

DOI:10.11937/bfyy.201703002

腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗生长、抗氧化系统及光合作用的影响

李雅洁, 陆晓民

(安徽科技学院 生命科学学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要:以“津春二号”黄瓜为试材,研究了硝酸钙胁迫下腐胺对黄瓜幼苗生长、抗氧化系统及光合作用的影响。结果表明:与对照相比,硝酸钙胁迫导致黄瓜幼苗叶片超氧阴离子产生速率、过氧化氢和丙二醛含量、膜透性显著升高,其净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、胞间 CO_2 浓度分别下降 33.39%、55.18%、30.23%、34.56%,幼苗干物质积累减少 44.17%,生长显著受抑;而腐胺可提高叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶活性,降低其超氧阴离子产生速率、过氧化氢和丙二醛(MDA)含量以及细胞膜透性,缓解硝酸钙胁迫下 P_n 值下降幅度,幼苗干物质积累增加 21.59%,加快生长;可见,腐胺可通过调节硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗抗氧化性以减少其膜脂过氧化程度,进而维持其较高的光合性能,有效促进了硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗生长。

关键词:黄瓜;硝酸钙胁迫;腐胺;抗氧化系统;光合

中图分类号:S 642.204⁺.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)03-0005-06

近年来,随着我国农业产业结构的不断调整及“菜篮子”工程的逐步实施,作为蔬菜产业最重要组

成的设施蔬菜生产得到了长足发展,并已成为衡量当代蔬菜产业现代化程度的重要标志,为提高农民收入及解决我国蔬菜周年供应从而改善人民生活水平发挥了巨大作用^[1]。

然而,因设施环境相对密闭、复种指数高、施肥量大,常使设施内温度高、蒸发量大、雨水淋洗少,从而导致盐分聚集引起设施内土壤次生盐渍化日趋严重^[2-3]。研究表明,次生盐渍化土壤积盐可导致其渗透压增大,通气、透水性变差,使得植物因生理性干旱而引起植物体内活性氧代谢失调,光合下降,生长受抑。据分析,设施土壤中的阴、阳离子分别以

第一作者简介:李雅洁(1992-),女,硕士研究生,研究方向为设施园艺及蔬菜生理生化。E-mail:liyajie302@163.com.

责任作者:陆晓民(1969-),男,安徽固镇人,博士,教授,硕士生导师,现主要从事设施作物生理生态等研究工作。E-mail:luxiaomin88@163.com.

基金项目:安徽省现代农业产业技术体系专项资助项目(AH-CYTX-9);安徽高校省级自然科学基金资助项目(KJ2013Z040);安徽科技学院校级重点学科资助项目(AKZDXK2015C05)。

收稿日期:2016-09-27

solution formulas could all enhance seedlings stem diameter and fresh weight significantly, but there was no significant difference between the different formulations. As for the root length, which of seedlings treated by Holland formula was significantly higher than that of the other three kinds of nutrient solution. The root shoot ratio of seedlings cultivated by Holland formula, Yamazaki formula and Hoagland formula was significantly greater than that of the control. While the Garden test formula ones showed no significant difference with the control. The chlorophyll a, chlorophyll b content of seedlings treated by Garden test formula was highest, while carotenoid content of Garden test formula and Hoagland formula was significantly higher than other treatments. Taking all factors into consideration, Holland formula was the best nutrient solution formula for soilless cultivation of tomato, supplied with which tomato had the best performance in growth.

Keywords: tomato; seedlings; nutrient solution formula; growth; photosynthetic pigment

NO_3^- 和 Ca^{2+} 为主,而不是以 Cl^- 和 Na^+ 为主,其中 NO_3^- 约占阴离子总量的 56% 以上,而 Ca^{2+} 占阳离子总量的 60% 以上^[4-5]。由此可见,设施土壤盐渍化的主要因素不是在于 NaCl,而是由于 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 的过量积累所致,但目前关于盐害机理及其缓解措施的研究多以 NaCl 为研究对象,而以 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫的报道相对较少。

