

外源亚精胺对小白菜抗盐性的诱导及其机理

徐芬芬

(上饶师范学院 生命科学学院, 江西 上饶 334001)

摘要: 采用 SPD 根际注射结合叶面喷施的方法,研究了不同浓度(0、50、100、150、200 mg/L)外源 SPD 对小白菜生长及其生理生化特性的影响。结果表明,100~150 mg/L SPD 诱导能显著提高盐胁迫下小白菜的株高、单株干重、单株鲜重和含水量等;降低叶片丙二醛(MDA)含量;增强叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)等植物细胞保护酶的活性;显著提高盐胁迫下小白菜植株的叶绿素含量和净光合速率。

关键词: 小白菜; 亚精胺; 耐盐性; 生理机制

中图分类号: Q945.78; S634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)05-0664-04

SPD-induced salt resistance and mechanism in Chinese cabbage

XU Feng-Feng

(Department of Life Sciences, Shangrao Normal College, Shangrao 33001, China)

Abstract: We studied the effects of exogenous SPD of different concentration 0, 50, 100, 150, 200 mg/L on the physiological parameters in Chinese cabbage by the method of rhizosphere and foliar spraying. The results were as follows: SPD of 100-150 mg/L significantly improved the plant height, plant dry weight, plant fresh weight and plant water content, reduced the malondialdehyde(MDA) content. enhanced superoxide dismutase(SOD), peroxidase(POD) enzyme activity of leaf, significantly increased the chlorophyll content and the net photosynthetic rate of Chinese cabbage under the salt stress.

Key words: *Brassica campestris* ssp. *chinensis*; SPD; salt tolerance; physiological mechanism

渍土地面积不断扩大,通过生物技术开发和利用盐碱地是未来发展农业的重要课题(朱俊义等, 2003)。土壤次生盐渍化致使蔬菜生长发育迟缓,产量与品质下降,严重的无法耕种。对作物盐害或耐盐机理的研究表明,化学调控手段是提高作物耐盐性的有效措施之一。

化学诱抗剂能够解决普通化学农药不能解决或解决过程中新出现的一系列问题,具有化学农药不可比拟的优势,与发展可持续农业相适应,也是绿色生产的重要内容之一(Zou 等, 2003)。其作为一种植物内源激素,具有广泛的生物学作用。多胺(PAs)是生物体代谢过程中产生的一类具有强烈生理活性的低分子量脂肪族含氮碱,它广泛存在于生

物体内,与高等植物多种环境胁迫密切相关。据报道,外施适量浓度的亚精胺(SPD)能在一定程度上缓解玉米(Jiang 等, 2000)、滨藜(江行玉等, 2001)、水稻(Roy 等, 2005)、黄瓜(杜长霞等, 2007)、番茄(张纪涛, 2010)和辣椒(汪志伟, 2009)等的盐胁迫伤害。但目前有关 SPD 与小白菜盐胁迫关系的研究尚未见报道。且前人研究多侧重于对生长或某一方面生理特性的研究,而未见将生长指标与光合生理指标结合起来说明 SPD 对盐胁迫下作物产量形成的影响。因此,本试验以小白菜(*Brassica campestris* ssp. *chinensis*)为材料,通过对盐胁迫下的小白菜进行 SPD 诱导处理,分析了 SPD 对盐胁迫下小白菜的形态建成、叶片相对含水量、保护酶活性和光

合生理特性等的影响,旨在全面揭示 SPD 的抗盐机理,为在蔬菜生产中利用 SPD 作为化控措施以缓解小白菜盐害提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试的小白菜品种为“上海夏冬青”,其种子由上饶市农科所提供。试验所用 SPD 为 SIGMA 公司产品,母液浓度 1 000 mg/L,NaCl 来自北京化学试剂公司,含量 $\geq 99.5\%$,规格 AR。

