

鲁莹, 束胜, 朱为民, 等. 多胺缓解硝酸钙对小白菜幼苗生长抑制的作用[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 422-428.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.02.031

## 多胺缓解硝酸钙对小白菜幼苗生长抑制的作用

鲁莹<sup>1,2</sup>, 束胜<sup>1</sup>, 朱为民<sup>2</sup>, 郭世荣<sup>1</sup>, 孙锦<sup>1</sup>

(1. 南京农业大学园艺学院/江苏省现代设施农业技术与装备工程实验室, 江苏南京 210095; 2. 上海市农业科学院园艺研究所/上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201106)

**摘要:** 采用营养液栽培, 以小白菜寒笑为试验材料, 研究硝酸钙胁迫下, 施用不同浓度多胺(Put、Spd、Spm)对小白菜幼苗生长和光合作用的影响。结果表明, 80 mmol/L的Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫处理10 d, 小白菜幼苗的株高、叶片数、干质量、鲜质量、叶面积、根长、根体积、根系活力、光合色素含量及光合能力显著降低, 喷施外源多胺可以缓解硝酸钙胁迫对幼苗生长和光合作用的抑制。在喷施1.0~15.0 mmol/L腐胺(Put)、0.1~1.5 mmol/L亚精胺(Spd)和0.1~1.0 mmol/L精胺(Spm)的情况下, 缓解效果先升高后降低, 其中5.0 mmol/L Put、0.5 mmol/L Spd和0.3 mmol/L Spm缓解效果最明显。

**关键词:** 多胺; 硝酸钙胁迫; 小白菜; 生长抑制

中图分类号: S634.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2015)02-0422-07

## Alleviation of growth inhibition of pakchoi seedlings under calcium nitrate stress by exogenous polyamines

LU Ying<sup>1,2</sup>, SHU Sheng<sup>1</sup>, ZHU Wei-min<sup>2</sup>, GUO Shi-rong<sup>1</sup>, SUN Jin<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture / Laboratory of Modern Protected Agricultural Technology and Equipment Engineering in Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Horticultural Research Institute / Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201106, China)

**Abstract:** A hydroponics experiment was conducted on calcium nitrate [Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]-stress pakchoi Hanxiao to study the effects of different kinds and concentrations of exogenous polyamines on the growth and photosynthesis of pakchoi seedlings. The stress of 80 mmol/L Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> significantly reduced plant height, leaf number, dry and fresh weight, leaf area, root length, root volume, and root vigor, and decreased the contents of photosynthetic pigments and photosynthesis on day 10. The suppressive effects of Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> on pakchoi seedlings could be alleviated by spraying exogenous spermine (Spm), spermidine (Spd), or putrescine (Put), with the concentrations ranging from 1.0 to 15.0 mmol/L Put, 0.1 to 1.5 mmol/L, or 0.1 to 1.0 mmol/L, respectively. 0.5 mmol/L Spd, 0.3 mmol/L Spm, or 5.0 mmol/L Put exhibited the strongest alleviation.

**Key words:** polyamine; calcium nitrate stress; pakchoi; growth inhibition

收稿日期: 2014-08-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31071831、31272209); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-25-C-03); 教育部新教师类博士点基金项目(20130097120015)

作者简介: 鲁莹(1991-), 女, 山东泰安人, 硕士, 主要从事设施蔬菜栽培生理研究。(E-mail) luyinghy@163.com

通讯作者: 郭世荣, (E-mail) srguo@njau.edu.cn

小白菜(*Brassica campestris* ssp. *Chinensis* Makino)是我国最重要的绿叶蔬菜之一, 在菜篮子工程中具有举足轻重的作用。随着中国设施蔬菜面积的增加, 设施内土壤盐渍化现象日渐严重<sup>[1]</sup>。设施内

盐渍化土壤的主要阳离子为  $\text{Ca}^{2+}$ , 主要阴离子为  $\text{NO}_3^-$  [2-3]。  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  过量积累是引起设施土壤盐渍化的主要原因之一。不结球白菜中硝酸盐的积累对人体健康的危害受到人们的普遍关注 [4]。在无公害蔬菜生产中, 如何降低叶菜类蔬菜硝酸盐含量, 使之达到安全食品的要求, 是一项十分重要的任务 [5]。