多胺(polyamines, PAs) 是一类广泛存在于生物体内的低分子脂肪族含氮碱,其主要以腐胺(Put)、亚精胺(Spd)、精胺(Spm)和尸胺(Cad)等形式存在^[6-7]。研究表明,科学使用多胺不仅能促进植物的生长发育,还能够有效改善高温^[8]、重金属^[9]、干旱^[10]、低氧^[11]等不良环境下植物的抗氧化性能,减少其膜脂过氧化程度,从而促进植物的光合作用及干物质积累,减轻逆境伤害。Put 是多胺生物合成的中心物质,在多胺合成酶的作用下可合成 Spd 和 Spm,因其对植物的生理作用具有显著影响,近年来已引起人们的广泛重视,但外源腐胺(Put)缓解设施蔬菜的次生盐胁迫伤害少有报道,且以 NaCl 胁迫为主,贴近于设施蔬菜实际生产的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫且应用于黄瓜幼苗尚鲜见报道。为此,该试验在腐胺及次生盐胁迫原有研究的基础上开展腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗抗氧化系统及光合影响的研究,以期明确腐胺对硝酸钙胁迫中黄瓜幼苗的保护机制,为利用腐胺减轻设施作物次生盐胁迫伤害提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试黄瓜品种“津春二号”由天津市黄瓜研究所提供。

1.2 试验方法

试验采用单因素随机区组设计,2016 年 3—5 月于安徽科技学院种植科技园园艺实习基地,以蛭石为栽培基质,选用规格 15 cm×13 cm 的营养钵栽培,每钵留 1 株黄瓜幼苗,Hoagland 营养液浇灌,黄瓜苗期加强对其均一管理,待幼苗长至三叶一心时

选生长良好大小一致的苗进行分设 CK(对照)、C(硝酸钙胁迫)、CP(硝酸钙胁迫+叶面喷施腐胺溶液)3 个处理,每处理 20 钵,3 次重复。具体处理方法:CK 处理为对照,Hoagland 营养液浇灌,C、CP 处理 Hoagland 营养液加 80 mmol·L⁻¹ 的硝酸钙进行胁迫,同时 CP 处理在硝酸钙胁迫的基础上对叶面喷施 8 mmol·L⁻¹ 腐胺溶液。其中 CK 处理 Hoagland 营养液和 C 处理 Hoagland 营养液加上硝酸钙于每天傍晚对黄瓜幼苗分别浇灌 1 次,每次浇灌 150 mL,而 CP 处理叶面喷施 8 mmol·L⁻¹ 的腐胺溶液是 4 d 一次,共喷 2 次。8 d 后,测定黄瓜幼苗植株根、茎、叶等营养生长指标以及生理生化指标。

1.3 项目测定

生长指标以及叶片的超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、超氧阴离子产生速率、过氧化氢含量,丙二醛(MDA)含量、膜透性参照陆晓民等^[12]方法,利用 TPS-2 便携式光合仪测定叶片(上数第 3 片叶)的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i)等光合气体交换参数^[13]。

1.4 数据分析

采用 DPS 7.05 软件进行数据分析,多重比较采用 Duncan's 法。

2 结果与分析

2.1 腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗生长的影响

由表 1 可以看出,黄瓜幼苗在硝酸钙胁迫下生长受抑,其株高、茎粗、植株鲜质量及总干质量等营养指标均较对照显著下降,分别降低了 40.57%、22.43%、54.79%、44.17%,硝酸钙胁迫下叶面喷施腐胺后,黄瓜幼苗株高及地下部干质量均比单纯硝酸钙胁迫处理有所增加,但差异均不显著,而黄瓜幼苗茎粗、鲜质量、地上部干质量及总干质量却分别比单纯硝酸钙处理显著提高了 15.16%、16.51%、76.05%、21.59%,幼苗受抑减轻。由此可见,叶面喷施腐胺有利于黄瓜幼苗生物量的积累,缓解了硝酸钙对黄瓜幼苗生长的抑制程度。

表 1 腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗生长的影响

Table 1 Effects of Put on the growth of cucumber seedlings under calcium nitrate stress

处理	株高	鲜质量	茎粗	地上部干质量	地下部干质量	总干质量
Treatment	Plant height/cm	Fresh weight/g	Stem diameter/mm	Dry weight of shoot/g	Dry weight of root/g	Dry weight/g
CK	36.60±3.13a	42.20±1.24a	7.40±0.24a	3.170±0.212a	0.638±0.088a	3.808±0.210a
C	21.75±1.67b	19.08±2.43c	5.74±0.40c	1.169±0.128c	0.507±0.050b	2.126±0.180c
CP	22.75±1.49b	22.23±1.37b	6.61±0.25b	2.058±0.156b	0.527±0.008b	2.585±0.152b

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters mean significant difference among treatments at 0.05 level. The same below.

