

夏渝静, 卢树昌, 张迎珂. 减氮与配施微生物菌剂对设施番茄产量、品质及氮素吸收的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(9): 189–195.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.09.026

# 减氮与配施微生物菌剂对设施番茄产量、品质及氮素吸收的影响

夏渝静, 卢树昌, 张迎珂

(天津农学院农学与资源环境学院, 天津 300392)

**摘要:**通过减氮与配施微生物菌剂对设施番茄产量、品质及氮素吸收的影响进行研究,为设施菜田氮素合理管理提供理论依据。本试验设计了 9 个处理,即 T1(常规施氮)、T2(减施 15% N)、T3(减施 15% N + 菌剂)、T4(减施 30% N)、T5(减施 30% N + 菌剂)、T6(减施 45% N)、T7(减施 45% N + 菌剂)、T8(减施 100% N)、T9(减施 100% N + 菌剂),研究番茄产量、品质、氮素吸收量和氮素利用率等。结果表明,施菌剂处理与不施菌剂处理相比,产量均有增加。适量减氮,番茄果实产量未出现下降,并且与菌剂结合下,产量有所增加,其中 T3 处理产量最大,为 151 851.85 kg/hm<sup>2</sup>,与 T1 处理相比增产了 15.22%。各处理总干物质质量最大亦为 T3 处理,即 16 823.28 kg/hm<sup>2</sup>,是 T1 处理的 1.14 倍,其次为 T2 处理。番茄总吸氮量和氮素利用效率最高的均是 T3 处理,总吸氮量为 369.58 kg/hm<sup>2</sup>,比 T1 处理增加了 25.06%;氮素利用效率达 30.99%,是 T1 处理的 2.09 倍。从番茄品质看,T7 处理番茄果实硝酸盐含量最低,为 185 mg/kg,较 T1 处理降低了 28.30%,其次为 T4 处理;T3 处理维生素 C、可溶性总糖含量及糖酸比等指标均最高。从土层间氮运移看,0~120 cm 土层硝态氮运移减缓效果较好的为 T2 和 T3 处理。综合来看,适量减氮与微生物菌剂结合施用能提高设施番茄产量、干物质质量及品质,同时能提高氮素的吸收、利用并减缓氮向下运移,T3 处理综合效果最好。

**关键词:**设施番茄;微生物菌剂;氮肥减量;产量;品质;氮素吸收

**中图分类号:**S144.1;S641.206 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)09-0189-06

番茄(*Solanum lycopersicum* Mill.),别称西红柿,是茄科番茄属 1 年生或多年生草本植物,是世界上重要的经济作物之一<sup>[1]</sup>。目前,我国是世界上设施蔬菜栽培面积最大的国家,设施蔬菜产业发展态势良好,种植面积稳定,设施蔬菜生产水平逐年提高<sup>[2-4]</sup>。氮素是蔬菜营养的三大要素之一,植物体内维生素、可溶性糖、蛋白质等物质含量均受其影响<sup>[5]</sup>。氮素在植株生长发育过程中发挥着至关重要的作用,通过迁移和沉积到达地面的氮素,能提高土壤中氮的有效性,促进植物根系的吸收和生长<sup>[6]</sup>。但设施栽培施氮量大<sup>[7]</sup>,施肥结构不合理等现象普遍存在。有统计资料显示,设施菜地氮肥施用量占全国氮肥施用量的 17%,远远高于大田作

物,对资源、经济以及环境都有影响<sup>[8]</sup>。过量施氮,未被植物吸收和利用的养分大部分会残留在土壤中<sup>[9]</sup>,会导致作物的根层长期处于富氮状态,氮素淋洗加剧,造成土壤酸化、次生盐渍化、面源污染等环境生态问题<sup>[10-11]</sup>。为了解决蔬菜高产与氮肥大量施用而引起蔬菜品质下降和环境污染这一矛盾,促进设施蔬菜优质生产和可持续发展已是亟待解决的问题。

土壤微生物和土壤氮素转化紧密相关,除少数对农作物有害外,大多数对农作物的生长发育起着重大作用<sup>[12]</sup>。微生物菌剂是有益微生物菌群以某种多孔物质为载体加工制成的微生物活菌制剂,能够在土壤或基质中繁殖,形成有利于植物生长的优势菌群,对病原微生物有拮抗作用<sup>[13]</sup>,能维持植物根际微生物区系平衡,降解有毒害物质,增强作物根部的抗病能力<sup>[14]</sup>,也可以改善土壤的酸碱度,调节 pH 值<sup>[15]</sup>。目前对微生物菌剂在作物增产、抗病性等方面的研究较多,但针对设施番茄微生物菌剂使用及其与氮肥的互作还鲜有报道。本试验结合生产实际,通过田间试验探讨了氮肥减量配施微生