多胺 (Polyamines, PAs) 是生物体代谢过程中产生的一类具有生物活性的低分子量脂肪族含氮碱化合物, 主要包括腐胺 (Putrescine, Put)、亚精胺 (Spermidine, Spd) 和精胺 (Spermine, Spm) [6-7]。多胺在调节植物生长发育、控制形态建成、提高植株抗性、延缓衰老等方面具有重要作用 [8-9]。大量研究结果表明施用外源多胺能够缓解盐胁迫对蔬菜作物的伤害 [10], 然而盐胁迫条件下蔬菜作物种类不同, 多胺的作用效果也不尽相同。目前尚未有关于缓解小白菜硝酸钙胁迫伤害的多胺最佳种类和浓度方面的报道。为此, 本试验通过硝酸钙胁迫下叶面喷施不同浓度、不同种类多胺, 以期筛选缓解小白菜硝酸钙胁迫伤害的最佳的多胺种类和浓度, 为施用外源多胺提高小白菜耐盐性提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

试验在南京农业大学塑料大棚内进行。试验选用的小白菜 (*Brassica campestris* ssp. *Chinensis* Makino) 品种为寒笑, 由南京农业大学园艺学院白菜课题组提供。种子经消毒、浸种、催芽后播于装有石英砂的育苗盘中, 棚内昼夜温度分别控制在  $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 、 $15 \sim 18^\circ\text{C}$ , 自然光照。幼苗前期浇清水, 2 叶 1 心后浇 1/2 Hoagland 营养液, 待幼苗 4 叶 1 心时, 挑选生长一致的幼苗移到装有 1/2 Hoagland 营养液的水培箱中 (pH 值为  $6.5 \pm 0.1$ , EC 值为  $2.2 \sim 2.5$  ms/cm), 每箱定植 12 株。

### 1.2 试 验 处 理

缓苗 2 d 后, 开始试验处理, 共设置 14 个处理: CK: 正常营养液栽培; N:  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2$ ;  $P_1$ :  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2 + 1.0 \text{ mmol/L Put}$ ;  $P_2$ :  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2 + 5.0 \text{ mmol/L Put}$ ;  $P_3$ :  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2 + 10.0 \text{ mmol/L Put}$ ;  $P_4$ :  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2 + 15.0 \text{ mmol/L Put}$ ;  $D_1$ :  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2 + 0.1 \text{ mmol/L Spd}$ ;  $D_2$ :  $80 \text{ mmol/L}$

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 0.5 \text{ mmol/L Spd}$ ;  $D_3$ :  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2 + 1.0 \text{ mmol/L Spd}$ ;  $D_4$ :  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2 + 1.5 \text{ mmol/L Spd}$ ;  $M_1$ :  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2 + 0.1 \text{ mmol/L Spm}$ ;  $M_2$ :  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2 + 0.3 \text{ mmol/L Spm}$ ;  $M_3$ :  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2 + 0.5 \text{ mmol/L Spm}$ ;  $M_4$ :  $80 \text{ mmol/L Ca}(\text{NO}_3)_2 + 1.0 \text{ mmol/L Spm}$ 。不同种类、不同浓度多胺于硝酸钙胁迫处理 0 d、2 d、4 d、6 d 傍晚同一时刻分别向幼苗叶片均匀喷施; CK 和 N 处理喷施等量的蒸馏水。随机区组排列, 每个处理 12 株苗, 3 次重复。处理 10 d 后, 测量小白菜各项生长和生理指标。

### 1.3 测 定 项 目

1.3.1 生长指标 用直尺测定小白菜幼苗株高和主根长; 用蒸馏水冲洗植株, 吸干水分后, 测定植株鲜质量;  $105^\circ\text{C}$  杀青 15 min,  $75^\circ\text{C}$  烘干至恒质量, 测定植株干质量。用叶面积/根系扫描仪 (Epson Expression 1680) 对小白菜植株进行叶面积和根系扫描, 叶面积为幼苗所有真叶面积之和, 总根表面积按常规方法测定。根系活力的测定采用 TTC 法。

