产量的影响

由表 3 可知,C1、C2、C3、C4、C5 处理随着喷施多效唑浓度的增加,芥菜产量呈先升高后降低的变化趋势,C1、C2 处理的产量较 C0 分别显著提高 8.75%、12.86%;C3 处理的产量较 C0 提高 3.21%,但差异不显著;C4、C5 处理的产量较 C0 显著降低 6.97%、16.27%。C0、C1、C2、C3、C4、C5 处理的产量

较 CK 分别显著提高 27.84%、39.03%、44.28%、31.95%、18.90%、7.04%。

### 2.3 不同浓度多效唑处理对芥菜氮素利用率的影响

由表 4 可知,C1、C2、C3、C4、C5 处理的氮素利用率各指标随喷施多效唑浓度的增加均呈先升高后降低的变化趋势;C1 处理的总吸氮量、氮肥农学

表3 不同浓度多效唑处理对芥菜产量的影响

Table 3 Effects of paclobutrazol treatments of different concentrations on the yield of *Capsella bursa-pastoris*

处理 Treatment	产量 Yield/(kg·hm <sup>2</sup> )	比 C0+ More than C0+/%	比 CK+ More than CK+/%
CK	15 002.21 e		
C0	19 178.83 b		27.84
C1	20 857.57 a	8.75	39.03
C2	21 645.19 a	12.86	44.28
C3	19 795.42 b	3.21	31.95
C4	17 842.13 c	-6.97	18.93
C5	16 058.37 d	-16.27	7.04

利用率、氮肥偏生产力、氮肥吸收利用率较 C0 分别显著提高 64.22%、40.17%、8.75%、75.30%; C2 处理的氮素利用率最高,总吸氮量、氮肥农学利用率、氮肥偏生产力、氮肥吸收利用率较 C0 分别显著提高 109.33%、59.04%、12.86%、90.69%; C5 处理的总吸氮量、氮肥农学利用率、氮肥偏生产力最低,较 C0 分别显著降低 6.89%、74.73%、16.27%,氮肥吸收利用率比 C0 提高 1.21%,但差异不显著。

2.4 不同浓度多效唑处理对芥菜品质的影响

由表 5 可知,C1、C2、C3、C4、C5 处理的芥菜叶绿素和纤维素含量随喷施多效唑浓度增加持续升高,C5 处理最高,较 C0 分别显著提高 83.61%、72.82%,较 CK 分别显著提高 100.00%、34.09%。C1、C2、C3、C4、C5 处理的可溶性蛋白、游离氨基

表4 不同浓度多效唑处理对芥菜氮素利用率的影响

Table 4 Effects of paclobutrazol treatments of different concentrations on the nitrogen use efficiency of *Capsella bursa-pastoris*

处理 Treatment	总吸氮量 Total nitrogen uptake amount/(g·m <sup>-2</sup> )	氮肥农学利用率 Agronomic nitrogen use efficiency/(kg·kg <sup>-1</sup> )	氮肥偏生产力 Partial factor productivity of nitrogen/(kg·kg <sup>-1</sup> )	氮肥吸收利用率 Nitrogen fertilizer recovery efficiency rate/%
CK	3.14 g			
C0	4.50 e	30.27 d	138.98 c	9.88 e
C1	7.39 b	42.43 b	151.14 ab	17.32 b
C2	9.42 a	48.14 a	156.85 a	18.84 a
C3	6.95 c	34.73 c	143.45 bc	16.15 c
C4	5.30 d	20.58 e	129.29 d	12.67 d
C5	4.19 f	7.65 f	116.37 e	10.00 e

酸、可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C 含量基本呈先升高后降低的变化趋势,其中 C2 处理的可溶性蛋白、游离氨基酸、可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C 含量最高,较 C0 分别显著提高 32.30%、38.93%、10.83%、10.79%、13.01%,较 CK 分别显著提高 81.60%、109.20%、27.94%、23.61%、62.81%。C1、C2、C3、C4、C5 处理的芥菜硝酸盐含量随喷施多效唑浓度增加呈先下降后升高的变化趋势,其中 C2 处理最低,较 C0 显著下降 14.65%,较 CK 显著

表5 不同浓度多效唑处理对芥菜品质的影响

Table 5 Effects of paclobutrazol treatments of different concentrations on the quality of *Capsella bursa-pastoris*