2.2 腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗抗氧化酶活性的影响

由图 1 可知,与对照相比,硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗 SOD、POD、CAT 活性分别降低了 39.45%、31.40%、30.84%,较单纯硝酸钙胁迫处理相比,叶面喷施腐胺后黄瓜幼苗叶片 SOD、POD、CAT 活性分别提高了 34.34%、18.02%和 27.76%,进一步提高了硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗抗氧化酶活性。可见,硝酸钙胁迫下采用腐胺对黄瓜幼苗进行叶面喷施处理可通过调节其抗氧化酶活性,进而提高黄瓜植株对硝酸钙胁迫逆境的抗性,对其幼苗生长起到有效的

保护作用。

2.3 腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗超氧阴离子产生速率和过氧化氢含量的影响

从图 2 可以看出,硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗超氧阴离子产生速率及过氧化氢含量分别比对照提高 108.62%、154.67%,活性氧代谢失衡。与单纯硝酸钙胁迫处理相比,采用腐胺处理后,黄瓜幼苗的超氧阴离子产生速率、过氧化氢含量增幅显著减少,仅为 69.42%和 78.02%。可见腐胺可明显减缓硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗过氧化氢和超氧阴离子的生成速率,减轻活性氧所造成的伤害。

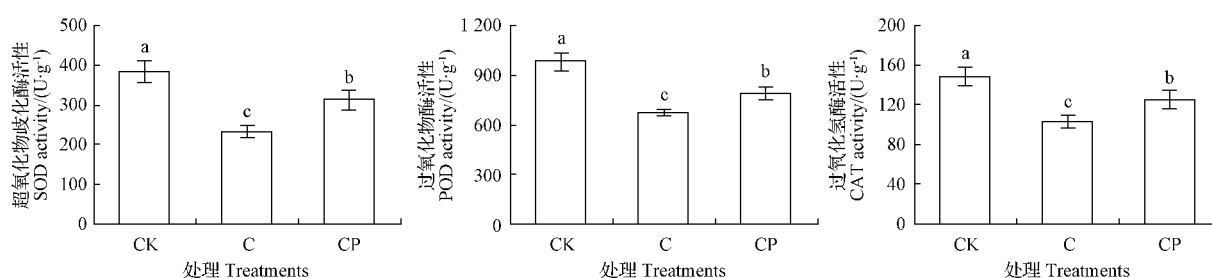


图 1 腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶活性的影响

Fig. 1 Effects of Put on SOD, POD and CAT activities in leaves of cucumber seedlings under calcium nitrate stress

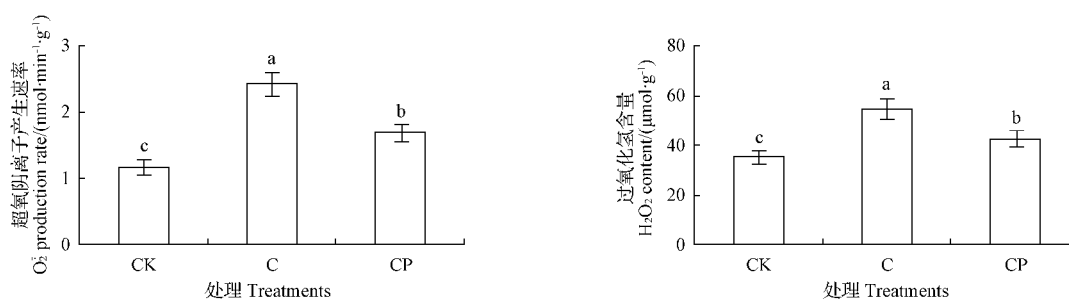


图 2 腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗超氧阴离子产生速率和过氧化氢含量的影响

Fig. 2 Effects of Put on the superoxide anion production rate, hydrogen peroxide contents of cucumber seedling leaves under calcium nitrate stress

