

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.

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

杨立飞¹, 魏国平², 朱月林¹

(1. 南京农业大学园艺学院/农业部华东地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 江苏南京 210095;

2. 江苏省农业科学院蔬菜研究所, 江苏南京 210014)

摘要:以菜用大豆品种绿领 95-1 为试材, 研究外源亚精胺(Spd)对 NaCl 胁迫下菜用大豆植株不同时期叶片多胺含量、膜脂过氧化、渗透调节物质含量等的影响。结果表明, 外施 Spd 显著提高 NaCl 胁迫下菜用大豆叶片中的游离态腐胺(Put)、亚精胺(Spd)和精胺(Spm)含量; NaCl 胁迫下外施 Spd 的菜用大豆植株叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性均显著高于对照植株, O_2^- 产生速率及丙二醛(MDA)含量显著低于对照, 植株膜脂过氧化轻于对照; 外施 Spd 植株叶片可溶性糖、可溶性蛋白质含量均显著高于对照。因此, 亚精胺在提高菜用大豆耐盐性方面具有重要作用。

关键词:亚精胺; NaCl 胁迫; 膜脂过氧化; 渗透调节物质; 菜用大豆

中图分类号: S643.701 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)01-0114-03

土壤盐渍化是一个世界性的资源环境和生态问题^[1-2], 全世界每年因盐碱造成的经济损失高达数百亿美元。据统计, 全世界约有 $9 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 土地有不同程度的盐渍化, 占耕地面积的 20%^[3], 我国有 $1.0 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 盐碱地, 占耕地面积的 6.2%。近年来, 随着我国人口的增加及工业化程度的快速提高, 可耕地面积急剧下降, 另外, 由于不合理的施肥和灌溉措施造成的良田次生盐渍化也正在快速蔓延。

菜用大豆是我国的重要大田作物, 是当今世界上重要的植物蛋白质来源之一, 对盐分中度敏感, 耐盐性差, 在盐胁迫条件下造成花荚败育, 落花、落荚率可达 70%~90%, 甚至导致绝收, 严重影响其产量与品质, 这阻碍了我国菜用大豆生产的可持续发展。多胺(PA)是植物中广泛存在的一种小分子脂肪胺。植物细胞中主要多胺有亚精胺(Spd)、精胺(Spm)和游离态腐胺(Put)^[4]。目前, 普遍认为 PAs 在植物生长发育中有重要作用, 而且能够抵抗胁迫逆境^[5], 在盐胁迫下 PAs 含量会增加, 这在单子叶和双子叶植物中均有报道, 如水稻和番茄耐盐栽培品种与盐敏感品种相比, 在盐胁迫下 Spd 和 Spm 的含量增加^[6]。然而, 盐胁迫下外施 Spd 对菜用大豆植株不同时期叶片多胺含量、膜脂过氧化、渗透调节物质含量等的影响还鲜见报道。因此, 本研究以菜用大豆为试材, 测定外源 Spd 对盐胁迫下植株体内多胺含量的影响及膜脂过氧化、渗透调节物质含量的变化, 分析菜用大豆叶中游离 Spd 的作用, 以探究盐胁迫下 Spd 在菜用大豆耐盐性中的作用。

1 材料和方法

1.1 材料

菜用大豆栽培品种为绿领 95-1, 由南京绿领种子生产, 相对耐盐, 表面消毒剂处理后, 播种在 $60 \text{ cm} \times 45 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$ 营养钵中, 基质为蛭石, 每盆 3 株, 使用 Hoagland's 营养液。试验于 2011 年 9 月至 11 月在南京农业大学温室中进行, 昼/夜平均温度为 $33 \text{ }^\circ\text{C}/20 \text{ }^\circ\text{C}$, 相对湿度 65%~70%, 每 3 d 浇 1 次 Hoagland's 营养液 150 mL。

1.2 方法

1.2.1 试验处理 当幼苗展开第 8~9 片真叶时, 用含 100 mmol/L NaCl 营养液处理, 处理如下: (a) 对照组: Hoagland's 营养液(CK); (b) Hoagland's 营养液 + 100 mmol/L NaCl(N1); (c) Spd 处理: N1 + 0.1 mmol/L Spd(N2)。叶面喷施 0.1 mmol/L Spd, 辅以 0.01% (体积分数) 吐温 20 作为洗涤剂, 对照组叶喷 0.01% (体积分数) 吐温 20。随机区组, 3 次重复。

