

陈 珣, 杨 镇, 曹 君, 等. 人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗生长及氮代谢相关指标的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(5): 1111-1116.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.05.023

人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗生长及氮代谢相关指标的影响

陈 珣, 杨 镇, 曹 君, 刘国丽, 龚 娜

(辽宁省农业科学院食用菌研究所, 辽宁 沈阳 110161)

摘要: 以番茄幼苗为试验材料, 研究不同浓度(10 $\mu\text{g/ml}$ 、5 $\mu\text{g/ml}$ 和1 $\mu\text{g/ml}$)的人参内生菌(*Alternaria* sp.)提取物在 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫(75 mmol/L)下对番茄幼苗生长及氮代谢相关指标的影响。结果表明, 与清水对照相比, 硝酸盐胁迫处理下番茄幼苗生长受到抑制, 可溶性蛋白含量、脯氨酸含量、硝态氮含量和氮代谢相关酶活性均受到影响。人参内生菌提取物浓度为5 $\mu\text{g/ml}$ 的处理明显缓解了硝酸盐胁迫对番茄幼苗生长造成的伤害, 显著提高了可溶性蛋白含量、硝酸还原酶(NR)活性、谷氨酰胺合成酶(GOGAT)活性和谷氨酸脱氢酶(GDH)活性, 并显著降低了脯氨酸含量, 说明5 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理对硝酸盐胁迫下番茄幼苗生长和氮代谢的调节效果最佳。

关键词: 番茄幼苗; 硝酸盐胁迫; 人参内生菌提取物; 氮代谢

中图分类号: S641.2; X53 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2017)05-1111-06

Effects of extracts from Ginseng endophytic fungi on the growth and nitrogen metabolism of tomato seedlings under $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress

CHEN Xun, YANG Zhen, CAO Jun, LIU Guo-li, GONG Na

(Institute of Edible Fungi, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract: Three different concentrations of extracts from Ginseng endophyte were used to treat tomato seedlings, and the effects of extracts from Ginseng endophyte on the growth and nitrogen metabolism of tomato seedlings under $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress were studied. The results showed that the growth of tomato seedlings under $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress was inhibited, the soluble protein content, proline content, nitrate nitrogen content and the activity of enzymes related to nitrogen metabolism were all affected, compared with the control group. 5 $\mu\text{g/ml}$ of extracts from endophyte could alleviate the injury of plant caused by $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress, significantly improve the soluble protein content, NR activity, GOGAT activity and GDH activity, and significantly reduce the content of proline. This suggested that the treatment of irrigating 5 $\mu\text{g/ml}$ endophyte extracts showed the best effects on the growth and nitrogen metabolism of tomato seedlings under nitrate stress.

Key words: tomato seedlings; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress; extracts from Ginseng endophyte; nitrogen metabolism

收稿日期: 2017-07-10

基金项目: 辽宁省科学事业公益基金项目(2015002006); 沈阳市科技攻关项目(17163300)

作者简介: 陈 珣(1979-), 女, 辽宁沈阳人, 硕士, 助理研究员, 主要从事农业微生物方面的研究。(Tel) 13840424970; (E-mail) chenxun_82_ren@126.com

通讯作者: 龚 娜, (E-mail) doll52133@163.com

土壤盐渍化是影响生态环境和农业生产的全球性问题。近年来, 随着设施栽培面积的日益扩大, 温室土壤的次生盐渍化程度越来越严重^[1-2], 硝酸盐的积累是土壤次生盐渍化的主要影响因子之一。番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)作为设施栽培中种植面积最大的蔬菜作物之一, 被认为是中等耐盐植

物^[3]。潘瑞炽^[4]指出,发芽期和幼苗期是植物对盐胁迫最敏感的时期。番茄苗期若受到高浓度盐类物质危害,会导致幼苗老化、生长受阻甚至产生畸形果,严重影响番茄产量和品质,还会积累大量亚硝酸盐,危害人们健康。