2.4 腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗叶片丙二醛含量及膜透性的影响

由图 3 可知,硝酸钙胁迫下,黄瓜幼苗叶片的相对电导率、丙二醛含量分别比对照提高了 90.98%和 121.96%,且差异显著,而硝酸钙胁迫下喷施腐胺后,黄瓜幼苗相对电导率、丙二醛含量比单纯硝酸钙胁迫下降 23.30%和 21.81%。说明腐胺可减少硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗叶片膜脂过氧化及细胞膜相对透性,从而提高黄瓜幼苗对硝酸钙胁迫的耐性。

2.5 腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗光合气体交换参数的影响

由图 4 可知,与对照相比,硝酸钙胁迫导致黄瓜幼苗的净光合速率显著降低,下降 33.39%,其气孔导度、蒸腾速率和胞间 CO₂ 浓度也分别下降 55.18%、30.23%和 34.56%。叶面喷施 Put 可缓解硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗光合速率、气孔导度、蒸腾速率的下降幅度,分别比单纯的硝酸钙处理提高了 24.57%、24.62%、18.56%,而对胞间 CO₂ 浓度无显著影响。

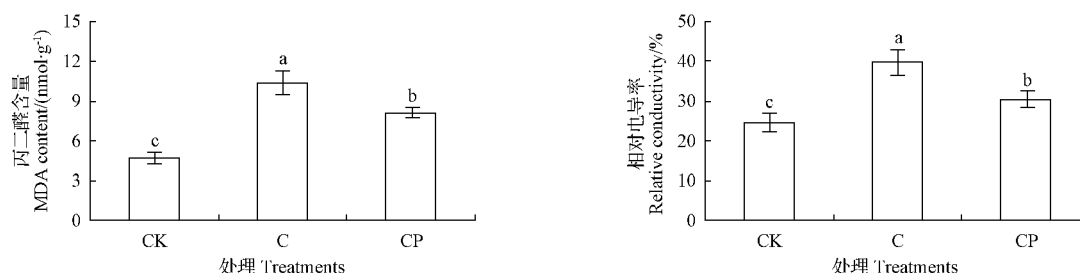


图3 腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗叶片丙二醛含量及膜透性的影响

Fig. 3 Effects of Put on MDA content and cell membrane permeability of cucumber seedling leaves under calcium nitrate stress

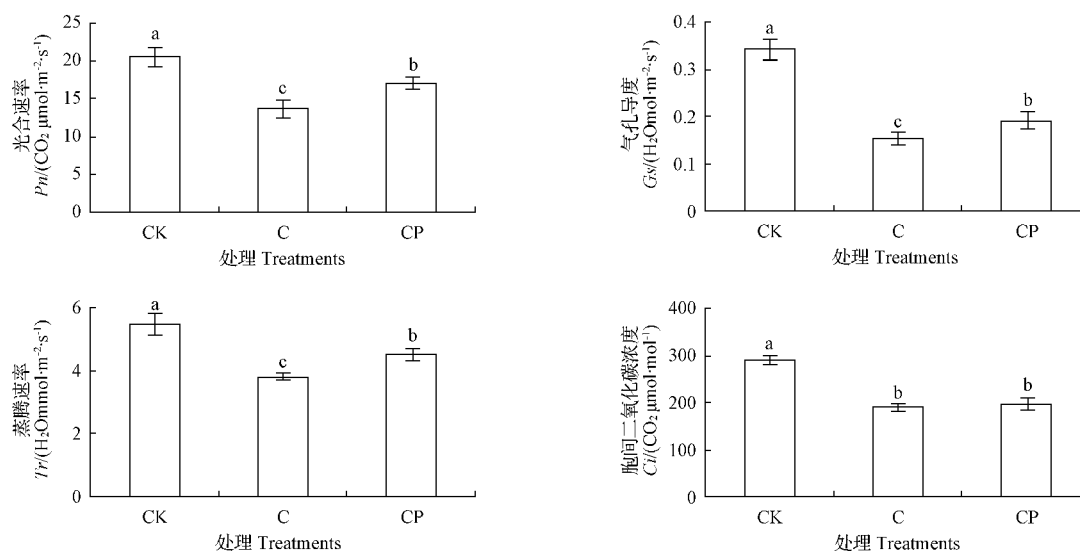


图4 腐胺对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗光合气体交换参数的影响

Fig. 4 Effects of Put on photosynthetic gas exchange parameters of cucumber seedlings under calcium nitrate stress