收稿日期:2023-06-19

基金项目:天津市重点研发计划科技支撑重点项目(编号:19YFZCSN00290)。

作者简介:夏渝静(1998—),女,云南昆明人,硕士研究生,主要从事作物土壤环境关系研究。E-mail:jxia0601@qq.com。

通信作者:卢树昌,博士,教授,主要从事农田土壤质量与植物营养的教学与科研工作。E-mail:lsc9707@163.com。

物菌剂对设施番茄产量、品质及氮素吸收的影响研究,以期为设施番茄生产中氮肥减量、增产提质、改善土壤环境提供科学依据,并为微生物菌剂在生态农业中的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于天津市武清区大孟庄镇后幼庄村(116°57'E,39°32'N),该区为暖温带半干旱半湿润

大陆性季风气候。大棚夏季 6—8 月为休闲季,秋冬茬以叶菜类为主,冬春茬以果菜类为主。试验棚龄在 15 年以上,土壤地力较高,质地为中壤土,偏碱性,土壤氮累积比较严重,加之灌水量大,存在氮淋洗环境风险,土壤具体性状见表 1。基础土壤采样时间为 12 月,前期菌剂试验,未加入氮肥,土壤硝态氮含量有所降低,通常该设施土壤硝态氮含量约为 200 mg/kg。

表 1 试验地土壤基本性状

土层 (cm)	全氮含量 (g/kg)	硝态氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)	pH 值	C/N
0 ~ 30	2.29	147.22	313.48	537.68	27.6	7.84	7.00
30 ~ 60		94.98	113.65			8.04	
60 ~ 90		96.81	51.07			7.98	
90 ~ 120		89.81	18.66			7.95	

1.2 试验材料

供试作物:番茄品种为优柿三号,该品种果实熟性早,产量高,不易裂果,硬度好,耐储运。

供试材料:微生物菌剂为坤益健 50 农用微生物菌剂(文中简称为菌剂),购买于天津坤禾生物科技股份有限公司。功能菌为枯草芽孢杆菌、胶冻样类芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌,菌种比例为 3 : 1 : 3,有效活菌数 $\geq 50.0 \times 10^8$  CFU/g。功能菌的功效为分解土壤有机质、增进矿质营养释放、促进根系发育和抑制病害发生等。

试验肥料为尿素(N 含量 46%)、复合肥(氮磷钾含量均为 15%)、硝酸钙肥(N 含量 15%)、硫酸钾(K 含量 52%)、磷酸二铵(氮磷钾含量分别为 18%、46%、0)、芝麻酱(全氮含量 3.07%),均购自贵州芭田生态工程有限公司。

1.3 试验设计与管理

此试验是基于实际生产,从降低减产风险、确保番茄产量达到 105 000 kg/hm<sup>2</sup> 的水平下进行氮肥减量与菌剂结合的梯度设计。试验共设 9 个处理,即 T1(常规施氮)、T2(减施 15% 氮)、T3(减施 15% 氮 + 微生物菌剂)、T4(减施 30% 氮)、T5(减施 30% 氮 + 微生物菌剂)、T6(减施 45% 氮)、T7(减施 45% 氮 + 微生物菌剂)、T8(减施 100% 氮)、T9(减施 100% 氮 + 微生物菌剂)。每个处理 3 次重复。减施 100% N 为计算氮素吸收利用而设计的处理,不同处理施氮量及微生物菌剂用量详表 2。

试验于 2022 年 1—5 月在棚内进行,试验小区

表 2 各施肥试验处理设置

编号	处理	施氮量 (kg/hm <sup>2</sup> )	微生物菌剂用量 (kg/hm <sup>2</sup> )
T1	常规施氮	44	0
T2	减施 15% N	37	
T3	减施 15% N + 菌剂	37	24
T4	减施 30% N	31	0
T5	减施 30% N + 菌剂	31	24
T6	减施 45% N	24	0
T7	减施 45% N + 菌剂	24	24
T8	减施 100% N	0	0
T9	减施 100% N + 菌剂	0	24

面积 24.3 m<sup>2</sup> (6 m × 4.05 m),每个处理重复 3 次,其中常量施氮处理基肥占 40%,追肥占 60%,分 4 次施入。减氮处理在农户习惯性常量施氮基础上进行。菌剂在第 2 穗果膨大时开始施用,分 3 次追施,追施时期为每穗番茄果实膨大期。各处理磷钾施用一致,其中磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)总养分投入量为 540 kg/hm<sup>2</sup>,基追比 4 : 6,追肥分 3 次施入,钾(K<sub>2</sub>O)总养分投入量为 450 kg/hm<sup>2</sup>,基追比 5 : 5,追肥分 3 次施入。基肥施用芝麻酱 2 850 kg/hm<sup>2</sup>、复合肥 1 425 kg/hm<sup>2</sup>、硫酸钾(K 含量 52%) 420 kg/hm<sup>2</sup>、硝酸钙肥 285 kg/hm<sup>2</sup>。追肥中氮肥用尿素(含氮 46%)提供,磷肥用磷酸二铵(氮磷钾含量分别为 18%、46%、0)提供,钾肥用硫酸钾(K 含量 52%)提供,磷酸二铵中提供氮素部分从每次追肥氮素中扣除后,再计算尿素用量。追施时期均为每穗番茄果实膨大期。