1.2 试验方法

供试土壤为褐土,取自上饶市农科所试验田。土壤经风干后粉碎过 10 mm 筛。选取直径 9 cm 的培养皿,内铺 2 层滤纸,挑选基本均匀一致、色泽紫红的饱满种子 30 粒播种于滤纸之上。25 ℃ 下催芽,选择长势一致的种子播种至直径为 25 cm 的塑料钵中(每钵填装 4 kg 土样),每钵 5 株。幼苗第 2 片真叶初展时,用注射器分别吸取 0、50、100、150、200 mmol/L SPD,在距幼苗根部约 2 cm 处进行根际初始诱导,每株 20 mL;并于 2 d 后叶面喷施相同浓度诱抗剂,叶面、叶背均匀喷施,量足但不滴下。诱导后 5 d 进行盐胁迫逆境处理,用注射器吸取 150 mmol/L NaCl 缓慢注入根际基质中,每株 40 mL,对照用等量蒸馏水代替。具体试验设置:CK(A 处理)、150 mmol/L NaCl(B 处理)、150 mmol/L NaCl + 50 mg/L SPD(C 处理)、150 mmol/L NaCl + 100 mg/L SPD(D 处理)、150 mmol/L NaCl + 150 mg/L SPD(E 处理)、150 mmol/L NaCl + 200 mg/L SPD(F 处理)等 5 处理。完全随机区组排列,每处理 3 次重复,每重复 3 盆。苗期管理采用常规方法,保持各处理小区一致。

1.3 测定项目

1.3.1 光合参数的测定 小白菜幼苗经盐胁迫处理第 20 d 时选取完全展开的第三片展开真叶,采用 CI-340 便携式光合系统测定仪(美国),于 9:00~11:00 测定净光合速率 $P_n(\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ 。

1.3.2 光合色素含量测定 小白菜幼苗经盐胁迫处理第 21 d 时选取小白菜第 2、3 片真叶,用混合液(丙酮:95%乙醇=1:1)于黑暗条件下浸提 24 h 后,用分光光度计测定叶绿素 a(Chla)、叶绿素 b(Chlb)和类胡萝卜素(Car)的含量,单位均为 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{Fw}$,并计算总叶绿素含量($\text{Chl} = \text{Chla} + \text{Chlb}$)。

1.3.3 保护酶活性测定 小白菜幼苗经盐胁迫处理第 22 天时,选取小白菜第 2、3 片真叶,用 TBA 显色法测定丙二醛(MDA)和可溶性糖含量(张志良等,2003);NaCl 处理 23 d 时选取小白菜幼苗第 2、3 片真叶,并分别采用 NBT 光化还原法和愈创木酚比色法测定 SOD 和 POD 活性(张志良等,2003)。

1.3.4 生长指标 小白菜幼苗经盐胁迫处理 24 d 时,每处理选取 10 株幼苗,测定其株高、单株干重、单株鲜重、植株含水量和展开叶片数等。

植株含水量($\%$)=(单株鲜重-单株干重)/单株鲜重 $\times 100\%$;

净光合速率每次测定重复 5 次,其余各指标均重复 3 次,结果取平均值。

结果采用 SAS 软件 Duncan's 新复极差多重比较进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 外源 SPD 对盐胁迫下小白菜生长的影响

由表 1 可以看出,盐胁迫下,小白菜生长受到显著抑制,株高、单株干重、单株鲜重和植株含水量等均极显著低于正常情况的对照(处理 A)。外源 SPD 对盐胁迫下小白菜幼苗的生长有明显的促进作用。各指标以 100 mg/L SPD 促进作用最大,株高、单株干重、单株鲜重和植株含水量等均与正常对照(处理 A)差异不显著;其次为 150 mg/L SPD 处理,各指标均显著高于单纯盐胁迫处理(处理 B)。但当处理浓度增加到 200 mg/L 时,各指标值又显著降低。说明 SPD 在一定浓度范围对小白菜的生长有促进作用,但如浓度超过一定值时,浓度再增加,各指标增长幅度则降低。

2.2 外源 SPD 对盐胁迫下小白菜幼苗保护酶活性的影响

从表 2 可以看出,NaCl 胁迫下,小白菜叶片的保护酶(SOD、POD)活性均低于正常对照(处理 A)。经 SPD 诱导后的各处理保护酶活性都均较单纯盐胁迫处理(处理 B)明显增强,其中,SPD 处理浓度为 100、150 mg/L 提高幅度较大。这表明,SPD 对保护酶系统具有激活作用,即具有潜在的诱导抗性。

2.3 外源 SPD 对盐胁迫下小白菜叶片丙二醛和可溶性糖含量的影响

丙二醛为膜脂过氧化作用的最终产物,其含量可反映植物遭受逆境伤害的程度。由表 2 可知,小

白菜幼苗叶片丙二醛(MDA)含量明显高于正常对照,经 SPD 诱导后的各处理 MDA 含量比单纯盐胁迫处理(处理 B)降低,其中以 100 mg/L、150 mg/L SPD 两处理最低。说明在盐胁迫下小白菜叶片细胞质膜的完整性严重受损,外源 SPD 可减轻 NaCl 对小白菜细胞膜的伤害,有保护细胞膜完整性的作