1.3.2 光合色素 称取新鲜叶片 0.1 g, 剪碎混匀, 加入 15 ml 大试管中, 加入 10 ml 混合提取液 (乙醇: 丙酮: 水 = 4.5 : 4.5 : 1.0), 黑暗条件下浸提 24 h, 分别测定  $OD_{440}$ 、 $OD_{645}$ 、 $OD_{663}$ 。参照沈伟其 [11] 方法计算光合色素含量, 叶绿素 a (Chl. a) ( $\text{mg/g}$ , FW) =  $(12.7 \times OD_{663} - 2.69 \times OD_{645}) \times V / (1000 \times W)$ ; 叶绿素 b (Chl. b) ( $\text{mg/g}$ , FW) =  $(22.9 \times OD_{645} - 4.68 \times OD_{663}) \times V / (1000 \times W)$ ; 叶绿素总量 ( $\text{mg/g}$ , FW) =  $(20.21 \times OD_{645} + 8.02 \times OD_{663}) \times V / (1000 \times W)$ ; 类胡萝卜素 (Car) ( $\text{mg/g}$ , FW) =  $[4.7 \times OD_{440} - 0.27 \times (\text{Chl. a} + \text{Chl. b})] \times V / (1000 \times W)$ 。

1.3.3 气体交换参数 用美国 Li-Cor 公司生产的 Li-6400 便携式光合仪, 于上午 9:00 ~ 11:30 测定基部起第 3 片完全展开功能叶的净光合速率 ( $P_n$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、细胞间隙  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )。测定时使用开放气路, 利用 6400PS 提供光照, 叶室温度为  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ , 光量子通量密度 (PPFD) 为  $700 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,  $\text{CO}_2$  浓度为  $(380 \pm 10) \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 相对湿度 (RH) 为 50%。由光合测定系统直接读出。

### 1.4 数 据 统 计 分 析

试验数据采用 SAS 软件 Duncan's ( $P < 0.05$ ) 进行多重比较统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 多胺对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下小白菜幼苗生长的影响

由表 1 可以看出,硝酸钙胁迫下幼苗生长显著受到抑制。与对照相比,硝酸钙处理的幼苗株高、叶面积和叶片数、鲜质量和干质量分别下降了 44.21%、68.59%、32.15%、63.52% 和 67.86%, 差异显著。硝酸钙胁迫下,喷施一定浓度的多胺可促

进小白菜的生长,促进生长的效果随着浓度的增加呈先升高后下降的趋势;不同种类多胺处理中,以  $\text{M}_2$ 、 $\text{D}_2$  处理缓解效果最好,其次为  $\text{P}_2$  处理,在 3 种多胺(腐胺、亚精胺、精胺)的最适浓度下,幼苗株高、叶面积和叶片数、鲜质量和干质量比硝酸钙胁迫条件下分别提高了 63.80%、102.85%、57.98%、109.26%、140.19%、62.37%、78.08%、36.97%、175.00%、197.22%、26.16%、55.45%、36.97%、67.85% 和 119.44%, 差异显著。

表 1 不同种类、浓度多胺对硝酸钙胁迫下小白菜幼苗生长的影响

Table 1 Effects of polyamines on the growth of *Brassica chinensis* under  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  stress

处理	株高 (cm)	叶面积 ( $\text{cm}^2$ )	叶片数	每株鲜质量 (g)	每株干质量 (g)
CK	16.67±0.59a	490.85±17.83a	9.33ab	20.12±1.82a	1.12±0.02a
N	9.30±0.26f	154.20±21.23f	6.33e	7.34±0.47h	0.36±0.04h
$\text{P}_1$	9.73±1.13ef	154.53±17.89f	6.67e	11.09±1.34defg	0.70±0.07cde
$\text{P}_2$	11.20±0.50de	239.74±29.06cd	8.67abc	8.07±1.46gh	0.48±0.08gh
$\text{P}_3$	11.73±0.57d	218.06±02.73cde	7.67cde	12.32±1.09de	0.79±0.03cd
$\text{P}_4$	10.97±0.64def	169.80±14.89ef	6.67e	11.00±0.48defg	0.69±0.02de
$\text{D}_1$	12.73±0.67cd	199.24±20.27def	7.00de	8.61±0.27fgh	0.54±0.04fg
$\text{D}_2$	15.23±0.44ab	312.75±13.26b	10.00a	15.36±1.20bc	0.99±0.03b
$\text{D}_3$	12.80±0.49cd	242.45±13.25cd	8.67abc	10.67±0.34efg	0.67±0.02def
$\text{D}_4$	11.63±0.71de	231.97±7.92cd	8.33bcd	8.56±0.54fgh	0.54±0.03fg
$\text{M}_1$	14.03±0.44bc	219.51±13.83cde	8.33bcd	11.70±0.82def	0.74±0.05cd
$\text{M}_2$	15.10±0.59ab	274.58±10.84bc	8.67abc	17.63±0.32ab	1.07±0.02ab
$\text{M}_3$	11.90±0.68d	259.88±30.53bc	9.00abc	13.92±0.67cd	0.83±0.03c
$\text{M}_4$	11.53±0.19de	223.27±17.72cde	7.67cde	11.09±1.34defg	0.70±0.07cde