灌水方式为畦灌。番茄栽培管理中侧枝及时摘除,同时根据植株生长状况去除下部老叶,每株留有 4 个果穗,1 个穗上留果量为 3~4 个。

#### 1.4 调查采样与测试

**1.4.1 样品采集与测定** 土壤样品:采集番茄生长初期及收获期 0~30、30~60、60~90、90~120 cm 土壤样品,每个处理采集处理小区前后半个小区的中心位置的两钻土,同层混合均匀,写好标签,进行自然风干和制备,测定土壤相关指标。硝态氮含量采用紫外分光光度法<sup>[16]</sup>测定。

植物样品:收获时,用电子秤称重并记录每个重复测产畦地上部分和地下部分(根系为 0~20 cm 土层深度)总鲜生物量,并选择与整体长势一致的植株 3 株,带回实验室,晾干粉碎;植物全氮含量采用 VELP 全自动凯氏定氮仪(上海晟声自动化分析仪器有限公司)<sup>[16]</sup>测定。

产量:统计从开始采收至持续采收 2 个月的番茄产量总和。

各部位吸氮量:各部位吸氮量 = 各部位干物质质量占比 × 全氮含量。

氮素利用效率 = (施肥区作物吸氮总量 - 无氮区作物吸氮总量) / 所施肥料中氮素的总量 × 100%。

果实品质测定:可溶性总糖含量用蒽酮比色法测定<sup>[16]</sup>,总酸含量用碱液滴定法测定<sup>[16]</sup>,维生素 C 含量用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定<sup>[16]</sup>,硝酸盐含量用紫外分光光度法测定<sup>[16]</sup>。

#### 1.5 数据处理与分析

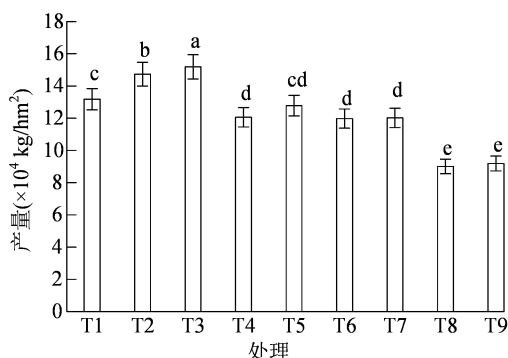
用 Excel 2010 进行数据处理,用 SPSS 22.0 软件进行统计分析,应用 Duncan's 法和 LSD 法进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对设施番茄产量的影响

番茄产量是衡量作物生长好坏的重要指标。由图 1 可知,不施菌剂的 T1、T2、T4、T6 和 T8 处理中,随着氮肥的减少,产量呈先增后减趋势,最大的是 T2 处理,为 147 325.10 kg/hm<sup>2</sup>,T2 较 T1 处理相比显著增产了 11.79%,而 T4 和 T6 处理较 T1 处理分别减产了 8.51% 和 9.13%,说明氮素能影响作物产量,适度的施氮可以增加番茄产量。增施微生物菌剂的 T3、T5、T7 和 T9 处理中,T3 处理的番茄产量最高,为 151 851.85 kg/hm<sup>2</sup>,其次为 T5 处理。而 T3 处理较 T1 和 T2 处理分别显著增产了 15.22% 和

3.07%,说明施菌剂有利于提高番茄的产量,且适量的减氮配施微生物菌剂能达到增产的最好效果,综合考虑,效果较好的处理为 T2、T3 处理。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下图同

图1 不同处理设施番茄产量状况

### 2.2 不同处理对设施番茄干物质质量的影响

由图 2 可知,不施菌剂的处理中,T2 处理总干物质质量最大,为 15 796.31 kg/hm<sup>2</sup>,其次为 T1 处理,为 14 749.06 kg/hm<sup>2</sup>,而 T2 处理较 T1 处理显著增加 7.10%,说明适量的氮素能促进番茄的生长。增施菌剂处理中 T3 处理的总干物质质量最大,为 16 823.28 kg/hm<sup>2</sup>,其次为 T5 处理。T3 处理与 T1 处理相比显著增加 14.06%,与相同减氮量不施菌剂的 T2 处理相比,总干物质质量增长 6.50%,果实部分增长 3.07%,茎叶部分增长 12.95%,说明增施微生物菌剂有利于番茄干物质的积累。综合考虑,较好的处理为 T2、T3 处理。