3 讨论

土壤是作物生产的基础,土壤中盐分含量偏高会导致植物生理干旱、离子毒害及代谢异常而抑制植物生长。韩志平等^[14]采用1/2Hoagland营养液中添加不同浓度的NaCl对西瓜幼苗进行胁迫处理,结果表明高浓度NaCl胁迫则明显抑制西瓜幼苗生物量的增长,75、100、150 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下幼苗单株干质量分别比对照降低11.86%、21.40%、34.36%,生长严重受抑。张会慧等^[15]在研究碱性盐Na₂CO₃胁迫对桑树幼苗生长的影响中表明,当Na⁺浓度在50 mmol·L⁻¹以上时,Na₂CO₃胁迫明显降低了桑树幼苗的株高、单株叶片数和生物量,致使桑树幼苗生长量显著下降。近年来的研究也表明,以硝酸钙积累为主要特征的设施土壤次生盐渍化也会使得土壤溶液的浓度和渗透压提高,引起植物代谢紊乱,生长受抑^[16-19]。该研究表明,硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗的植株鲜质量及总干质量均较对照显著下降,Ca(NO₃)₂胁迫显著抑制了其幼苗的生长,这与前人

的研究结果相符。

近年来,人们开展了一些有关腐胺的研究,表明腐胺对植物生长发育的作用及其机理是多方面的。据王启明等^[20]研究表明,采用0.5 mmol·L⁻¹的Put对黄瓜进行浸种处理可以提高Cd²⁺胁迫下黄瓜种子的发芽势、发芽指数,幼苗的根长及干质量显著增加,在一定程度上缓解了Cd²⁺胁迫对黄瓜种子萌发以及幼苗生长的抑制作用。师恺等^[21]指出外源Put可显著提高低氧胁迫下黄瓜幼苗根系硝酸还原酶活性,有效缓解了低氧胁迫下黄瓜幼苗根系线粒体呼吸作用的下降,增强了叶片的光合作用,提高黄瓜植株对根际低氧胁迫的抗性,NADA等^[22]的研究也证明了Put能够提高番茄植株对根际低氧胁迫的抗性。束胜等^[23]对在盐胁迫下的黄瓜幼苗进行叶面喷施8 mmol·L⁻¹ Put处理的研究中表明,Put能够减少Na⁺和Cl⁻进入植株叶中,减轻离子毒害,缓解氯化钠胁迫下盐离子对光合机构的破坏,缓解了其光合性能的下降。张润花等^[24]采用适宜浓度的

Put 对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗进行处理后,其幼苗株高、鲜质量以及叶片的净光合速率显著升高,而幼苗的 MDA 含量及膜透性显著下降,幼苗生长的抑制程度减轻。YIU 等^[25]表明,使用 Put 对大葱进行处理可诱导其抗氧化酶系统活性的提高,增强了大葱对洪水胁迫的耐性。该试验结果表明,与对照相比,硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗叶片超氧阴离子产生速率、过氧化氢和丙二醛含量、膜透性显著升高,其气孔导度、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度显著下降,导致净光合速率显著降低,幼苗的株高、植株干鲜质量等营养生长指标较对照均显著减少,生长显著受抑。而 Put 可提高叶片 SOD、POD、CAT 等抗氧化酶活性,降低其超氧阴离子产生速率、过氧化氢和丙二醛含量以及细胞膜透性,缓解了光合速率的下降,从而提高了硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗鲜质量、地下部干质量,增强了幼苗的抗性,促进了幼苗的生长,其机理可能在于植物叶片叶肉细胞内含叶绿体以及线粒体等重要细胞器,是活性氧产生的主要部位和易脂质过氧化的细胞器,维持它们正常的结构和功能是细胞能够进行光合等正常生理代谢的基础。Ca(NO₃)₂ 胁迫会引起膜脂过氧化,使叶肉细胞及其内含细胞器正常的结构和功能受到影响,进而导致了光合作用的顺利进行,使得生长受抑,而 Put 可通过有效调节植物的抗氧化性能,降低其膜脂过氧化程度,保持了幼苗叶片叶肉细胞及其叶绿体、线粒体细胞器膜结构的完整性及功能的相对稳定性,减少了胁迫对光合机构的破坏,缓解了其光合性能的下降,从而缓解其受害程度。另外,盐胁迫抑制植物生长,其原因较为复杂,光合速率的降低是导致盐胁迫生长受抑的重要原因,且诱导植物在盐胁迫下的光合速率下降因素也很多,不仅活性氧水平、膜脂过氧化程度可直接影响其光合性能,还有气孔限制因素、多胺含量及矿质营养运输等^[23,26-27],全面探明 Put 对硝酸钙胁迫下黄瓜幼苗生长的缓解效应则还需要进一步的从多角度进行深入探讨。