CK: 正常营养液栽培; N: 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{P}_1$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 1.0 mmol/L Put;  $\text{P}_2$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 5.0 mmol/L Put;  $\text{P}_3$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 10.0 mmol/L Put;  $\text{P}_4$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 15.0 mmol/L Put;  $\text{D}_1$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 0.1 mmol/L Spd;  $\text{D}_2$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 0.5 mmol/L Spd;  $\text{D}_3$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 1.0 mmol/L Spd;  $\text{D}_4$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 1.5 mmol/L Spd;  $\text{M}_1$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 0.1 mmol/L Spm;  $\text{M}_2$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 0.3 mmol/L Spm;  $\text{M}_3$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 0.5 mmol/L Spm;  $\text{M}_4$ : 80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 1.0 mmol/L Spm。同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

### 2.2 多胺对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下小白菜幼苗根系生长和活力的影响

由表 2 可以看出,硝酸钙胁迫下小白菜幼苗根系生长显著下降。与对照相比,硝酸钙处理的小白菜幼苗根长、根体积和根系活力分别下降了 40.05%、48.88% 和 79.01%。硝酸钙胁迫下,喷施一定浓度的多胺均可促进小白菜幼苗根系的生长,并且促进效果随着浓度的增加呈先增强后减弱;不同种类多胺处理中,以  $\text{D}_2$  处理缓解效果最好,其次分别为  $\text{M}_2$  处理和  $\text{P}_2$  处理,在 3 种多胺

(腐胺、亚精胺、精胺)的最适浓度下,幼苗根长、根体积和根系活力比硝酸钙胁迫下分别提高了 46.78%、83.22%、263.53%、44.75%、24.37%、309.41%、37.95%、12.18%、332.94%, 差异达到显著水平。

### 2.3 多胺对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下小白菜幼苗光合色素的影响

由表 3 可以看出,与对照相比,硝酸钙处理的幼苗叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量、类胡萝卜素分别下降了 47.87%、46.88%、48.41% 和 44.68%, 差异达到显著

水平。硝酸钙胁迫下,喷施一定浓度的多胺均可增加小白菜光合色素含量,增加量随着浓度的增加呈先升高后下降的趋势;不同种类多胺中,以  $M_2$  处理缓解效果最好,其次分别为  $D_2$  处理和  $P_2$  处理,在 3 种多胺(腐胺、亚精胺、精胺)的最适浓度下,幼苗叶绿素 a、叶

绿素 b、叶绿素总量、类胡萝卜素比硝酸钙胁迫下分别提高了 83.67%、70.59%、81.54%、26.92%、77.55%、70.59%、78.46%、30.77%、83.67%、35.29%、72.31%、30.77%,差异达到显著水平。

表 2 不同多胺处理对硝酸钙胁迫下幼苗根系生长和活力的影响

Table 2 Effects of polyamines on root growth and vigor of *Brassica chinensis* under  $Ca(NO_3)_2$  stress