1.2.2 测定项目及方法 NaCl 处理后每 3 d, 取自上向下数第 4 片完全展开叶, 按高洪波等方法^[7]用日本产 Shimadzu LC-10AT 型高效液相色谱仪测定 1 次多胺含量, 层析柱为反向 C_{18} 柱 ($150 \text{ mm} \times 4.6 \text{ mm}$), 64% 甲醇为流动相, 流速为 0.5 mL/min , 柱温为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$, Shimadzu SPD-10A 检测器波长为 254 nm, 进样为 $10 \text{ } \mu\text{L}$ 。腐胺(Put)、亚精胺(Spd)、精胺(Spm)标样购自美国 Sigma 公司, 以 Put、Spd、Spm 作标准曲线, 进行样品 Put、Spd、Spm 含量的定量分析。NaCl 处理后每 3 d, 取自上向下数第 4 片完全展开叶测定生理指标, 共测定 5 次。每处理 5 株分别取样, 3 次重复, 测定时各样品重复测定 3 次。氮蓝四唑(NBT)光还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性; 愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性; 过氧化氢酶(CAT)活性按 Cakmak 等方法^[8]测定; 抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性的测定按照 Nakano 等方法^[9]; O_2^- 产生速率的

收稿日期: 2013-05-08

基金项目: 中央高校基本科研业务费、南京农业大学青年科技创新基金(编号: KJ2010007)。

作者简介: 杨立飞(1980—), 男, 山东聊城人, 副教授, 从事蔬菜栽培生理与生物技术研究。E-mail: lfy@njau.edu.cn。

通信作者: 朱月林, 教授, 博士生导师, 从事蔬菜生理与生物技术研究。E-mail: ylzhu@njau.edu.cn。

测定参照王爱国等的方法^[10];丙二醛(MDA)含量用硫代巴比妥酸法(TBA)测定;可溶性糖含量用苯酚-硫酸方法测定;可溶性蛋白质含量用考马斯亮蓝 G-250 法测定。

1.3 统计分析

用 SAS 软件进行单因素方差分析,并用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 外源喷施 Spd 对 NaCl 胁迫下菜用大豆叶片游离态多胺含量的影响

由表 1 可知,在游离态腐胺含量方面,NaCl 胁迫后 9 d,处理植株(N1)与对照植株(CK)无差异,其余测定时期均显著低于 CK;外施 Spd 处理植株(N2)在 3、6、9 d 与 CK 有显著性差异,其余测定时期与 CK 差异不显著;N2 除了胁迫后 3 d 与 N1 无显著差异外,其余测定时期均显著高于 N1。在游离态亚精胺含量方面,N1、N2 在整个测定期间均显著高于 CK;N2 与 N1 相比,N2 在整个测定期间均显著高于 N1。在游离态精胺含量方面,N1 在胁迫后 3 d 与 CK 无显著差异外,其余测定时期均显著高于 CK;N2 在整个测定期间均显著高于 CK 和 N1。在多胺总量方面,N1 在胁迫后 9、12、15 d 显著高于 CK;N2 在整个测定时期均显著高于 CK;N2 除了胁迫后 3 d 与 N1 无显著差异外,其余测定时期均显著高于 N1。

表 1 外源喷施 Spd 对 NaCl 胁迫下不同时期菜用大豆植株叶片多胺含量的影响

指标	处理	胁迫时间					
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
腐胺(nmol/g)	Hoagland's 营养液(CK)	247.45a	279.56a	267.45c	271.26b	273.67a	268.45a
	Hoagland's 营养液+NaCl(N1)	246.86a	264.60b	246.75b	205.68b	192.86b	185.21b
	Hoagland's 营养液+NaCl+Spd(N2)	249.92a	265.36b	272.35a	287.34a	278.41a	270.29a
亚精胺(nmol/g)	Hoagland's 营养液(CK)	517.43a	546.45c	581.65c	562.44c	539.56c	550.43c
	Hoagland's 营养液+NaCl(N1)	515.31a	569.32b	612.78b	634.36b	687.24b	720.38b
	Hoagland's 营养液+NaCl+Spd(N2)	513.02a	597.48a	699.92a	758.25a	886.22a	1 009.49a
精胺(nmol/g)	Hoagland's 营养液(CK)	65.02a	71.47b	78.18c	82.34c	74.43c	80.57c
	Hoagland's 营养液+NaCl(N1)	65.27a	75.27b	86.39b	93.15b	124.39b	105.68b
	Hoagland's 营养液+NaCl+Spd(N2)	66.63a	87.87a	99.72a	106.67a	148.05a	125.58a
多胺总量(nmol/g)	Hoagland's 营养液(CK)	859.92a	907.47b	957.20b	916.04c	897.34c	919.23c
	Hoagland's 营养液+NaCl(N1)	847.98a	929.34ab	985.23b	953.67b	1024.87b	1031.68b
	Hoagland's 营养液+NaCl+Spd(N2)	852.59a	940.76a	1 017.79a	1 173.87a	1 252.64a	1 375.76a