处理 Treatment	ρ(叶绿素) Chlorophyll content/(mg·L <sup>-1</sup> )	w(纤维素) Cellulose content/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(游离氨基酸) Free amino acids content/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性糖) Soluble sugar content/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(维生素 C) Vitamin C content/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(硝酸盐) Nitrate content/(mg·kg <sup>-1</sup> )
CK	0.56 g	5.31 d	2.12 d	0.87 e	1.36 c	4.32 c	123.65 f	545.63 d
C0	0.61 f	4.12 f	2.91 c	1.31 c	1.57 b	4.82 b	178.14 bc	595.15 a
C1	0.68 e	4.87 e	3.22 b	1.49 b	1.62 b	5.13 a	185.61 b	556.37 cd
C2	0.77 d	4.91 e	3.85 a	1.82 a	1.74 a	5.34 a	201.32 a	507.95 e
C3	0.84 c	5.56 c	3.10 b	1.45 b	1.66 ab	5.23 a	175.89 c	572.46 bc
C4	0.97 b	6.61 b	2.87 c	1.13 d	1.41 c	5.09 a	163.07 d	584.61 ab
C5	1.12 a	7.12 a	1.98 e	0.68 f	1.16 d	5.11 a	146.10 e	590.12 ab

下降 6.91%。

2.5 主成分分析

将各处理芥菜品质 8 个指标(叶绿素、纤维素、可溶性蛋白、游离氨基酸、可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C 和硝酸盐含量)的原始数据无量纲化后进行主成分分析,计算出各因子在各主成分上的

载荷,可得各主成分的特征值和方差贡献率。根据提取特征值≥1 的原则,本试验提取 2 个主成分。第 1 主成分的方差贡献率为 61.648%,第 2 主成分的方差贡献率为 27.266%,累计方差贡献率为 88.914%,这 2 个主成分涵盖了品质评价指标原始信息量的 88.914%,可基本反映 7 个处理对芥菜品

表6 不同处理芥菜品质评价指标主成分分析  
Table 6 Principal component analysis of quality evaluation indices for *Capsella bursa-pastoris* under different treatments

营养品质指标 Nutritional quality indicator	载荷系数 Loading parameter	
	PC1	PC2
叶绿素含量 Chlorophyll content	-0.001	0.976
纤维素含量 Cellulose content	-0.406	0.896
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.927	-0.166
游离氨基酸含量 Free amino acids content	0.903	-0.284
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.836	-0.445
可溶性固形物含量 Soluble solids content	0.806	0.580
维生素 C 含量 Vitamin C content	0.986	-0.054
硝酸盐含量 Nitrate content	-0.247	0.169
特征值 Eigenvalue	4.932	2.181
方差贡献率 Variance contribution rate/%	61.648	27.266
累计方差贡献率 Cumulative contribution rate/%	61.648	88.914

质的影响(表6)。通过主成分分析计算7个处理的芥菜品质评价指标综合成分得分并对得分进行排序,如表7所示,7个处理综合得分排序依次为C2>C1>C3>C0>C4>C5>CK。不同浓度多效唑喷施均能改善芥菜品质,且其改善程度与多效唑喷施浓度关系密切。

表7 不同处理芥菜品质评价指标综合成分得分及排序  
Table 7 Comprehensive component scores and ranking of quality evaluation indices for *Capsella bursa-pastoris* under different treatments

处理 Treatment	D1	D2	D	排名 Rank
CK	-2.106 4	-2.823 6	-1.926 4	7
C0	0.662 2	-1.315 1	0.046 0	4
C1	1.616 6	-0.203 6	0.893 0	2
C2	3.522 4	0.582 3	2.242 1	1
C3	0.946 3	0.747 9	0.645 5	3
C4	-1.103 6	1.293 7	-0.466 6	5
C5	-3.537 4	1.718 5	-1.433 4	6

### 2.6 芥菜残留多效唑降解规律

由表8可知,C1、C2、C3、C4、C5处理的芥菜植株体内多效唑的降解规律均符合一级动力学方程,相关系数为0.944 8~0.996 9,均达到极显著水平,说明方程拟合度高,计算结果可靠,精确度高,能准确反映5个处理多效唑在芥菜上的降解规律。随着5个处理喷施多效唑浓度的增加,多效唑的降解半衰期从7.1 d逐渐延长到12.4 d。喷多效唑后60 d,C1、C2、C3处理的芥菜均未检出多效唑,

表8 不同处理芥菜的多效唑残留降解动态参数  
Table 8 Degradation dynamics parameters of paclobutrazol residues in *Capsella bursa-pastoris* under different treatments