处理	根长 (cm)	根体积 ( $cm^3$ )	根系活力 [ $mg/(g \cdot h)$ ]
CK	18.90±1.08a	8.51±0.19a	4.05±0.21a
N	11.33±0.39e	4.35±0.72bc	0.85±0.20f
$P_1$	11.60±1.37de	2.92±0.24c	2.55±0.06de
$P_2$	15.63±0.66bc	4.88±0.84bc	3.68±0.21ab
$P_3$	14.37±0.92bcde	3.98±0.15bc	2.76±0.34cd
$P_4$	13.03±1.17ede	3.61±0.51bc	2.43±0.19de
$D_1$	14.03±0.98bcde	5.04±1.31bc	1.74±0.13e
$D_2$	16.63±0.23ab	7.97±0.92a	3.09±0.09bed
$D_3$	15.60±0.64bc	5.33±1.13bc	2.65±0.46cd
$D_4$	14.57±1.70bcde	4.77±0.54bc	2.34±0.30de
$M_1$	14.80±1.46bcd	3.76±0.53bc	2.65±0.16cd
$M_2$	16.40±0.60ab	5.41±0.61b	3.48±0.35abc
$M_3$	12.87±0.15cde	3.85±0.39bc	2.58±0.17de
$M_4$	11.97±0.92de	3.47±0.85bc	2.46±0.40de

各处理见表 1 注。同列不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

表 3 不同多胺处理对硝酸钙胁迫下幼苗光合色素含量的影响

Table 3 Effects of polyamines on the contents of photosynthetic pigments of *Brassica chinensis* under  $Ca(NO_3)_2$  stress

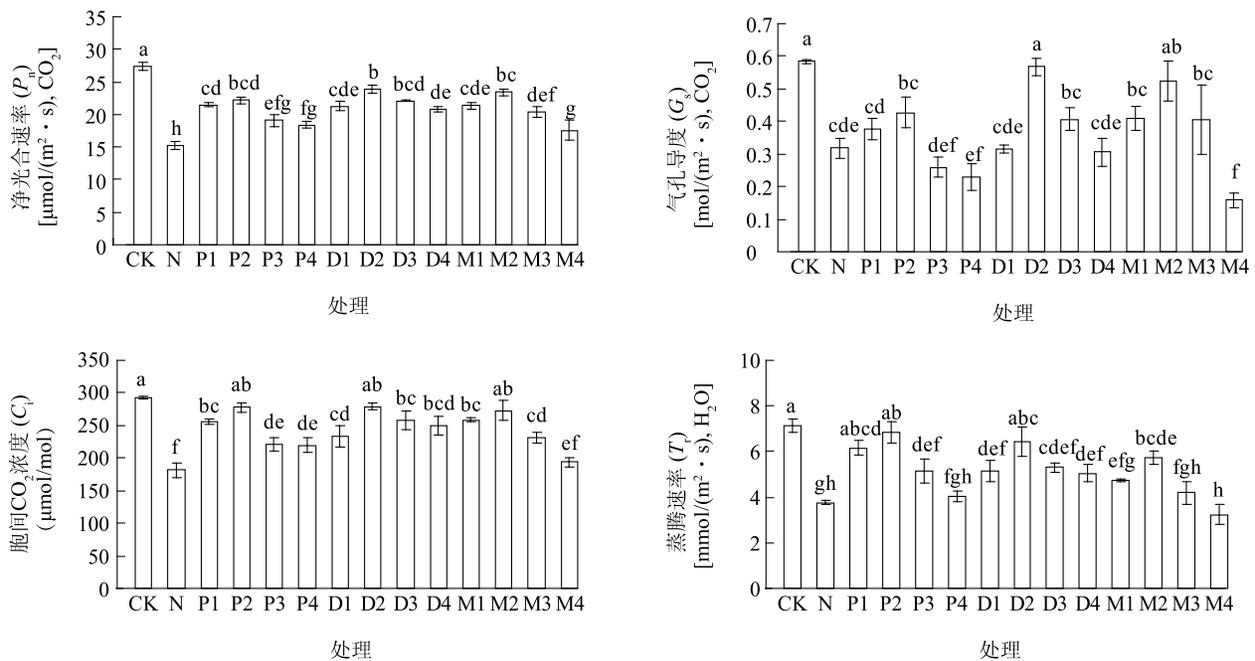
处理	叶绿素 a (mg/g)	叶绿素 b (mg/g)	叶绿素总量 (mg/g)	类胡萝卜素 (mg/g)
CK	0.94±0.02a	0.32±0.01a	1.26±0.02a	0.47±0.02a
N	0.49±0.03f	0.17±0.01e	0.65±0.03h	0.26±0.04d
$P_1$	0.71±0.05de	0.12±0.01f	0.83±0.05g	0.30±0.02cd
$P_2$	0.90±0.01ab	0.23±0.01d	1.12±0.01bed	0.34±0.02bc
$P_3$	0.79±0.03bcde	0.16±0.01ef	0.95±0.03efg	0.33±0.01bed
$P_4$	0.76±0.01cde	0.14±0.01ef	0.90±0.02fg	0.32±0.01bed
$D_1$	0.79±0.02bcde	0.24±0.01cd	1.03±0.02def	0.31±0.01cd
$D_2$	0.87±0.01abc	0.29±0.02b	1.16±0.02abc	0.34±0.01bc
$D_3$	0.77±0.05cde	0.27±0.02bc	1.04±0.07cde	0.34±0.03bc
$D_4$	0.69±0.06e	0.24±0.02cd	0.93±0.08efg	0.31±0.05bed
$M_1$	0.76±0.02cde	0.27±0.01bc	1.03±0.03def	0.35±0.01bc
$M_2$	0.90±0.05ab	0.29±0.01b	1.18±0.04ab	0.33±0.01bed
$M_3$	0.82±0.02bcd	0.18±0.01e	1.00±0.02def	0.31±0.01bed
$M_4$	0.79±0.04bcde	0.17±0.01e	0.96±0.03ef	0.38±0.01b