氮代谢是植物体内最重要的代谢过程,其变化动态直接影响着矿质营养元素的吸收以及蛋白质的合成^[5]。盐胁迫导致植物体内氮素营养缺乏,造成植株体内氮代谢紊乱,氮同化相关酶活性发生变化,影响植物对氮素的利用,打破了植物的养分平衡^[6]。因此,氮代谢的调控对提高盐胁迫条件下植物的抗盐能力至关重要。

植物内生菌是指那些在其生活史的一定阶段或全部阶段生活于健康植物各种组织和器官内部,又不会引起植物明显病害的一类微生物。内生菌能与植物形成互惠互利的共生关系,如产生多种植物激素,促进植物生长,提高植物氮吸收和氮代谢水平^[7-8]。Lyons 等^[9]在研究苇状羊茅内生真菌(*Neotyphodium coenophialum*)与高羊茅(*Festuca arundinacea*)共生时,发现内生真菌对感染植株的氮积累和氮代谢有显著影响。袁志林等^[10]用内生真菌 B3 感染水稻后发现,B3 产生的多种游离氨基酸可以作为水稻合成激素类物质的前体,从而影响水稻的氮代谢。

植物内生菌具有丰富的物种,其提取物也多种多样。目前,关于植物内生菌对氮代谢影响的报道较多,但是关于植物内生菌提取物对盐胁迫下植物生长和氮代谢影响的报道较少。本试验拟采用浇灌根部的方式,研究不同浓度人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗生长及氮代谢相关指标的影响,探索通过人参内生菌提取物来缓解盐胁迫的可能途径,以期增强盐胁迫下番茄幼苗的氮代谢水平,减轻盐伤害以及提高番茄幼苗的耐盐性等方面提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为 L402。供试内生菌为人参根系内生菌,菌株为链格孢属(*Alternaria* sp.),是前期试验筛选的最优菌株,由辽宁省农业科学院食用菌研究所分离保存。

1.2 试验方法

1.2.1 内生菌提取物制备

将供试菌株液体培养

至对数生长期,滤出菌丝体,烘干后研磨,然后用 20% 无水乙醇浸提 3 次,合并滤液,获得内生菌提取物,并测定其菌丝体提取物的浓度。

1.2.2 田间试验 试验于 2017 年 3-5 月在辽宁省农业科学院蔬菜研究所试验基地进行。3 月 15 日播种,待幼苗长至 3 叶 1 心时,采用人参内生菌提取物灌根。

试验设置为:10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 人参内生菌提取物处理(T1),5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 人参内生菌提取物处理(T2),1 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 人参内生菌提取物处理(T3),0 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 人参内生菌提取物处理(T4),每穴 10 ml,处理 7 d 后,用 75 mmol/L $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 溶液(经预备试验后确定的浓度)对 T1、T2、T3、T4 处理的番茄幼苗进行胁迫处理,每穴 10 ml,以清水处理为对照(CK)。采用完全随机区组排列,每个处理 10 株,3 次重复,采用常规方法进行管理。20 d 后取样,测定各项指标。

1.3 取样方法

番茄幼苗取出后,用去离子水冲洗,然后用吸水纸将植株吸干。

根苗形态和鲜质量测定取样:每个处理取 4 株,将根苗分开,用于测量株高、茎粗、根长、地上鲜质量和地下鲜质量。

干质量测定取样:将测定完形态和鲜质量的根、苗分装,置于 105 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中杀青 30 min,然后 80 $^{\circ}\text{C}$ 烘至质量恒定,用于地上干质量和地下干质量测定。

叶片氮代谢相关指标测定取样:每个处理取 5 株,将叶片液氮速冻后置于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 下保存,用于氮代谢相关指标的测定。

1.4 指标测定方法

可溶性蛋白含量:采用 Bradford 蛋白浓度测定试剂盒进行测定。

脯氨酸含量:参照 Bates^[11]方法进行测定。

硝态氮含量:参照张以顺等^[12]的水杨酸法进行测定。

硝酸还原酶(NR)活性:采用南京建成硝酸还原酶(NR)测试盒进行测定。

谷氨酰胺合成酶(GS)活性:参照张以顺等^[12]的方法进行测定。

谷氨酸合成酶(GOGAT)和谷氨酸脱氢酶(GDH)活性:参照 Srivastava 等^[13]的方法进行测定。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理与图表