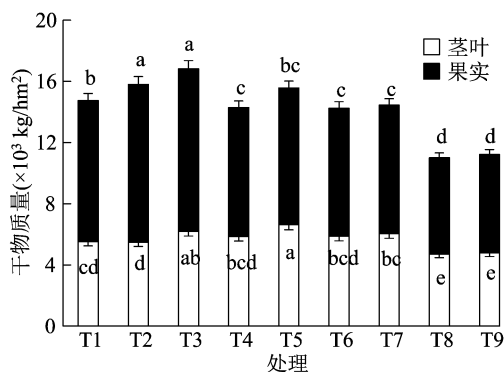


图2 不同处理设施番茄干物质质量状况

### 2.3 不同处理对设施番茄品质的影响

由表 3 可知,不施菌剂的处理中,T2、T4、T6 处理的番茄维生素 C 含量均高于 T1 处理,说明减少氮素施用能增加番茄维生素 C 的含量,提高番茄的营养。糖度和酸度能够调节番茄果实的口味,是评价番茄果实品质的一个重要指标。T1 处理的番茄糖酸比为 7.92,T2 处理和 T6 处理分别达到了 8.87

和 8.98,说明施氮量过高会降低番茄的风味,适当的施氮量能有效改善番茄的口味。T2、T4、T6 和 T8 处理番茄硝酸盐含量较 T1 处理均有减少,表明减少氮的施入可以降低果实中硝酸盐含量。

施菌剂的 T3、T5、T7 和 T9 处理中,T3 处理维生素 C 含量最高,较 T1 处理和 T2 处理分别显著增加

了 33.50% 和 17.10%,总糖含量、糖酸比均为 T3 处理最大,糖酸比达 9.79,较 T2 处理增加了 10.37%; T7 处理硝酸盐含量最低,较 T1 处理显著减少了 28.30%,说明增施微生物菌剂可以降低番茄果实中硝酸盐的含量。添加微生物菌剂可以提高番茄的营养品质,降低番茄总酸含量,改善番茄的风味。

表 3 不同处理设施番茄品质状况

处理	维生素 C 含量 (mg/100 g)	总糖含量 (g/100 g)	总酸含量 (g/100 g)	糖酸比	硝酸盐含量 (mg/kg)
T1	20.0 ± 1.00c	4.2 ± 0.21b	0.53 ± 0.027bc	7.92 ± 0.35cd	258 ± 12.9a
T2	22.8 ± 1.14b	4.7 ± 0.24a	0.53 ± 0.027bc	8.87 ± 0.44b	238 ± 11.9b
T3	26.7 ± 1.34a	4.7 ± 0.24a	0.48 ± 0.024c	9.79 ± 0.49a	226 ± 11.3bcd
T4	24.4 ± 1.22b	4.2 ± 0.21b	0.51 ± 0.026bc	8.24 ± 0.41bcd	188 ± 9.4e
T5	22.7 ± 1.14b	4.4 ± 0.22ab	0.52 ± 0.026bc	8.46 ± 0.42bc	231 ± 11.6bc
T6	24.0 ± 1.20b	4.4 ± 0.22ab	0.49 ± 0.025bc	8.98 ± 0.45b	207 ± 10.4d
T7	20.2 ± 1.01c	4.1 ± 0.21b	0.54 ± 0.027b	7.59 ± 0.38d	185 ± 9.3e
T8	16.4 ± 0.82d	4.1 ± 0.21b	0.60 ± 0.030a	6.83 ± 0.39e	215 ± 10.8cd
T9	19.6 ± 0.98c	4.2 ± 0.21b	0.50 ± 0.025bc	8.40 ± 0.42bc	211 ± 10.6cd

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

2.4 不同处理对设施番茄氮素吸收的影响

由表 4 可知,不施菌剂的 T1、T2、T4、T6 和 T8 处理番茄总植株吸氮量随氮肥用量的减少呈现先增后减趋势。T2 处理果实氮素吸收量最大,为 206.26 kg/hm<sup>2</sup>,较 T1 处理显著提高了 11.79%,说明适量的氮能促进番茄果实对氮素的吸收。施菌剂的处理番茄总植株吸氮量顺序依次为 T3 > T5 > T7 > T9,且 T3 处理较 T1 处理和 T2 处理相比增加了 25.06% 和 16.61%,果实的吸氮量 T3 处理最大,为 242.96 kg/hm<sup>2</sup>,施微生物菌剂的 T3、T5、T7、T9 处理分别与相同减氮量不施菌剂的 T2、T4、T6、T8 处理相比果实和总植株的氮素吸收量均有增加,说明增施微生物菌剂能提高番茄的吸氮量,适量地减少氮肥配施微生物菌剂能让氮素吸收量达到最大。综合考虑,T2、T3 处理对氮素吸收较好。

2.5 不同处理对氮素利用效率的影响

由图 3 可知,T1 ~ T7 处理的番茄氮素利用效率依次为 14.84%、21.54%、30.99%、17.62%、23.27%、22.15%、24.13%。不施菌剂的处理,氮素利用效率依次为 T6 > T2 > T4 > T1,T1 处理氮素利用效率最低,说明适量地减少氮肥施入,能提高氮素的利用效率。增施菌剂的处理,氮素利用效率依次为 T3 > T7 > T5,T3 处理的氮素利用效率是 T1 处理的 2.09 倍,且 T3 处理较 T2 处理氮素利用效率显