注:同列数值后不同小写字母表示同指标间差异达 5% 显著水平。下同。

表 2 各处理不同时期菜用大豆叶片保护酶活性的比较

指标	处理	胁迫时间					
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
SOD 活性(U/g)	Hoagland's 营养液(CK)	194.39b	199.45b	213.65b	228.61b	201.43b	200.21b
	Hoagland's 营养液+NaCl(N1)	195.26a	206.22a	234.33b	262.32b	241.29b	233.82b
	Hoagland's 营养液+NaCl+Spd(N2)	199.98a	220.85a	262.12a	299.26a	305.41a	300.23a
POD 活性[U/(min·g)]	Hoagland's 营养液(CK)	1221.63a	1123.45a	1018.34a	987.34a	945.82a	899.28a
	Hoagland's 营养液+NaCl(N1)	1230.12a	923.45b	887.67c	823.34b	812.56b	802.57b
	Hoagland's 营养液+NaCl+Spd(N2)	1226.36a	1008.23b	998.34b	962.37a	920.24a	900.35a
CAT 活性[U/(min·g)]	Hoagland's 营养液(CK)	867.21a	876.34b	899.21c	903.67c	843.89c	821.02c
	Hoagland's 营养液+NaCl(N1)	877.45a	900.23ab	924.26b	946.23b	911.29b	899.23b
	Hoagland's 营养液+NaCl+Spd(N2)	861.34a	921.23a	956.57a	976.54a	965.34a	921.57a
APX 活性(U/g)	Hoagland's 营养液(CK)	14.23a	16.67b	19.34b	18.28c	21.32b	23.39b
	Hoagland's 营养液+NaCl(N1)	14.89a	20.13ab	25.66b	31.12b	27.34b	25.12b
	Hoagland's 营养液+NaCl+Spd(N2)	14.03a	24.78a	32.56a	41.78a	38.37a	35.91a

2.2 外源喷施 Spd 对 NaCl 胁迫下菜用大豆叶片保护酶活性的影响

由表 2 可知,在 SOD 活性方面,NaCl 胁迫后 3 d,N1 显著高于 CK,其余测定时期两者差异不显著;N2 在整个测定时期均显著高于 CK;N2 除了胁迫后 3 d 与 N1 无显著差异外,其余测定时期均显著高于 N1,这说明盐胁迫早期对菜用大豆植株 SOD 活性影响较大,随着胁迫时期的延长,外施 Spd 提高 SOD 活性的效果更突出。在 POD 活性方面,N1 在整个测定时期均显著低于 CK;N2 在胁迫后 3 d 和 6 d 显著低于 CK,其余测定时期两者无显著差异;N2 除胁迫后 3 d 外,其余测定期间均显著高于 N1。在 CAT 方面,N1 除了胁迫后 3 d 与 CK 无显著差异外,其余测定时期均显著高于 CK;N2 在整个测定时期均显著高于 CK;N2 除了胁迫后 3 d 与 N1 无显著差异外,其余测定时期均显著高于 N1。在 APX 活性方面,N1 除了胁迫后 9 d 显著高于 CK 外,其余测定时期两者无显著差异;N2 在整个测定时期均显著高于 CK;N2 除了胁迫后 3 d 与 N1 无显著差异外,其余测定时期均显著高于 N1。上述变化表明,盐胁迫下外源喷施 Spd 的菜用大豆植株酶活性较高,具有较稳定的活性氧清除系统,耐盐性较强。