制作,采用 SPSS19.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗生长的影响

表 1 显示,硝酸盐胁迫处理(T4),番茄幼苗株高、茎粗、根长、地上鲜质量、地下鲜质量、地上干质量、地下干质量等各项指标均低于清水处理(CK)。3 个不同浓度人参内生菌提取物处理下,各项指标均随人参内生菌提取物浓度的降低呈现先上升后降低的

变化趋势。其中 5 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理(T2)与硝酸盐胁迫处理(T4)在株高、茎粗、地上鲜质量、地上干质量等方面差异达显著水平,根长、地下鲜质量、地下干质量虽然差异没有达到显著水平,但是 5 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理(T2)下的根长、地下鲜质量、地下干质量分别比硝酸盐胁迫处理(T4)的根长、地下鲜质量、地下干质量提高了 6.25%、14.34%、12.50%。说明 5 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理(T2)明显促进了番茄幼苗的生长和干物质积累。

表 1 人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗生长的影响

Table 1 Effects of extracts from Ginseng endophyte on the growth of tomato seedlings under $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress

处理	株高 (cm)	茎粗 (cm)	根长 (cm)	地上鲜质量 (g)	地下鲜质量 (g)	地上干质量 (g)	地下干质量 (g)
CK	20.60±1.49bc	0.55±0.02c	17.50±0.87b	25.01±0.43d	2.74±0.20b	3.06±0.10c	0.68±0.05c
T1	16.83±1.26a	0.48±0.03a	13.50±3.04a	13.09±1.81a	1.90±0.09a	1.61±0.30a	0.42±0.02a
T2	21.33±0.58c	0.54±0.01c	17.00±1.00b	18.58±1.42c	2.87±0.25b	2.79±0.16c	0.54±0.05b
T3	20.17±1.04bc	0.52±0.02bc	15.00±1.00ab	16.36±1.47bc	2.54±0.23b	2.32±0.16b	0.53±0.02b
T4	18.84±1.04ab	0.51±0.01ab	16.00±1.00ab	16.16±0.32b	2.51±0.22b	2.35±0.16b	0.48±0.10ab

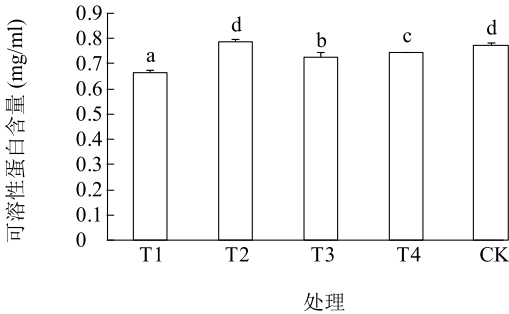
T1:10 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理+75 mmol/L $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 处理;T2:5 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理+75 mmol/L $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 处理;T3:1 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理+75 mmol/L $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 处理;T4:0 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理+75 mmol/L $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 处理;CK:清水处理对照。同列数据后不同小写字母表示各处理间差异显著($P<0.05$)。

2.2 人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗可溶性蛋白含量的影响

图 1 显示,硝酸盐胁迫处理(T4),番茄幼苗叶片中的可溶性蛋白含量显著低于对照(CK),降幅为 4.00%。5 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理(T2)后的番茄幼苗叶片中可溶性蛋白含量显著高于硝酸盐胁迫处理(T4)番茄幼苗叶片中的可溶性蛋白含量,增幅为 5.78%,而 10 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理(T1)和 1 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理(T3)番茄幼苗叶片中的可溶性蛋白含量低于硝酸盐胁迫处理(T4)。说明 5 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理对硝酸盐胁迫下番茄幼苗可溶性蛋白含量的调节作用最为明显。