表 4 不同处理设施番茄的氮素吸收量

处理	氮吸收量(kg/hm <sup>2</sup> )		
	果实	茎叶	总植株
T1	184.51 ± 9.23c	111.02 ± 5.55b	295.53 ± 14.78bcd
T2	206.26 ± 10.31b	110.68 ± 5.53b	316.94 ± 15.85b
T3	242.96 ± 12.15a	126.61 ± 6.33a	369.58 ± 18.48a
T4	156.75 ± 7.84e	122.75 ± 6.14a	279.50 ± 13.97cd
T5	178.89 ± 8.94cd	126.85 ± 6.34a	305.74 ± 15.29bc
T6	155.68 ± 7.78e	121.61 ± 6.08a	277.29 ± 13.86d
T7	168.23 ± 8.41de	116.18 ± 5.81ab	284.41 ± 14.22cd
T8	99.08 ± 4.95g	98.47 ± 4.92c	197.56 ± 9.88e
T9	119.44 ± 5.97f	100.57 ± 5.03c	220.02 ± 11.00e

著提高了 44.07%,T5 处理较 T4 处理提高 32.07%,T7 处理较 T6 处理提高 8.94%,说明增施微生物菌剂有利于提高氮素的利用效率,而在适量减施氮肥的基础上配施微生物菌剂,氮素利用效率能达到最高值,综合考虑 T3 处理较好。

2.6 不同处理对各土层硝态氮运移的影响

由表 5 可知,不施菌剂的各减氮处理 30 ~ 60、60 ~ 90、90 ~ 120 cm 土层硝态氮含量降低的范围分别是 7.37% ~ 44.75%、32.09% ~ 45.24%、17.31% ~ 38.06%,30 ~ 60 cm 土层硝态氮含量降低较多的为 T1 和 T2 处理,分别为 44.75% 和 43.79%,60 ~ 90 cm 变化最大的为 T8 处理,其次是 T2 处理;90 ~

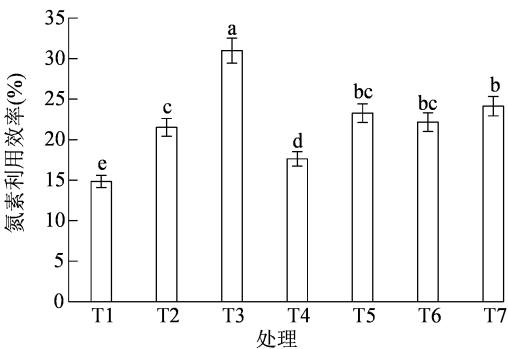


图3 不同处理对设施番茄的氮素利用效率的影响

表 5 不同处理各土层硝态氮运移状况

处理	硝态氮含量(mg/kg)				硝态氮含量变化率(%)			
	0 ~ 30 cm	30 ~ 60 cm	60 ~ 90 cm	90 ~ 120 cm	0 ~ 30 cm	30 ~ 60 cm	60 ~ 90 cm	90 ~ 120 cm
T1	82.13 ± 1.75d	45.38 ± 1.04e	55.77 ± 0.23f	61.63 ± 0.89d	—	-44.75	-32.09	-24.96
T2	157.03 ± 0.26a	88.27 ± 2.23b	95.06 ± 2.56b	97.27 ± 0.12b	—	-43.79	-39.46	-38.06
T3	123.27 ± 1.59b	74.20 ± 0.12c	87.38 ± 3.11c	83.84 ± 0.44c	—	-39.80	-29.11	-31.99
T4	58.50 ± 0.04f	54.19 ± 1.67d	60.42 ± 0.34e	65.31 ± 2.10d	—	-7.37	3.28	11.65
T5	67.62 ± 0.48e	42.66 ± 0.78f	55.61 ± 0.62f	65.54 ± 0.55d	—	-36.91	-17.76	-3.08
T6	59.84 ± 1.14f	46.19 ± 0.71e	72.43 ± 0.12d	87.85 ± 0.45c	—	-22.81	21.0	46.81
T7	89.11 ± 0.23c	115.94 ± 1.90a	131.04 ± 1.22a	136.24 ± 0.47a	—	30.10	47.05	52.89
T8	35.76 ± 0.04h	21.03 ± 0.48h	19.58 ± 1.00g	29.57 ± 4.55e	—	-41.18	-45.24	-17.31
T9	37.54 ± 0.04g	22.08 ± 0.50g	20.56 ± 1.05g	31.05 ± 4.78e	—	-42.46	-47.98	-29.96

注:各土层硝态氮变化率=[30 cm 下各土层硝态氮含量-(0~30 cm)土层硝态氮含量]/(0~30 cm)土层硝态氮含量×100%。

3 讨论

氮素是植物生长必需的大量营养元素之一,氮肥施用量的合理性决定了蔬菜产量的高低与品质的优劣<sup>[17]</sup>。本试验结果表明,在施氮过度的设施菜田土壤上,以常规施氮量为基础,梯度减少氮肥施入,随着施氮量的减少,番茄果实产量、总干物质量和总植株吸氮量均呈先增后减趋势。Cabelllo 等在田地中对甜瓜的研究表明,氮肥利用率随施氮量的减少而增加;过量的氮会降低果实的产量,还会降低果实的品质<sup>[18]</sup>,本研究结论与之一致。