用。小白菜幼苗叶片的可溶性糖含量高于正常对照,SPD 诱导后的各处理可溶性糖含量较处理 B 均有所增加。说明适宜浓度的 SPD 可促进盐胁迫下小白菜叶片渗透调节物质的积累,通过增强盐胁迫下小白菜的渗透调节能力,从而提高其在盐胁迫下的吸水能力。

表 1 外源 SPD 对盐胁迫下小白菜生长的影响
Table 1 Effects of SPD on growth of Chinese cabbage under salt stress

处理 Treatment	单株鲜重(g/plant) Plant fresh mass	单株干重(g/plant) Plant dry mass	含水量(%) Water content	株高(cm) Plant height	展开叶片数
A(正常对照)	8.456 aA	1.106 aA	86.92 aA	9.81 aA	4.38 aAB
B(NaCl)	3.696 dC	0.673 bA	81.57 bA	6.67 cC	3.68 bB
C(NaCl+SPD50)	5.89 cB	0.904 abA	84.65 abA	7.75 bcBC	4.11 abAB
D(NaCl+SPD100)	7.656 abA	0.965 abA	87.40 aA	8.94 aAB	4.53 aA
E(NaCl+SPD150)	7.284 bA	0.952 abA	86.93 aA	8.87 abAB	4.23 abAB
F(NaCl+SPD200)	4.147 dC	0.729 bA	82.42 bA	8.82 abAB	4.21 abAB

注:同列不同大小写字母表示差异分别达 0.01(极显著)和 0.05(显著)水平。下同。

Note: Different letters of the same column represent difference at 0.01 (very significant) and 0.05 (significant) level respectively. The same below.

表 2 外源 SPD 对盐胁迫下小白菜抗氧化作用的影响

Table 2 Effects of SPD on activities of antioxidant protecting enzymes in Chinese cabbage under salt stress

处理 Treatment	SOD 活性 activity (U · min ⁻¹ · g ⁻¹ FW)	POD 活性 activity (U · min ⁻¹ · g ⁻¹ FW)	MDA 含量 content (μmol · g ⁻¹ FW)	可溶性 糖含量 Soluble sugar content (mmol · g ⁻¹ FW)
A(正常对照)	114.23	25.66	5.34	28.71
B(NaCl)	90.64	16.58	12.52	33.55
C(NaCl+SPD50)	171.96	34.01	10.16	38.74
D(NaCl+SPD100)	241.25	38.64	7.44	42.52
E(NaCl+SPD150)	206.64	45.14	7.24	47.42
F(NaCl+SPD200)	159.25	38.78	10.15	44.14

2.4 外源 SPD 对盐胁迫下小白菜叶片光合特性的影响

叶片中光合色素含量是反映植物光合能力的一个重要指标,其中叶绿素 a 有利于吸收长波光;叶绿素 b 有利于吸收短波光;类胡萝卜素可吸收剩余光能,又是内源抗氧化剂,除在光合作用中担任天线色素的功能外,在细胞内还可吸收剩余光能、淬灭活性氧,从而防止膜脂过氧化,保护光合机构。由表 3 可知,小白菜叶片的叶绿素含量显著低于对照,SPD 诱导处理光合色素含量随处理浓度增加先增后减,当浓度达 100 mg/L 时,类胡萝卜素含量和总叶绿素含量均达最大,此后随处理浓度的增加而降低。总叶绿素含量以 100 mg/L SPD 处理与正常对照无显著差异,其它处理均显著低于正常对照。净光合

速率的变化趋势与叶绿素含量一致,以单纯盐胁迫处理最低,SPD 处理后净光合速率明显增加,除 200 mg/L SPD 外,其它 SPD 处理净光合速率均极显著高于单纯盐胁迫处理,以 100 mg/L SPD 处理最高,且与正常对照间无显著差异。表明 SPD 可通过延缓盐胁迫条件下小白菜叶绿素含量的下降,提高净光合速率,从而增强小白菜在盐胁迫条件下的适应能力。以 100 mg/L 为 SPD 最适诱导浓度。