2.3 人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗脯氨酸含量的影响

图 2 显示,硝酸盐胁迫处理(T4),番茄幼苗叶片中脯氨酸含量显著增高,是对照(CK)的 20 倍。经过 10 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理(T1)、5 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理(T2)和 1 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理(T3)后,番茄幼苗叶片脯氨酸含量均显著低于硝酸盐胁迫处理

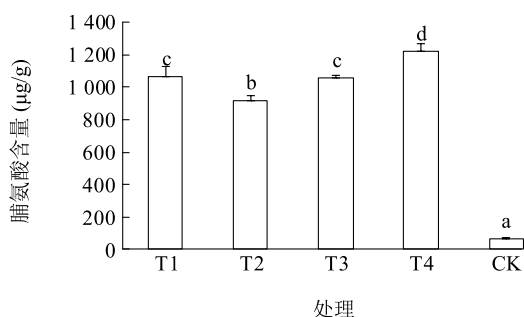


T1、T2、T3、T4、CK 见表 1 注。不同小写字母表示各处理间可溶性蛋白含量差异显著($P<0.05$)。

图 1 人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗可溶性蛋白含量的影响

Fig.1 Effects of extracts from Ginseng endophyte on the soluble protein content of tomato seedlings under $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress

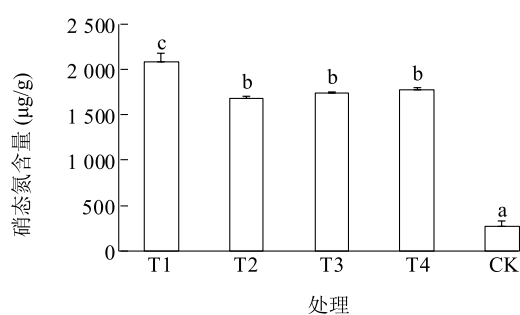
(T4)番茄幼苗叶片中脯氨酸含量,分别降低了 12.60%、24.66%和 13.46%。同时发现,随着人参内生菌提取物浓度的降低,番茄幼苗叶片中的脯氨酸含量先降低后升高,说明 5 $\mu\text{g/ml}$ 人参内生菌提取物处理(T2)对硝酸盐胁迫下番茄幼苗脯氨酸含量的影响最大。



T1、T2、T3、T4、CK 见表 1 注。不同小写字母表示各处理间脯氨酸含量差异显著 ($P < 0.05$)。

图 2 人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗脯氨酸含量的影响

Fig.2 Effects of extracts from Ginseng endophyte on the proline content of tomato seedlings under $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress



T1、T2、T3、T4、CK 见表 1 注。不同小写字母表示各处理间硝态氮含量差异显著 ($P < 0.05$)。

图 3 人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗硝态氮含量的影响

Fig.3 Effects of extracts from Ginseng endophyte on the nitrate nitrogen content of tomato seedlings under $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress

2.4 人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗硝态氮含量的影响

图 3 显示,硝酸盐胁迫处理(T4)的番茄幼苗叶片中硝态氮含量显著高于对照(CK),5 µg/ml 人参内生菌提取物处理(T2)和 1 µg/ml 人参内生菌提取物处理(T3)的番茄幼苗叶片中硝态氮含量均低于硝酸盐胁迫处理(T4)。虽然硝酸盐胁迫处理(T4)和 5 µg/ml 人参内生菌提取物处理(T2)2 个处理间的番茄幼苗叶片中硝态氮含量的差异没有达到显著水平,但 T2 处理的番茄幼苗叶片中硝态氮含量是 3 个不同浓度人参内生菌提取物处理中最低的。