处理 Treatment	降解方程 Degradation equation	R <sup>2</sup>	半衰期 Half-life/ d	终浓度 Final concentration/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
C1	Y=0.055 43e <sup>-0.115 93X</sup>	0.996 9**	7.1	0
C2	Y=0.154 03e <sup>-0.107 93X</sup>	0.944 8**	7.4	0
C3	Y=0.196 63e <sup>-0.096 63X</sup>	0.981 5**	7.8	0
C4	Y=0.228 54e <sup>-0.086 18X</sup>	0.985 3**	8.9	0.001 4
C5	Y=0.272 44e <sup>-0.065 53X</sup>	0.959 0**	12.4	0.007 5

注:\*\*表示在0.01水平极显著相关。

Note: \*\* represents extremely significant correlation at 0.01 level.

C4、C5处理的残留多效唑浓度分别为0.001 4、0.007 5 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 3 讨论与结论

芥菜生长指标是表征芥菜栽培效果的重要参数,喷施多效唑抑制赤霉素的生物合成和加速植株体内吲哚乙酸的分解,进而抑制植株的营养生长,浓度越高,植株越矮化<sup>[16]</sup>。多效唑在番茄幼苗上的应用表明,0.2 g·L<sup>-1</sup>多效唑浸种处理促进了番茄幼苗地上部和地下部干物质的积累,浓度过高或过低,效果均不理想<sup>[17]</sup>,与本试验的研究结果基本一致,芥菜叶面喷施中低浓度的多效唑促进生长,提高产量,100 mg·L<sup>-1</sup>最大限度地优化了生长相关指标,产量也最高,达21 645.19 kg·hm<sup>-2</sup>,喷施高浓度的多效唑对芥菜生长、产量反而起抑制作用。

芥菜属于绿叶菜类蔬菜,氮肥对其生长影响较大,氮素的充足供应是满足芥菜正常生长和获得较高产量的保障<sup>[18]</sup>。在本试验中,仅施氮肥的处理C0与不施肥的CK相比,芥菜的生长、品质、产量等性状总体均有较大幅度的改善。但生产中为了获得高产,普遍存在过量施氮现象,在增加成本的同时未被利用的氮素引发了一系列生态环境问题<sup>[19]</sup>。本试验发现,随着芥菜叶面喷施多效唑浓度增加,氮素利用率及品质指标(可溶性蛋白、游离氨基酸、可溶性糖、可溶性固形物、维生素C含量)均呈先上升后下降的趋势,硝酸盐含量呈先下降后上升的趋势。可能因为适当浓度多效唑喷施芥菜后,诱导硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性升高,加快对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的吸收、转运及转化,从而提高氮素利用率及可溶性蛋白、游离氨基酸、可溶性糖、可溶性固形物、维生素C含量;同时,氮素的高效利用也降低

硝酸盐在芥菜体内积累<sup>[8,20-21]</sup>。本研究结果表明,100 mg·L<sup>-1</sup>多效唑处理效果最好,浓度低效果不理想,浓度过高会起反作用。叶绿素是芥菜重要的外观品质,本试验对芥菜叶片喷施多效唑后,5个处理的叶绿素含量均显著高于对照,这可能是由于:一方面叶片生长受到抑制,叶片面积减小、叶厚增加,导致叶绿素含量相对增加;另一方面,多效唑调节营养物质在叶片中的分配,从而为叶绿素合成提供了有利条件<sup>[22]</sup>。目前,统一的认识是多效唑抑制植株体内赤霉素的生物合成,赤霉素含量降低可促进纤维素含量积累<sup>[23-24]</sup>。在本试验中,随着喷施多效唑浓度的增加,抑制了赤霉素的生物合成,从而导致纤维素含量不断提高。目前,多效唑在我国的登记作物包括水稻、小麦、大豆、花生、油菜、观赏菊花和南方水果,在我国蔬菜上未登记但栽培中使用广泛,也没有制定多效唑在蔬菜中的最大残留限量<sup>[25]</sup>。2019年1月18日,欧盟对豆类蔬菜多效唑的最大残留限量进行修订,修订后的最高限量为0.01 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[26]</sup>。本试验发现,多效唑在芥菜中的半衰期为7.1~12.4 d,采收时残留浓度为0~0.007 5 mg·kg<sup>-1</sup>,符合欧盟现行标准。