各处理见表 1 注。同列不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

## 2.4 多胺对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下小白菜幼苗光合作用的影响

由图 1 可以看出,硝酸钙胁迫下小白菜幼苗光合作用显著下降。与对照相比,硝酸钙处理的  $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  和  $T_r$  分别下降了 44.29%、44.83%、38.18% 和 47.27%。硝酸钙胁迫下,喷施一定浓度的多胺均可促进小白菜幼苗的光合作用,促进效果随着浓

度的增加呈先增强后减弱的趋势;不同种类多胺中,以  $D_2$  处理缓解效果最好,其次分别为  $M_2$  处理和  $P_2$  处理,在 3 种多胺(腐胺、亚精胺、精胺)的最适浓度下,幼苗  $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  和  $T_r$  比硝酸钙胁迫下分别提高了 57.24%、78.13%、53.75%、71.01%、53.95%、62.50%、50.77%、52.39%、46.05%、34.38%、53.09%、81.85%。



各处理见表 1 注。不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 1 不同种类外源多胺对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下小白菜幼苗光合作用的影响

Fig. 1 Effects of polyamines on gas exchange parameters of *Brassica chinensis* under  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  stress

## 3 讨论

多胺作为一种生理活性物质,被认为在生物体内信号传递过程中起“第二信使”作用<sup>[12]</sup>,可以直接或间接清除活性氧<sup>[13]</sup>,稳定生物膜<sup>[14]</sup>,在植物抗逆境胁迫中发挥着重要作用。逆境胁迫下,植物体内多胺含量显著升高<sup>[15]</sup>,而且所处逆境会影响多胺的种类以及不同种类多胺相互间的转换<sup>[16]</sup>。一些研究认为 Put 可导致膜的去极化,增加  $\text{K}^+$  的渗漏<sup>[17]</sup>,而 Spd 和 Spm 有稳定燕麦原生质膜和大麦、小麦等作物叶绿体类囊体膜的作用<sup>[18]</sup>。在清除氧自由基方面,Spd 和 Spm 的能力也大于 Put,并且自由态腐胺向自由态亚精胺和自由态精胺的转化,可提高

植物的抗逆性<sup>[19]</sup>。

植物的耐盐性受多基因控制的数量性状,盐胁迫对植物的危害是多方面的,一般表现为植株矮化、生物量降低,严重者导致植物死亡<sup>[20]</sup>。生物量是植物对盐胁迫响应的综合体现及对盐胁迫的综合反应<sup>[21]</sup>,也是衡量胁迫耐性时的常用指标<sup>[22]</sup>。本试验结果表明,80 mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  显著抑制小白菜幼苗的生长,显著降低了植物的株高、叶片数、干质量、鲜质量、叶面积、根长、根体积、根系活力。叶面喷施不同浓度的多胺均能缓解  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫对小白菜幼苗生长的抑制,其中缓解效果最好的是  $D_2$  (0.5 mmol/L Spd 处理)、 $M_2$  (0.3 mmol/L Spm 处理)、 $P_2$  (5.0 mmol/L Put 处理)。