2.5 人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗氮代谢相关酶活性的影响

表 2 显示,与对照(CK)相比,硝酸盐胁迫处理(T4)谷氨酰胺合成酶活性降低了 63.35% ($P < 0.05$),而硝酸还原酶活性、谷氨酸合成酶活性、谷氨酸脱氢酶活性与对照相比差异不显著。5 µg/ml 人参内生菌提取物处理(T2)的谷氨酰胺合成酶活性与硝酸盐胁迫处理(T4)的谷氨酰胺合成酶活性差异不显著,但是硝酸还原酶活性、谷氨酸合成酶活性、谷氨酸脱氢酶活性均显著高于硝酸盐胁迫处理(T4),分别提高了 102.28%、91.81%和 59.58%。

表 2 人参内生菌提取物对硝酸盐胁迫下番茄幼苗氮代谢相关酶活性的影响

Table 2 Effects of extracts from Ginseng endophyte on the activity of enzyme related to nitrogen metabolism of tomato seedlings under $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress

处理	硝酸还原酶 (U/mg)	谷氨酰胺合成酶 (g · FW · h)	谷氨酸合成酶 [nmol/(g · min)]	谷氨酸脱氢酶 [nmol/(g · min)]
CK	1.246 3±0.01c	0.515 9±0.02c	39.524 3±7.57a	143.111 0±39.51a
T1	0.795 6±0.24b	0.169 8±0.02a	34.907 9±3.29a	118.664 5±8.92b
T2	2.441 7±0.41d	0.203 3±0.01b	58.914 9±7.45b	221.729 9±17.63b
T3	0.096 0±0.02a	0.196 1±0.01b	30.246 4±8.71a	99.340 8±12.38a
T4	1.207 1±0.17c	0.189 1±0.01ab	30.714 8±7.79a	138.947 1±24.08a

T1、T2、T3、T4、CK 见表 1 注。同列数据后不同小写字母表示各处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论

设施蔬菜中化肥使用量的逐年增大,使土地盐碱化程度和面积不断加剧。改良利用盐渍化土地,

培育抗盐品种,通过化控手段调节作物抗盐性,这些方法和途径已经成为农业科学研究的重点。植物的生长促进物质被发现后,人们就开始研究利用微量化学物质来干预植物生长,并逐渐扩展到抗逆方面。

植物内生菌作为一种新的微生物资源,具有潜在的应用价值^[14]。内生菌代谢物能促进植物生长发育并提高宿主植物对生物胁迫和非生物胁迫的抵抗能力,逐渐受到研究者的重视^[15]。内生菌提取物作为天然活性物质,成分安全而且不会引入新的离子造成二次污染,避免了对土壤和环境的污染。本试验中应用的植物内生菌是本课题组成员从人参根系中分离出的内生真菌,经人工培养、发酵、提取等工艺获得其代谢产物。试验结果表明,应用内生菌提取物对提高盐胁迫下番茄的氮利用,增强番茄的抗盐性等方面有一定帮助。

氮素是影响蔬菜生长的重要因素,氮素供应量增加,整株蔬菜以及不同器官的生长量也会随之升高,但如果氮肥使用量过高,蔬菜生长会受到抑制,其生长量下降^[16]。由此可知,在低浓度范围内,硝酸盐浓度的适当增加会对蔬菜生长有一定的促进作用,但硝酸盐浓度过高时,会对蔬菜生长产生抑制作用,严重时甚至导致植株死亡。本试验结果表明,过高浓度的 NO_3^- 处理 (T4) 抑制了番茄幼苗生长,株高、茎粗、根长、干质量、鲜质量等各项指标均低于对照,而人参内生菌提取物的施用缓解了硝酸盐胁迫对番茄幼苗生长的抑制作用,其中以 T2 处理缓解效果最明显。

盐胁迫下植物可通过增加可溶性蛋白的合成来增强植物耐盐性^[17]。本试验对可溶性蛋白含量进行测定,结果表明,与硝酸盐胁迫处理 (T4) 相比,5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 人参内生菌提取物处理 (T2) 显著提高了硝酸盐胁迫下番茄幼苗叶片中的可溶性蛋白含量,这说明人参内生菌提取物处理可能加强了蛋白的合成,盐胁迫下这些蛋白通过参与渗透调节或其他一些途径提高了番茄幼苗的耐盐性。