2.3 外源喷施 Spd 对 NaCl 胁迫下菜用大豆叶片 O₂⁻·产生速率和 MDA 含量的影响

由表 3 可知,在 NaCl 胁迫下,N1 的 O₂⁻·产生速率在整

个测定期间均升高,而且均显著高于 CK;N2 除了胁迫后 3 d 显著高于 CK 外,其余测定时期两者无显著差异;N2 在整个测定期间显著低于 N1。在 MDA 含量方面,N1 在整个测定期间均显著高于 CK、N2;N2 除了在胁迫后 12 d 与 CK 有显著差

异外,其余测定期间与 CK 无显著差异。O₂⁻· 和 MDA 含量的变化结果表明,N1 植株受盐胁迫伤害严重,外施 Spd 植株受害较轻,对盐胁迫有较强的耐性。

表 3 各处理不同时期菜用大豆叶片中 O₂⁻· 产生速率和 MDA 含量的比较

指标	处理	处理时间					
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
O ₂ ⁻ · 产生速率[nmol/(g·min)]	Hoagland's 营养液(CK)	5.28a	7.12c	18.32b	21.45b	23.21b	26.17b
	Hoagland's 营养液 + NaCl(N1)	5.31a	11.24a	31.22a	44.17a	65.89a	67.23a
	Hoagland's 营养液 + NaCl + Spd(N2)	5.52a	9.12b	21.49b	27.29b	28.91b	32.12b
MDA 含量(nmol/g)	Hoagland's 营养液(CK)	3.19a	3.86b	4.12b	4.26b	3.98c	3.67b
	Hoagland's 营养液 + NaCl(N1)	3.27a	4.15a	5.75a	6.81a	6.21a	6.11a
	Hoagland's 营养液 + NaCl + Spd(N2)	3.22a	3.97b	4.26b	4.78b	5.38b	4.23b

2.4 外源喷施 Spd 对 NaCl 胁迫下菜用大豆叶片渗透调节物质含量的影响

由表 4 可知,在可溶性糖含量方面,N1 除了在胁迫后 6 d 和 9 d 显著高于 CK 外,其余测定时期两者无显著差异;N2 在

整个测定时期均显著高于 CK 和 N1。可溶性蛋白质含量的变化趋势与可溶性糖含量完全一致。测定结果说明,外源喷施 Spd 能使植株细胞内积累较多的渗透调节物质,调节细胞内的渗透势,维持水分平衡,以缓解盐害对植株造成的伤害。

表 4 各处理菜用大豆叶片中可溶性糖和可溶性蛋白质含量的比较

指标	处理	处理时间					
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
可溶性糖含量(mg/g)	Hoagland's 营养液(CK)	46.27a	49.78b	51.12c	55.67c	60.24b	56.76b
	Hoagland's 营养液 + NaCl(N1)	45.98a	54.88b	60.34b	68.45b	65.23b	60.13b
	Hoagland's 营养液 + NaCl + Spd(N2)	46.03a	59.45a	69.23a	78.35a	81.24a	90.11a
可溶性蛋白质含量(mg/g)	Hoagland's 营养液(CK)	5.21a	6.14b	6.89c	7.45c	8.76b	9.78b
	Hoagland's 营养液 + NaCl(N1)	5.32a	6.79b	7.98b	8.46b	9.25b	10.34b
	Hoagland's 营养液 + NaCl + Spd(N2)	5.29a	7.12a	8.99a	9.89a	11.45a	14.53a

3 小结与讨论

多胺(PAs)是一类具有强烈生理活性的低分子量脂肪族含氮碱,参与植物对逆境的响应,多胺的含量与外界胁迫环境关系密切^[11]。多胺的代谢特征之一是植物受到逆境胁迫时,体内多胺浓度迅速发生变化,并且不同种类、不同状态的多胺可以相互转化,如游离态 Put 可以向 Spd 或 Spm 转化;游离态多胺可以向结合态和束缚态多胺转化,从而提高植物体的稳定性^[7]。王聪等用抗盐性不同的菜用大豆品种研究盐胁迫下种子中多胺的变化情况,结果表明,耐盐菜用大豆“绿领特早”种子在 NaCl 胁迫期间能保持较高的 Spm 含量,并在胁迫中、后期保持较高的 Spd 含量,具有较强的 Put 向 Spd 和 Spm 的转化能力^[12],这可能是其耐盐性较强的重要原因之一。本试验结果表明,NaCl 胁迫下菜用大豆叶片中积累了较低含量的 Put 和较高含量的 Spd、Spm,这与水稻、番茄等作物在盐胁迫下多胺含量的变化规律一致^[6,13],说明游离态 Spd 和 Spm 含量的升高有利于提高菜用大豆的耐盐性;外源喷施 Spd 植株积累量显著高于 CK、N1,其中以 Spd 增长幅度最大、Put 次之、Spm 变化不明显,表明外源喷施 Spd 促进了植株体内内源 Spd 的合成,这与菜用大豆的耐盐性有关。