叶绿素含量是反映光合性能的重要指标。植物受到盐胁迫时,各种生理过程都会受到影响,直接或间接地影响到叶绿素的含量<sup>[23]</sup>,进而影响光合作用。因此,叶绿素含量下降可以看成是植株受害后的重要生理反应<sup>[24]</sup>。叶绿素 a 有利于吸收长波光,叶绿素 b 有利于吸收短波光,类胡萝卜素既是光合色素,又是内源抗氧化剂,在细胞内可吸收剩余能量,猝灭活性氧,从而防止细胞膜脂过氧化,全部的叶绿素和类胡萝卜素都包埋在类囊体膜中<sup>[25]</sup>。本试验中,Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 胁迫下小白菜叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量、类胡萝卜素含量显著降低,这可能是由于 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 胁迫下叶绿体类囊体膜的完整性受到破坏,导致光合色素降解。小白菜幼苗叶面喷施不同浓度的多胺时,叶绿素和类胡萝卜素含量均不同程度升高,表明多胺能够降低光合色素的降解。

盐分过多造成植株叶片气孔失水、关闭,严重阻碍了 CO<sub>2</sub> 进入叶肉细胞内,从而降低植物的光合作用<sup>[26]</sup>。导致光合速率降低的因素包括气孔限制和非气孔限制<sup>[27]</sup>。气孔限制因素是由于气孔开度的下降导致 C<sub>i</sub> 下降,使叶绿体内 CO<sub>2</sub> 供应受阻;非气孔因素则是由于叶肉细胞使气孔扩散的阻抗增加、CO<sub>2</sub> 溶解度下降、Rubisco 酶对 CO<sub>2</sub> 的亲合力降低、RuBP 再生能力下降或光合机构关键成分的稳定性因逆境胁迫而降低等原因所致<sup>[28]</sup>。若 G<sub>s</sub> 和 C<sub>i</sub> 同时下降则证明气孔因素是主要因素,若 G<sub>s</sub> 下降而 C<sub>i</sub> 升高则表明非气孔因素是主要因素<sup>[29]</sup>。本试验中,Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 胁迫下,G<sub>s</sub> 和 C<sub>i</sub> 同时下降表明气孔限制是降低光合速率的主要因素。叶面喷施不同浓度的多胺时,可以提高植株的 G<sub>s</sub>,从而使植株的 P<sub>n</sub> 增加,进而缓解了硝酸钙对小白菜幼苗光合作用的抑制,推测这可能与多胺可以改善植株的吸水状态有关。

综上所述,不同种类外源多胺处理可不同程度地提高硝酸钙胁迫下小白菜幼苗生长光合作用和光合作用,缓解硝酸钙胁迫对小白菜幼苗植株生长的抑制。其中,M<sub>2</sub> 处理对质量、光合色素含量缓解效果最好,P<sub>2</sub> 处理对根系活力、T<sub>r</sub> 缓解效果最好,D<sub>2</sub> 处理对其他指标缓解效果较好。