综上所述,对大棚芥菜喷施适当浓度的多效唑,可促进生长,提高产量及氮素利用率,并改善品质,且对环境友好、操作简单、成本低。多效唑使用效果受到芥菜品种、气候条件、肥水条件、栽培方式等多种因素的影响,需在小面积试验成功的基础上再大面积应用。本试验综合分析认为,100 mg·L<sup>-1</sup>多效唑处理效果最好,且在采收期无残留,可以在生产中安全施用。

### 参考文献

- 葛礼皎,程玉静,王小秋,等. GA<sub>3</sub>和6-BA对高温胁迫下芥菜种子萌发的影响[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(9): 108-115.
- 程玉静,王小秋,仇亮,等. 不同种砂比和行距对机播芥菜农艺性状和产量的影响[J]. 浙江农业科学, 2024, 65(10): 2358-2362.
- 蔡华,赵荣. 番茄应用多效唑的效应[J]. 安徽农业技术师范学院学报, 2000, 14(3): 33-35.
- 张瑛,李爱民,惠飞虎,等. 多效唑、烯效唑在茭白生产中的应用效果[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(12): 189-191.
- 王雪艳,姜艺昊,朱静如,等. 抑制辣椒幼苗植物生长延缓剂对辣椒生长发育的影响[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(5): 873-877.
- 武星魁,姜振萃,陆志新,等. 有机肥部分替代化肥氮对叶菜产量和环境效应的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(3): 349-356.
- 马雪峰,高旻,程治军,等. 植物氮素吸收与利用的分子机制研究进展[J]. 作物杂志, 2013(4): 32-38.
- 刘柯宁,张力允,刘博文,等. 多效唑对高羊茅弱光下生长及其碳氮代谢的调控作用[J]. 草地学报, 2023, 31(1): 105-111.
- 卢显宇. 多效唑对青花菜幼苗生长发育的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- 王军杰,刘发波,张芬,等. 优化氮肥管理条件下西南地区高产优质大白菜品种筛选[J]. 中国土壤与肥料, 2023(9): 192-199.
- 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.
- 胡雅杰,朱大伟,邢志鹏,等. 改进施氮运筹对水稻产量和氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 12-22.
- 王静,王允青,张凤芝,等. 脲酶/硝化抑制剂对沿淮平原水稻产量、氮肥利用率及稻田氮素的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(5): 211-216.
- 潘亚杰,朱晓辉,常会庆,等. 秸秆有机肥替代化学氮肥对菠菜生长和氮利用率的影响[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(3): 650-656.
- 陈梦瑶,翟芮瑾,林敏娟,等. 多效唑对‘波姬红’无花果植株生长及果实品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2025, 43(1): 117-124.
- 吕梦雯,徐金光,杜杰,等. 外源赤霉素和多效唑对芍药冬季鳞芽发育的影响[J]. 植物生理学报, 2018, 54(5): 790-802.
- 方雪娟,宋梦圆,高丽红,等. 多效唑和两种生物刺激素对番茄幼苗质量的影响[J]. 中国蔬菜, 2023(7): 57-62.
- 韩琬,王婷,高俊杰,等. 施氮量对有机基质栽培韭菜生长、品质及氮素利用的影响[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(10): 141-148.
- 殷琳毅,李进,袁春新,等. 生物有机肥替代化肥对土壤及芥菜产量、品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(1): 85-89.
- 梁任繁,符志新,周鹏,等. 基于多变量综合分析多效唑对甜瓜幼苗抗逆生理的影响[J]. 西北农业学报, 2025, 34(2): 280-289.
- 曹翠玲,胡潇,宋红星,等. B9与多效唑提高早熟禾抗旱性生理机制的研究[J]. 草业科学, 2004, 21(10): 78-82.
- 韩丛蔚,徐程扬. 多效唑和三碘苯甲酸对大叶黄杨根系和叶片氮积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(2): 328-336.
- 梁任繁,苏义成,仇惠君,等. 叶面喷施多效唑对网纹甜瓜幼苗农艺性状、内源激素的影响及其相互关系[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(6): 50-57.
- 邵庆勤. 叶面喷施多效唑提高小麦抗倒伏能力的生理机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- 兰珊珊,林昕,邹艳红,等. 蔬菜中多效唑残留的膳食暴露与风险评估[J]. 现代食品科技, 2016, 32(2): 336-341.
- 食品伙伴网. 欧盟修订豆类蔬菜等食品中多效唑等农药最大残留限量[EB/OL]. (2019-01-28)[2025-07-20]http://news.foodmate.net/2019/01/504282.html.