盐胁迫对质膜的伤害被认为是盐对植物的直接原初伤害,膜脂过氧化是引起膜伤害的重要原因,活性氧是引起膜脂过氧化的主要物质,活性氧伤害是植物受盐害不可忽视的一个方面,耐盐植物可以通过增强活性氧清除能力来减轻活性氧伤害,而清除活性氧的途径主要是通过维持较高的保护酶

活性^[14]。本研究结果表明,NaCl 胁迫下,菜用大豆叶片保护酶活性有明显变化,但 O₂⁻· 产生速率和 MDA 含量也明显增加,这说明保护酶并没有完全清除植株体内的活性氧,植株体内活性氧产生与清除的动态平衡没有维持在良好的水平,NaCl 胁迫造成菜用大豆植株膜脂过氧化,生物膜受到伤害。虽然 N1 和 N2 植株都不同程度地受到盐害,但受伤害程度及适应性有显著差异,外源喷施 Spd 植株保持相对较高的抗氧化酶活性,减轻了 NaCl 胁迫引起的膜脂过氧化对生物膜的伤害。NaCl 胁迫 3 d 以后,N2 与 N1 的抗氧化酶活性具有显著差异,N1 随着 NaCl 胁迫时间的延长,膜系统破坏较重,加重了盐害程度,而 N2 随着 NaCl 胁迫时间的延长,膜系统相对稳定,外源喷施 Spd 植株膜脂过氧化程度明显低于未外源喷施植株,表现出良好的耐盐能力。

盐胁迫下,细胞内积累一些物质,如脯氨酸、甜菜碱、可溶性糖、可溶性蛋白质等,以调节细胞内的渗透势,维持水分平衡,还可以保护细胞内许多重要代谢活动所需的酶类活性。本研究结果表明,NaCl 胁迫下,虽然 N1 与 N2 植株叶片中可溶性糖、可溶性蛋白质含量均有增加,但 N2 植株的含量显著高于 N1,渗透调节能力较强,其中叶片中可溶性蛋白质含量显著提高,可能与盐胁迫蛋白的合成有关。

综上所述,在 NaCl 胁迫下,与 CK、N1 相比,N2 在多胺含量、保护酶活性、渗透调节物质等方面均表现出优势,具有较强耐盐能力。Spd 与菜用大豆的耐盐性有关,外源喷施 Spd 能一定程度缓解菜用大豆的盐害,具体机理尚需进一步研究。

孙俊,宋彩惠,毛罕平,等. 不同品种叶用莴苣叶绿素荧光参数比较[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):117-119.

不同品种叶用莴苣叶绿素荧光参数比较

孙俊¹, 宋彩惠¹, 毛罕平², 宋飞龙³, 刘泉¹

(1. 江苏大学电气信息工程学院, 江苏镇江 212013; 2. 江苏大学江苏省现代农业装备与技术重点实验室, 江苏镇江 212013;

3. 江苏大学京江学院, 江苏镇江 212013)

摘要:比较了意大利全年耐抽薹叶用莴苣、香港玻璃温室叶用莴苣、大禹奶油叶用莴苣 3 种叶用莴苣的叶绿素荧光参数,结果表明:意大利全年耐抽薹叶用莴苣生长较快,PS II 活性较高、光能转化效率较高、光合电子传递速度较快,适合在江苏地区广泛种植。

关键词:叶用莴苣;光合效率;叶绿素荧光参数

中图分类号: S636.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)01-0117-03

叶用莴苣含有丰富的蛋白质、碳水化合物、维生素及矿物质,具有清热、消炎、镇痛、催眠、降低胆固醇、治疗神经衰弱等功能,同时能消除多余脂肪,被称为减肥叶用莴苣。叶绿素荧光参数能够快速准确反映作物光合特性,可以通过分析各种荧光参数来获取有关光能利用途径的信息^[1-2]。目前叶绿素荧光技术已被广泛应用于植物栽培^[3]、植物营养元素诊断等