除产量外,番茄品质与氮肥供应之间也有很大的关系,生产上不同施肥处理对果实品质的影响也是评价施肥量合适与否的标准<sup>[19]</sup>。有研究表明,减少氮肥施入能促进蔬菜维生素 C、可溶性糖含量积累<sup>[20]</sup>,同时降低草酸和硝酸盐的含量<sup>[21]</sup>,提高蔬菜的品质。本试验结果显示,随着氮肥施用量的减少,番茄硝酸盐含量呈减少趋势,维生素 C 含量呈先升后降的趋势,这与王亚晨的研究结论<sup>[22]</sup>一致。糖酸比是目前国际上较为常用的评价番茄品质的指标。本试验结果显示,适量的氮肥可以提高番茄

120 cm 降低变化最大的为 T2 处理,为 38.06%,说明减少 15% 的氮(T3 处理)减缓氮素向下运移的效果较好。施菌剂处理中,30~60、60~90 cm 土层土壤硝态氮变化率最大的均为 T9 处理,分别为 42.46%、47.98%,且均高于 T8 处理,其次是 T3 处理;90~120 cm 则是 T3 处理降低最多,降低了 31.99%,较 T1 处理显著提高 7.03 百分点,说明减氮与微生物菌剂结合可以降低土壤硝态氮向下移动。

的糖酸比,改善番茄的口味。

微生物菌剂含有数量十分丰富的微生物,可以提升土壤中微生物的数量和整体活性,调节土壤 pH 值<sup>[23]</sup>,其代谢产物也能丰富土壤中植物所需的基本物质,提高土壤肥力<sup>[24]</sup>,促进植物生长发育<sup>[25]</sup>,提高设施蔬菜的产量和品质<sup>[26-27]</sup>。本试验结果表明,增施微生物菌剂能提高番茄产量,番茄总干物质量有所增加,植株总的吸氮量和氮素利用效率与不施菌剂相比也有所提高,这与李沁爽等的研究结果<sup>[28-29]</sup>一致。在番茄品质上,适量减氮下增施微生物菌剂,维生素 C 含量和糖酸比有最高值,改善了番茄的品质与风味,这与刘赵帆等的研究结论<sup>[30-31]</sup>一致。

设施蔬菜高强度的施肥及灌溉增加了土壤硝态氮积累与淋洗风险<sup>[32]</sup>,本试验中适量减少氮肥能有效减缓硝态氮向下运移,这与刘晓彤等的研究结论<sup>[33]</sup>一致,表明氮肥施用量是影响土壤硝态氮积累的重要影响因素,降低氮肥用量可以降低硝态氮向下移动。增施菌剂处理的表层土壤硝态氮含量偏高,可能是受到微生物的影响,增加土壤有机质的同时也显著增加了土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度<sup>[34]</sup>。

## 4 结论

适量减氮配施微生物菌剂能提高番茄产量和干物质量的积累,T3 处理效果最好,果实产量高达 151 851.85 kg/hm<sup>2</sup>,总干物质量为 16 823.28 kg/hm<sup>2</sup>,较 T1 处理分别增加了 15.22% 和 14.06%。同时 T3 处理的植株总吸氮量最大,即 369.58 kg/hm<sup>2</sup>,较 T1 处理提高了 25.06%,氮素利用效率也最大,达到 30.99%,是 T1 处理的 2.09 倍。对番茄品质影响上,T3 处理维生素 C 含量为 26.7 mg/100 g,较 T1 处理增加 33.50%,糖酸比也为最大。本研究中施微生物菌剂可以减缓硝态氮向土壤下层移动,90 ~ 120 cm 土层 T3 处理降低最多,降低了 31.99%,较 T1 处理显著提高 7.03 百分点。