综上所述,硝酸钙胁迫抑制黄瓜幼苗生长,叶面喷施 Put 可通过显著提高硝酸钙胁迫黄瓜幼苗叶片的抗氧化酶活性,降低其活性氧含量及膜脂过氧化程度,以维持较高的光合性能,从而缓解了硝酸钙胁迫对黄瓜幼苗的伤害。

参考文献

- [1] 蒋卫杰,邓杰,余宏军.设施园艺发展概况、存在问题与产业发展建议[J].中国农业科学,2015,48(17):3515-3523.
- [2] 陈天祥,孙权,顾欣,等.设施蔬菜连作障碍及调控措施研究进

展[J].北方园艺,2016(10):193-197.

- [3] 姜伟,王建国,靳玉荣,等.设施土壤盐分变化规律及其相关分析研究[J].华北农学报,2010,25(2):200-205.
- [4] 韩志平,郭晓东,张海霞,等.硝酸钙胁迫对黄瓜种子萌发特性的影响[J].山西农业科学,2013,41(11):1186-1189.
- [5] 焦娟,王秀峰,杨凤娟,等.外源一氧化氮对硝酸盐胁迫下黄瓜幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J].应用生态学报,2009,20(12):3009-3014.
- [6] 王乃强,胡晓辉,李瑞,等.不同种类外源多胺缓解番茄盐胁迫伤害的研究[J].中国蔬菜,2009(6):31-35.
- [7] 王尚堃,杜红阳.多胺及其合成抑制剂对旱胁迫下李幼苗叶片渗透调节物质含量和光合作用的影响[J].北方园艺,2016(10):1-5.
- [8] 田婧,郭世荣,孙锦,等.外源 Spd 对高温胁迫下黄瓜幼苗叶片膜脂过氧化及质子泵活性的影响[J].应用生态学报,2011,22(12):3252-3258.
- [9] GROPPA M D, BENAVIDES M P. Polyamines and abiotic stress: recent advances[J]. Amino Acids, 2008, 34(1): 35-45.
- [10] FAROOQ M, WAHID A, LEE D J. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2009, 31(5): 937-945.
- [11] 贾永霞,郭世荣,李娟,等.外源腐胺对根际低氧胁迫下黄瓜幼苗多胺和抗氧化系统的影响[J].西北植物学报,2008,28(8):1654-1662.
- [12] 陆晓民,杨威.油菜素内酯对氯化钠胁迫下黄瓜幼苗的缓解效应[J].应用生态学报,2013,24(5):1409-1414.
- [13] ZHEN A, BIE Z L, HUANG Y, et al. Effects of salt-tolerance rootstock grafting on ultrastructure, photosynthetic capacity, and H₂O₂-scavenging system in chloroplasts of cucumber seedlings under NaCl stress[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2011, 33(6): 2311-2319.
- [14] 韩志平,郭世荣,冯吉庆,等.盐胁迫对西瓜幼苗生长、叶片光合色素和脯氨酸含量的影响[J].南京农业大学学报,2008,31(2):32-36.
- [15] 张会慧,张秀丽,李鑫丁,等. NaCl 和 Na₂CO₃ 胁迫对桑树幼苗生长和光合特性的影响[J].应用生态学报,2012,23(3):625-631.
- [16] 鲁莹,束胜,朱为民,等.外源亚精胺对硝酸钙胁迫下小白菜生长与光合作用及其品质的影响[J].西北植物学报,2015,35(4):787-792.
- [17] 韩志平,张海霞,李林霞,等.硝酸钙胁迫对南瓜幼苗生长和膜脂过氧化的影响[J].河南农业科学,2015,44(5):117-120.
- [18] 童辉,孙锦,郭世荣,等.等渗 Ca(NO₃)₂ 和 NaCl 胁迫对黄瓜幼苗生长及渗透调节物质含量的影响[J].西北植物学报,2012,32(2):306-311.
- [19] YUAN L Y, SHU S, SUN J, et al. Effects of 24-epibrassinolide on the photosynthetic characteristics, antioxidant system, and chloroplast ultrastructure in *Cucumis sativus* L. under Ca(NO₃)₂ stress[J]. Photosynthesis Research, 2012, 112(3): 205-214.
- [20] 王启明,王素平.腐胺对镉胁迫下黄瓜种子萌发和生长的影响[J].种子,2012,31(2):102-104.
- [21] 师恺,顾敏,于海静,等.腐胺提高黄瓜根际低氧耐性的生理机理[J].中国农业科学,2009,42(5):1854-1858.
- [22] NADA K, IWATANI E, DOI T, et al. Effect of putrescine pretreatment to roots on growth and lactate metabolism in the root of

tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under root-zone hypoxia[J].
Engel Gakkei Zasshi, 2004, 73(4): 337-339.

[23] 束胜, 孙锦, 郭世荣, 等. 外源腐胺对盐胁迫下黄瓜幼苗叶片 PSII
光化学特性和体内离子分布的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(7): 1065-
1072.

[24] 张润花, 郭世荣, 段增强. 外源腐胺对盐胁迫黄瓜幼苗生长、光
合及膜脂过氧化物的影响[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(4): 836-841.

[25] YIU J C, JUANG L D, FANG D Y, et al. Exogenous putrescine

reduces flooding-induced oxidative damage by increasing the antioxidant
properties of welsh onion[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 120(3): 306-
314.

[26] 刘凤兰, 杜新民, 秦爱萍, 等. 黄瓜幼苗对 NaCl 胁迫的生理响应
[J]. 中国农学通报, 2013, 29(22): 178-182.

[27] 张海波, 崔继哲, 曹甜甜, 等. 大豆出苗期和苗期对盐胁迫的响
应及耐盐指标评价[J]. 生态学报, 2011, 31(10): 2805-2812.

Effects of Putrescine on Growth, Antioxidant System and Photosynthesis of Cucumber Seedling Under Calcium Nitrate Stress

LI Yajie, LU Xiaomin

(College of Life Science, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100)

Abstract: The effects of putrescine (Put) on growth, antioxidant system and photosynthesis of cucumber seedling 'Jinchun No. 2' were studied under calcium nitrate stress. The results showed that, as compared with the control, calcium nitrate stress significantly increased the leaf H_2O_2 contents, lipid peroxidation and cell membrane permeability while decreased the leaf net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (Tr) and intercellular CO_2 concentration (C_i) by 33.39%, 55.18%, 30.23%, 34.56%, respectively, and dry matter accumulation reduced by 44.17%. Applying Put could increase the activities of SOD, POD and CAT, decrease the superoxide anion production rate, hydrogen peroxide contents, malondialdehyde contents and membrane permeability, alleviate the drop range of P_n , speed up the growth of seedlings and increase the dry matter accumulation by 21.59%. Therefore, Put treatment could keep a higher photosynthetic performance and effectively promote cucumber seedlings growth by adjusting the protective enzyme activity and reduce membrane lipid peroxide level under calcium nitrate stress.

Keywords: cucumber; calcium nitrate stress; putrescine; antioxidant system; photosynthesis

欢迎订阅 2017 年《北方园艺》

全国自然科学(中文)核心期刊

中国农业核心期刊

中国北方优秀期刊

2015、2016 年期刊数字影响力 100 强

美国化学文摘社(CAS)收录期刊

全国优秀农业期刊

黑龙江省优秀科技期刊

黑龙江省农家书屋推荐目录

本刊内容丰富、栏目新颖、技术实用、信息全面。涵盖园艺学的蔬菜、果树、瓜类、花卉、植保等研究领域的新成果、新技术、新品种、新经验。欢迎全国各地科研院所人员、大专院校师生, 各省、市、县、乡、镇农业技术推广人员、农民科技示范户等踊跃订阅。邮发代号: 14-150、半月刊、每月 15、30 日出版; 单价: 15.00 元, 全年: 360.00 元。

地址: 黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路 368 号《北方园艺》编辑部

电话: 0451-86674276

信箱: bfybjb@163.com

邮编: 150086

网址: www.haasep.cn