脯氨酸作为一种渗透调节物质在植物遭受盐害时所发挥的作用已被大多数人接受。脯氨酸在盐胁迫条件下积累,起到胞质渗透压调节剂的作用,并保护了膜与酶的结构,缓解了胁迫压力。但当盐胁迫浓度超过植物的调节范围时,脯氨酸的积累则可能使细胞结构和功能受到破坏,这是一种伤害反应^[18]。本试验结果表明,盐胁迫条件下脯氨酸大量积累,而3个不同浓度人参内生菌提取物处理均明显降低了盐胁迫条件下脯氨酸的含量,尤其以5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 人参内生菌提取物处理 (T2) 影响最大。这可能是因为人参内生菌提取物处理起到了调节胞质渗

透压的作用,从而降低了番茄幼苗内脯氨酸的积累量,提高了番茄幼苗对硝酸盐胁迫的耐受性。

硝态氮是植物氮代谢的源头,植物对硝态氮的利用速度反映了氮代谢的快慢^[19]。硝态氮作为植物吸收氮素的主要形态,是主要的矿质营养元素,又是限制植物生长的主要因素^[20]。植物体内硝态氮含量的高低,不但与植物的氮代谢有关,还影响植物的营养生长和生殖生长^[21]。本试验结果表明,5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 人参内生菌提取物处理降低番茄幼苗叶片中硝态氮含量的效果较好,说明适宜浓度的人参内生菌提取物处理可以有效改善氮素吸收并促进植物生长。

氮代谢是植物基础代谢的主要组成部分,也是植物体内最重要的生理过程之一,通过不同氮形态及其相关的多种代谢酶的变化来反映植物在逆境胁迫下的氮代谢水平^[22]。硝酸还原酶是氮代谢调控的关键点和氮同化的限速酶^[23],其活性大小可以作为衡量植株氮代谢强度的重要指标。谷氨酰胺合成酶、谷氨酸合成酶、谷氨酸脱氢酶也是高等植物氮代谢的主要酶。目前认为谷氨酰胺合成酶-谷氨酸合成酶途径在无机氮转化为有机氮以及降低氨毒的过程中起关键作用,而谷氨酸脱氢酶途径是高等植物氮同化的一个重要支路,可将逆境过程中过量积累的 NH_4^+ 转化为谷氨酸,从而解除或缓解高氨对植物的毒害。本试验结果表明,与对照 (CK) 相比,硝酸盐胁迫处理 (T4) 谷氨酰胺合成酶活性显著降低。与硝酸盐胁迫处理 (T4) 相比,5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 人参内生菌提取物处理 (T2) 有效提高了盐胁迫下硝酸还原酶活性、谷氨酸合成酶活性和谷氨酸脱氢酶活性。这可能是因为硝酸盐胁迫下,人参内生菌提取物促进了番茄幼苗对 NO_3^- 的还原,从而导致硝酸还原酶活性增强。同时又为 NH_4^+ 同化提供了足够的碳骨架和能量,诱导谷氨酸合成酶及谷氨酸脱氢酶活性的变化,加快了 NH_4^+ 同化,从而减轻毒害。

综上所述,硝酸盐胁迫抑制了番茄幼苗的生长,表现在株高、茎粗、根长、干质量、鲜质量和可溶性蛋白含量的降低,同时影响了番茄幼苗的氮代谢。人参内生菌提取物促进了硝酸盐胁迫下番茄幼苗的生长,提高了番茄幼苗对硝态氮的吸收,使氮代谢活性增强,铵的同化加快,从而避免了铵的毒害。同时降低了脯氨酸含量,缓解了硝酸盐胁迫对番茄幼苗生长的抑制。本试验中,人参内生菌提取物浓度为5

μg/ml的处理对硝酸盐胁迫下番茄幼苗生长和氮代谢的调节效果最佳。

参考文献:

- [1] 程玉静,郭世荣,孙 锦,等.外源硝酸钙对盐胁迫下黄瓜幼苗氮化合物含量和硝酸还原酶活性的影响[J].西北农业学报,2010,19(4):188-206.
- [2] 李 琴,苏天明,王日升,等.广西设施栽培土壤次生盐渍化调查及其影响因子分析[J].江苏农业科学,2016,44(11):492-494.
- [3] 张 飞,梁 燕.番茄对盐胁迫的反应及其耐盐性鉴定的研究进展[J].长江蔬菜(学术版),2011(4):1-4.
- [4] 潘瑞炽.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2004:410-413.
- [5] 尹燕东,魏 珉,邹永洲,等.CO₂施肥对黄瓜幼苗根系发育及氮代谢酶活性的影响[J].西北农业学报,2006,15(5):191-194,201.
- [6] 赵福庚,刘友良.胁迫条件下高等植物体内脯氨酸代谢及调节的研究进展[J].植物学通报,1999,16(5):540-546.
- [7] 赵 媛,卢凤英.作物内生菌研究进展[J].江苏农业科学,2015,43(10):20-22.
- [8] 杨 波,陈 晏,李 霞,等.植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展[J].生态学报,2013,33(9):2656-2664.
- [9] LYONS P C, EVANS J J, BACON C W. Effects of the fungal endophyte *Acremonium coenophialum* on nitrogen accumulation and metabolism in tall fescue[J]. Plant Physiology, 1990, 92: 726-732.
- [10] 袁志林,戴传超,史 央,等.内生真菌 B3 促进水稻生长的机理研究[J].江苏农业科学,2004(2):10-13.
- [11] BATES L S, WALDREN R P, TEARE I D. Rapid determination of free proline for water-stress studies[J]. Plant and Soil, 1973, 39(1): 205-207.
- [12] 张以顺,黄 霞,陈云凤,等.植物生理学实验教程[M].北京:高等教育出版社,2009:85,88-89.
- [13] SRIVASTAVA H S, ORMROD D P. Effects of nitrogen dioxide and nitrate nutrition on growth and nitrate assimilation in bean leaves[J]. Plant Physiology, 1984, 76(2): 418-423.
- [14] 王 娜,杨 镇,曹 君,等.植物内生菌提取物对水稻生长发育的影响[J].吉林农业大学学报,2014,36(1):10-16.
- [15] 肇 莹,杨 镇,杨 涛,等.植物内生菌醇提取物对草坪草抗旱性的影响[J].江苏农业学报,2015,31(1):39-44.
- [16] 王朝辉,李生秀,田霄鸿.不同氮肥用量对蔬菜硝酸盐累积的影响[J].植物营养与肥料学报,1998,4(1):22-28.
- [17] 李 顺,尤 娟,徐晋豫,等.樱桃番茄幼苗对硝酸盐胁迫的生长和生理响应[J].西北植物学报,2014,34(2):332-340.
- [18] 费 伟,陈火英,曹 忠,等.盐胁迫对番茄幼苗生理特性的影响[J].上海交通大学学报(农业科学版),2005,23(1):5-9,30.
- [19] 刘书仁,郭世荣,刘超杰,等.脯氨酸对高温胁迫下黄瓜氮化合物含量和硝酸还原酶活性的影响[J].江苏农业学报,2011,27(2):366-370.
- [20] 杨 荣,邱伟红,王朝辉,等.硝酸还原酶抑制剂钨酸钠对油菜硝态氮积累的影响[J].植物生理学报,2012,48(1):51-56.
- [21] 张以顺,黄 霞,陈云凤,等.植物生理学实验教程[M].北京:高等教育出版社,2009:90.
- [22] 张 毅,石 玉,胡晓辉,等.外源对盐碱胁迫下番茄幼苗氮代谢及主要矿质元素含量的影响[J].应用生态学报,2013,24(5):1401-1408.
- [23] 周万海,师尚礼,寇江涛,等.盐胁迫下外源 NO 对苜蓿幼苗生长及氮代谢的影响[J].应用生态学报,2012,23(11):3003-3008.

(责任编辑:王 妮)