综上所述,在设施番茄生产中,T3 处理配施微生物菌剂处理可促进番茄对土壤中氮肥的吸收和利用率,提高番茄产量、品质,改善土壤环境。

### 参考文献:

- [1] 牛艳,王晓静,陈翔,等. 中国番茄产业发展的现状问题和对策及宁夏番茄产业发展成效[J]. 黑龙江农业科学,2022(12): 70–74.
- [2] 李浩. 我国设施农业发展现状、障碍及对策研究[J]. 南方农机,2021,52(23):34–37.
- [3] 彭澎,梁龙,李海龙,等. 我国设施农业现状、问题与发展建议[J]. 北方园艺,2019(5):161–168.
- [4] 周杰,夏晓剑,胡璋健,等. “十三五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望[J]. 中国蔬菜,2021(10):20–34.
- [5] 马晓菲,谢文霞,赵全升. 外源氮输入对土壤 N<sub>2</sub>O 释放的影响研究进展[J]. 环境科学与技术,2010,33(增刊2):453–457.
- [6] Trocha L K, Bułaj B, Kuczyńska P, et al. The interactive impact of root branch order and soil genetic horizon on root respiration and nitrogen concentration[J]. Tree Physiology, 2017, 37(8):1055–1068.
- [7] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(9):3041–3046.
- [8] 王维汉. 设施菜地水肥管理对农田土壤 N<sub>2</sub>O 排放的研究进展[J]. 南方农业,2018,12(33):28–29.
- [9] 乔亚振,王大凤,卢树昌,等. 生物炭施用对夏填闲甜高粱氮素吸收及土壤氮层间运移的影响[J]. 天津农业科学,2021,27(3):53–56.
- [10] 姜慧敏,张建峰,李玲玲,等. 优化施氮模式下设施菜地氮素的利用及去向[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(5):1146–1154.
- [11] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968):1008–1010.
- [12] 戴航宇. 微生物对水田化肥氮素利用率的影响[J]. 国土与自

- 然资源研究,2010(2):82–83.
- [13] Ghosh T S, Chatterjee S, Azmi S A, et al. Virulence assay and role of *Bacillus thuringiensis* TS110 as biocontrol agent against the larval stages of rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* [J]. Journal of Parasitic Diseases, 2017, 41(2):491–495.
- [14] 崔文会,炊春萌,孙雪,等. 贝莱斯芽孢杆菌对果蔬土传病害的抑菌效果研究[J]. 工业微生物,2020,50(5):15–20.
- [15] Holzapfel C, Shahrokh P, Kafkewitz D. Polyphenol oxidase activity in the roots of seedlings of *Bromus* (Poaceae) and other grass genera [J]. American Journal of Botany, 2010, 97(7):1195–1199.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社, 2000:40–73.
- [17] 刘燕妮,吕昊峰,赵以铭,等. 生物炭和氮肥施用量对番茄生长和水氮利用效率的影响[J]. 华北农学报,2019,34(2):198–204.
- [18] Cabello M J, Castellanos M T, Romojaro F, et al. Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(5):866–874.
- [19] 刘长庆. 不同氮肥用量对保护地番茄产量、品质及土壤微生物的影响[J]. 山东农业科学,2012,44(12):75–77.
- [20] Pirlak L, Turan M, Sahin F, et al. Floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) to apples increases yield, growth, and nutrient element contents of leaves [J]. Journal of Sustainable Agriculture, 2007, 30(4):145–155.
- [21] 吕海龙,王姣敏,郭子军,等. 氮肥减量配施不同生物有机肥对芹菜生长和产量品质的影响[J]. 土壤与作物,2021,10(3):273–281.
- [22] 王亚晨. 氮肥减施对不结球白菜产量和品质的影响[D]. 南京:南京农业大学,2017:19–51.
- [23] Li Z F, Bai X L, Jiao S, et al. A simplified synthetic community rescues *Astragalus mongholicus* from root rot disease by activating plant-induced systemic resistance [J]. Microbiome, 2021, 9(1):217.
- [24] 马慧媛,黄媛媛,刘胜尧,等. 微生物菌剂施用对设施茄子根际土壤养分和细菌群落多样性的影响[J]. 微生物学通报,2020,47(1):140–150.
- [25] Esitken A, Yildiz H E, Ercisli S, et al. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry [J]. Scientia Horticulturae, 2010, 124(1):62–66.
- [26] 库永丽,徐国益,赵骅,等. 微生物肥料对猕猴桃高龄果园土壤改良和果实品质的影响[J]. 应用生态学报,2018,29(8):2532–2540.
- [27] 朱丽,殷敏,任荣荣,等. 3 种微生物菌剂对基质栽培草莓生长发育、果实产量品质和病害的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(1):155–160.
- [28] 李沁爽,郭天文,谭雪莲,等. 微生物菌剂对马铃薯植株干物质累积、土壤酶活性及产量的影响[J]. 国土与自然资源研究, 2022(2):91–94.
- [29] 陈一慧. 高磷土壤中微生物菌剂对作物氮磷营养及根际微环境的影响[D]. 济南:山东大学,2021:16–48.
- [30] 刘赵帆. 微生物菌肥替代部分化肥对设施黄瓜生长、品质及产量的影响[J]. 北方园艺,2022(2):47–53.