领域^[4-6]。张秀茹等测定了不同松树品种叶绿素荧光参数^[7]。研究人员比较了 3 种油茶叶绿素荧光参数,发现博白大果油茶生长较快^[8-9]。本研究分析了 3 个叶用莴苣品种的叶绿素荧光参数,探测了不同品种叶用莴苣光合能力差异,旨在了解不同叶用莴苣品种的光合特性。

1 材料与方法

1.1 材料

试验在江苏大学玻璃温室内进行,温室东西长 100 m,南北宽 50 m,顶高 5.0 m,总面积 5 000 m²,由计算机自动控制温室内温度、湿度、光照强度、CO₂ 浓度、pH 值,温室温度维持在 25~32 ℃,相对湿度为 50%~70%。使用珍珠岩盆栽,每盆 1 株,盆高 11 cm,口径 16 cm。供试叶用莴苣品种为意大利全年耐抽薹叶用莴苣、香港玻璃温室叶用莴苣、大禹奶油叶用莴苣,采用穴盘育苗,于 2 叶 1 心期移栽。试验于 2012 年

收稿日期:2013-05-28

基金项目:国家自然科学基金(编号:31101082,61075036);江苏省高校优势学科建设工程(编号:苏政办发 2011 6 号);江苏省高等学校大学生实践创新训练计划(编号:重点项目 201310299011Z、一般项目 2013139806005Y)。

作者简介:孙俊(1978—),男,江苏泰兴人,博士,副教授,从事计算机技术在农业工程中的应用研究。E-mail: sun2000jun@ujs.edu.cn。

参考文献:

- [1] Mahajan S T, Naik R M, Dalvi U S. Assessment of biochemical markers in differentiating sugarcane genotypes for salt tolerance[J]. Sugar Technology, 2013, 15(2): 116-121.
- [2] Liu Z X, Bie Z L, Huang Y, et al. Rootstocks improve cucumber photosynthesis through Nitrogen metabolism regulation under salt stress[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2013, 35(7): 2259-2267.
- [3] 王英, 李宏, 崔彦茹, 等. 从回交导入群体中筛选耐盐和抗旱水稻植株[J]. 分子植物育种, 2010, 8(6): 1133-1141.
- [4] Zhao H Z, Yang H Q. Exogenous polyamines alleviate the lipid peroxidation induced by cadmium chloride stress in *Malus hupehensis* Rehd[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 116(4): 442-447.
- [5] Zhang G W, Liu Z L, Zhou J G, et al. Effects of Ca(NO₃)₂ stress on oxidative damage, antioxidant enzymes activities and polyamine contents in Roots of grafted and non-grafted tomato plants[J]. Plant Growth Regulation, 2008, 56(1): 7-19.
- [6] Krishnamurthy R, Bhagwat K A. Polyamines as modulators of salt tolerance in rice cultivars[J]. Plant Physiology, 1989, 91(2): 500-504.
- [7] 高洪波, 刘艳红, 郭世荣, 等. 低氧胁迫下钙对网纹甜瓜幼苗多胺含量及多胺氧化酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2005, 29(4):

652-658.

- [8] Cakmak I, Marschner H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves[J]. Plant Physiology, 1992, 98(4): 1222-1227.
- [9] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts[J]. Plant Cell Physiology, 1981, 22(5): 867-880.
- [10] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990, 26(6): 55-57.
- [11] Shen W, Nada K, Tachibana S. Involvement of polyamines in the chilling tolerance of cucumber cultivars[J]. Plant Physiology, 2000, 124(1): 431-439.
- [12] 王聪, 朱月林, 杨立飞, 等. NaCl 胁迫对菜用大豆种子游离态多胺含量的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(3): 499-505.
- [13] Santa-Cruz A, Acosta M, Perez A F, et al. Changes in free polyamine levels induced by salt stress in leaves of cultivated and wild tomato species[J]. Physiologia Plantarum, 1997, 101(2): 341-346.
- [14] 吴晶晶, 朱月林, 张古文, 等. NaCl 胁迫对结荚期毛豆叶片抗氧化酶活性和脯氨酸含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2008(2): 135-137.