#### 参考文献:

- [1] 王魏,邹志荣,乔飞,等. 外源 ALA 对 NaCl 胁迫下菠菜生理特性的影响[J]. 西北农业学报,2008,17(1):137-141,156.
- [2] 张古文. 耐盐砧木嫁接提高番茄幼苗硝酸钙耐受性生理生化机制的研究[D]. 南京:南京农业大学,2008.
- [3] 杨晓玉,胡淳淳,王秀峰,等. 硝酸盐胁迫对黄瓜幼苗生长及镁、铁、铜、锰、锌含量的影响[J]. 山东农业科学,2008(8):61-65.
- [4] 王华静,吴良欢,陶勤南. 氨基酸部分取代硝酸盐对小白菜硝酸盐累积的影响[J]. 中国环境科学,2004,24(1):19-23.
- [5] 孙菲菲,李英,侯喜林等. 硝态氮对不结球白菜产量与主要营养品质及硝酸盐含量的影响[J]. 南京农业大学学报,2008,31(2):37-40.
- [6] 姜惠丽,段九菊,郭世荣,等. 不同种类外源多胺缓解黄瓜植株盐胁迫伤害的效应[J]. 中国蔬菜,2007(3):8-11.
- [7] 杨立飞,魏国平,朱月林. 外源亚精胺对 NaCl 胁迫下菜用大豆多胺合成及膜脂过氧化的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):114-117.
- [8] 彭晓,赵运林,周小梅. 多胺与植物逆境胁迫的关系[J]. 湖南城市学院学报,2008,17(1):56-60.
- [9] 王志琴,杨建昌,朱庆森,等. 水分胁迫下外源多胺对水稻叶片光合速率与籽粒充实的影响[J]. 中国水稻科学,1998,12(3):185-188.
- [10] 李青云,葛会波,胡淑明. NaCl 胁迫下外源腐胺和钙对草莓幼苗离子吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(3):540-545.
- [11] 沈伟其. 测定水稻叶片叶绿素含量的混合液提取法[J]. 植物生理学通讯,1988(3):62-64.
- [12] 周国贤,郭世荣,王素平. 外源多胺对低氧胁迫下黄瓜幼苗光合特性和质膜过氧化的影响[J]. 植物学通报,2006,23(4):341-347.
- [13] DROLET G, DUMBROFF E B, LEGGE R L, et al. Radical scavenging properties of polyamines[J]. Phytochemistry, 1986, 25(2):367-371.
- [14] 李朝周,梁恕坤,焦健,等. 逆境胁迫下多胺与乙烯代谢的相关性及其对细胞膜保护系统影响的研究进展[J]. 甘肃农业大学学报,2002,37(3):256-271.
- [15] 赵继峰,孙光明,李绍鹏,等. 多胺与植物的抗逆性[J]. 广西农业科学,2004,35(6):443-447.
- [16] TIBURCIO A F, CAM POS J L, FIGU ERAS X, et al. Recent advances in the understanding of polyamines functions during plant development[J]. Plant Growth Regulation, 1993,12:331-340.
- [17] 宋永骏,刁倩楠,齐红岩. 多胺代谢与植物抗逆性研究进展[J]. 中国蔬菜,2012(18):36-42.
- [18] BORRELL A, CARBONEEL L, FARRAS R, et al. Polyamines inhibit lipid peroxidation in Senescing oat leaves[J]. Physiologia Plantarum,1997,99:385-390.
- [19] HUMMEL I, COUEE I, AMRANI A E, et al. Involvement of polyamines in root development at low temperature in the sub antarctic cruciferous species *P ring lea antiscorbutica*[J]. Journal of Experimental Botany,2002,53:1463-1473.
- [20] 袁颖辉,束胜,袁凌云,等. 外源精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗生长和光合作用的影响[J]. 江苏农业学报,2012,28(4):835-

- 840.
- [21] 魏国强,朱祝军,方学智,等. NaCl胁迫对不同品种黄瓜幼苗生长、叶绿素荧光特性和活性氧代谢的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(11):1754-1759.
- [22] SAIRAM R K, RAO K V, SRIVASTAVA G C. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration [J]. *Plant Science*,2002,163:1037-1046.
- [23] 史庆华,朱祝军,KHALIDA AL-AGHABARY,等. 等渗Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>和NaCl胁迫对番茄光合作用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(2):188-191.
- [24] 石德成. 东北碱化草地主要成分Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>对羊草危害因素分析[J]. 草业学报,1993(1):45-54.
- [25] 秦景,董雯怡,贺康宁,等. 盐胁迫对沙棘幼苗生长与光合生理特征的影响[J]. 生态环境学报,2009,18(3):1031-1036.
- [26] 陈丽芳,陆巍,孙锦,等. 外源亚精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗光合作用和根叶碳水化合物积累的影响[J]. 南京农业大学学报,2011,34(3):31-36.
- [27] BERRY J A, DOWNTON W J S. Environmental regulation of photosynthesis[M]. Govind J. *Photosynthesis (Vol II)*. New York: Academic Press,1982:263-345.
- [28] 王素平,李娟,郭世荣,等. NaCl胁迫对黄瓜幼苗植株生长和光合特性的影响[J]. 西北植物学报,2006,26(3):0455-0461.
- [29] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. *Annual Review of Plant Physiology*,1982,33:317-345.

(责任编辑:陈海霞)