胡永波,雷雨田,杨永森,等.芸苔素内酯喷施对黄瓜幼苗耐旱性的影响[J].江苏农业科学,2024,52(9):195-203.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.09.027

# 芸苔素内酯喷施对黄瓜幼苗耐旱性的影响

胡永波,雷雨田,杨永森,罗楚渺,申宝营

(福建农林大学园艺学院/福建农林大学蔬菜研究所,福建福州 350002)

**摘要:**为研究芸苔素内酯对黄瓜幼苗耐旱性的影响,以黄瓜品种中农 106 号为试验材料,在黄瓜生长第 8 天(1 叶 1 心期)后分别喷施 0.00、0.05、0.10、0.20  $\mu\text{mol/L}$  的 2,8-表高芸苔素内酯溶液后进行干旱胁迫,同时以等量清水喷施的不干旱处理作为对照。断水 48 h 后恢复浇水使其继续生长,5 d 后对黄瓜幼苗的生长量、抗氧化体系、渗透调节物质、过氧化物、叶绿素荧光参数等指标进行测定。结果表明,与未喷施芸苔素内酯处理组相比,叶面喷施芸苔素内酯可以有效缓解黄瓜叶片光合系统损伤,提高黄瓜叶片中的 SOD 保护酶活性和脯氨酸的含量,同时减少丙二醛的累积,进而减轻黄瓜幼苗在干旱胁迫下受到的损害,有效促进黄瓜幼苗下胚轴长、株高、茎粗、叶面积、根长度、根表面积、植株鲜重和光合能力等多项指标的增长,有利于干旱胁迫后黄瓜幼苗的恢复生长,增强黄瓜幼苗的抗旱能力。其中以 0.10  $\mu\text{mol/L}$  芸苔素内酯稀释液喷施叶片,对促进黄瓜幼苗干旱胁迫后恢复生长的综合效果最好,其光合能力最优, SOD 活性较 0.00  $\mu\text{mol/L}$  约提高 3.41%,脯氨酸含量较 0.00  $\mu\text{mol/L}$  约提高 9.36%,丙二醛含量较 0.00  $\mu\text{mol/L}$  约降低 43.20%。综上表明,芸苔素内酯喷施可减轻黄瓜幼苗在干旱胁迫下受到的损害,提升黄瓜幼苗耐旱性。

**关键词:**黄瓜;干旱胁迫;芸苔素内酯;生长量;光合作用

**中图分类号:**S642.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)09-0195-09

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)别称胡瓜、刺瓜等,葫芦科黄瓜属,含有丰富的营养成分,且在世界范围内大面积栽培。黄瓜在生产中,无论是露地还是设施种植都会面临连续种植或反季节种植导致的干旱、盐分、病害和弱光等各种不利条件的影响,这将导致黄瓜产量和品质严重下降。黄瓜根系浅,吸收能力较差,而叶片却大而薄,蒸腾旺盛,对水分和湿

度较为敏感,必须保证充足的水分供给才能维持生长,保障产量和品质<sup>[1]</sup>。干旱胁迫会持续对黄瓜的细胞、组织和器官造成损害,导致黄瓜光合作用减弱,生长受到抑制,各项生长指标增长缓慢或停滞<sup>[2]</sup>。因此,提高黄瓜的抗旱能力,降低干旱胁迫对黄瓜生长造成的损害是一项意义重大的研究工作。

芸苔素内酯(brassinosteroids, BRs)又名油菜素内酯,是一种环境友好型植物激素,能够促进作物生长发育,提高园艺产品的品质和贮藏时的防腐保鲜效果<sup>[3]</sup>。多项研究表明,芸苔素内酯还可以增强植株对低温、弱光、干旱、盐分和重金属的多种非生物胁迫的抗性<sup>[4]</sup>。如习世宏等研究发现,油菜素内酯可以在一定程度上减轻干旱胁迫对花椒幼苗造成的伤害,试验中油菜素内酯较适宜的喷施浓度是 0.01  $\text{mg/L}$ <sup>[5]</sup>;樊玉花等在对干旱胁迫下马缨杜鹃生理变化的研究中发现,油菜素内酯(BR)处理可以促进渗透调节物质的增长,降低马缨杜鹃体内膜脂

收稿日期:2023-06-27

基金项目:福建省教育厅中青年教师教育科研项目(编号:JAT210076);福建农林大学乡村振兴服务团队“设施种苗工程服务团队”建设项目(编号:11899170126);福建农林大学园艺学院青年学术骨干培养基金;福建农林大学科技创新专项(编号: CXZX2020141C)。

作者简介:胡永波(2000—),男,江西南昌人,硕士研究生,主要从事蔬菜生理生化与生态研究。E-mail:194997643@qq.com。

通信作者:申宝营,博士,讲师,主要从事设施园艺方面的研究与教学工作。E-mail:shenby889@foxmail.com。

[31]贺冰,赵月平,邵秀丽,等.微生物菌剂与化学肥料配施对番茄幼苗生长的影响[J].河南农业大学学报,2010,44(5):528-531.

[32]赵营,张学军,罗健航,等.施肥对设施番茄-黄瓜养分利用与土壤氮素淋失的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(2):374-383.

[33]刘晓彤,吴涛,赵营,等.减施氮肥与添加秸秆对设施黄瓜-茄子轮作土壤硝态氮累积与淋失的影响[J].中国土壤与肥料,2022(10):28-33.

[34]罗玉兰,田龚,张冬梅,等.微生物菌剂对连栋大棚土壤养分及硝态氮累积的影响[J].中国农学通报,2015,31(13):224-228.