3 结论与讨论

植物组织相对含水量是衡量植物体内水分状况的重要指标,可以反映植物体内水分亏缺状况。Liu 等(2000)认为,多胺以保卫细胞中向内的 K⁺ 通道作为靶点,调节气孔的运动。本试验表明,NaCl 胁迫下,小白菜叶片的相对含水量显著下降,而 Spd 处理后,其叶片的相对含水量与正常对照差异不显著。说明,外源 Spd 可缓解小白菜在盐渍环境中的吸水困难,提高小白菜的抗盐能力。从表 2 可溶性糖含量的结果也可看出,Spd 处理可溶性糖含量明显提高,推测,Spd 通过增加盐胁迫下渗透物质的积累从而增强吸水能力。

植物体内的抗氧化酶系统如 SOD、POD 在保护机体免受氧自由基的侵害过程中起着重要作用,而丙二醛(MDA)是活性氧启动膜脂氧化过程中产生的主要产物之一,其含量是衡量植物在逆境胁迫下

活性氧伤害程度大小的常用指标。本试验结果显示,小白菜在盐胁迫下叶片的保护酶活性明显降低,而 SPD 诱导能增强在盐胁迫下小白菜的保护酶活性,这与段九菊(2006)和王燕(2009)等的研究结果一致。盐胁迫下,小白菜叶片的 MDA 含量明显提

高,而外源 SPD 处理能降低 MDA 含量,减轻膜脂过氧化,减轻膜伤害,因而盐胁迫下质膜的稳定性增强。这可能是 SPD 诱导增强小白菜抗盐性的原因之一。

盐胁迫影响植物叶绿素的合成,但对类胡萝卜

表 3 SPD 对盐胁迫下小白菜光合色素含量和净光合速率的影响
Table 3 Effects of SPD on photosynthesis of Chinese cabbage under salt stress

处理 Treatment	Chla (mg · g ⁻¹ Fw)	chl b (mg · g ⁻¹ Fw)	Car (mg · g ⁻¹ Fw)	chl a + chl b (mg · g ⁻¹ Fw)	Pn (μmol CO ₂ · m ⁻² · s ⁻¹)
A(正常对照)	0.565	0.211	0.070	0.776aA	8.53aA
B(NaCl)	0.439	0.188	0.042	0.627bB	2.83dC
C(NaCl+SPD50)	0.469	0.215	0.053	0.684bAB	4.51cB
D(NaCl+SPD100)	0.516	0.228	0.060	0.744aAB	7.75abA
E(NaCl+SPD150)	0.502	0.214	0.054	0.716bAB	7.46bA
F(NaCl+SPD200)	0.465	0.178	0.046	0.643bAB	3.28dC

素含量的影响未见报道。本研究结果表明,盐胁迫下小白菜叶片叶绿素和类胡萝卜素含量均明显降低,导致净光合速率显著降低。叶绿素含量的下降可能与盐胁迫提高了叶绿素酶的活性,促进了叶绿素降解,从而引起叶绿素含量减少有关(张其德,2000)。Borrell 等(1996)研究证实 SPD 能提高盐胁迫下小白菜的叶绿素含量。本研究结果也表明,外源 Spd 提高了盐胁迫下叶绿素和类胡萝卜素的含量,表明施加外源 SPD 有助于保护叶绿体膜,保持其结构的稳定性,维持叶片较高的光合色素含量,因而提高了盐胁迫下小白菜的净光合速率,进一步提高了盐胁迫下小白菜的单株干重,有利于产量的形成。

综合分析表明,盐胁迫下,小白菜植株吸水能力降低、保护酶活性降低、光合色素含量下降,MDA 含量增加、膜稳定性降低,这些因素最终引起伤害效应,使小白菜净光合速率下降,生长受抑制(表现为干重、株高降低);而外源 SPD 可作为诱抗剂,能改善盐胁迫下小白菜植株的多种生理指标,增强抗氧化能力和渗透调节能力,增强膜的稳定性,维持叶片较高的光合色素含量,提高净光合速率。因而盐害的抑制作用得到缓解,小白菜的生长受到明显促进(由表 1 中生物量、株高、叶展开叶片数等反映)。SPD 适宜诱导浓度为 100~150 mg/L。

参考文献:

张志良,瞿伟菁. 2003. 植物生理学实验指导[M]. 第 3 版. 北京:高等教育出版社:123-124,268-270,274-277
Borrell A, bbotford RT, Altabella T, et al. 1996. Regulation of arginine decarboxylase by spermine in osmotically stressed oat

leaves[J]. *Physiologia Plantarum*, **98**:105-110
Du CX(杜长霞), Li J(李娟), Guo SR(郭世荣). 2007. Effects of exogenous spermidine on the growth and soluble prote in expression in cucumber seedlings under NaCl stress(外源亚精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗生长和可溶性蛋白表达的影响)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **27**(6):1 179-1 184
Duan JJ(段九菊), Guo SR(郭世荣), KangYY(康艳艳). 2006. Effects of exogenous sperm idine on reactive oxygen species levels and antioxidant enzymes activities of *Cucumber* seedlings under salt stress(外源亚精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗活性氧水平和抗氧化酶活性的影响)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), **33**(3): 639-634
Jiang XY, Song J, Fan H, et al. 2000. Regulation of exogenous calcium and spermidine on ion balance and polyamine levels in maize seedlings under NaCl stress [J]. *Acta Bot Sin*, **2**(6):539-544
Jiang XY(江行玉), Zhao KF(赵可夫), Dou JX(窦君霞), et al. . 2001. The effects of exogenous spermidine and dicyclohexylamine on the content of endogenous polyamines and salt resistance of atriplex under NaCl stress(NaCl 胁迫下外源亚精胺和二环己基胺对滨藜内源多胺含量和抗盐性的影响)[J]. *Plant Physiol Commun*(植物生理学通讯), **37**(1):6-9
Liu K, Fu HH, Bei QX. 2000. Inward potassium channel in guard cells as a target for polyamine rgulation of stomatal movements [J]. *Plant Physiol*, **124**:1 315-1 325
Roy P, Niyogi K, Sen Gupta DN, et al. 2005. Spermidine treatment to rice seedlings recovers salinity stress-induced damage of plasma membrane and PM-bound H⁺-ATPase in salt-tolerant and salt-sensitive rice cultivars [J]. *Plant Sci*, **168**:583-591
Wang Y(王燕), Liu Q(刘青), Hua C(华春). 2009. Effects of exogenous spermidine on anti-oxidative enzyme activities in rice seedling roots under salt stress(外源亚精胺对盐胁迫下水稻根系抗氧化酶活性的影响)[J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*(西北农业学报), **18**(6):161-165
Wang ZW(汪志伟), Yun WJ(俞文俊), Xie JM(颀建明). 2009. Mitigative effect of exogenous spermidine on growth inhibition in pepper seedlings under NaCl stress(外源亚精胺对盐胁迫下辣
(下转第 594 页 Continue on page 594)

细胞后含物,皮层细胞、韧皮部及髓中分布有乳汁管和分泌道,曾有报道指出旱生植物根、茎、叶中所含的树脂或单宁等胶体物质能够起到阻碍体内水分流动的作用(李正理,1981),本研究的这些细胞物质是否与植株的抗旱性有关,有待进一步研究。

参考文献:

- 中国植物志编辑委员会. 1977. 中国植物志(第 63 卷)[M]. 北京:科学出版社:157-165
- 李扬汉. 1995. 植物学(第二版)[M]. 上海:上海科学技术出版社:139-155
- 李正理. 1996. 植物组织切片学[M]. 北京:北京大学出版社:1-28
- 贺学礼. 2004. 植物学(第 1 版)[M]. 北京:高等教育出版社:165-166
- Cui XP(崔秀萍), Liu GH(刘果厚), Zhang RL(张瑞麟). 2006. Comparison of leaf anatomical structure between *Salix gordejewii* growing under contrasting habitats of Otingdag Sandland and *Salix microtachya* var. *bordensis* growing on the lowlands of dunes(浑善达克沙地不同生境下黄柳叶片解剖结构的比较)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **26**(6):1 842-1 847
- Fahn A. 1964. Some Anatomical Adaptations of Desert Plants [M]. *Phytomorphology*, 93-102
- Li ZL(李正理). 1981. Study on morphological structure of xerophyte(旱生植物的形态和结构)[J]. *Bull Biol*(生物学通报), (4):9-12
- Li ZL(李正理), Li RA(李荣敖). 1981. Anatomical observation of assimilating branches of nine xerophytes in Gansu(我国甘肃九种旱生植物同化枝的解剖观察)[J]. *J Int Plant Biol*(植物学报), **23**(3):181-185
- Jie YC(揭雨成), Leng J(冷鹏), Xu Y(许英). 2001. The progress of studies on ecological characteristics and industrialization of kendery(罗布麻生态特征与产业化研究进展)[J]. *Plant Fiber Prod*(中国麻业), **23**(3):34-37
- Reimold JR, Queen HW. 1974. Ecology of Halophytes[M]. New York: Academic Press:307-342
- Qian XS(钱学射), Zhu FJ(朱凤娟), Zhang WM(张卫明), et al. 2005. Research advances on pharmacological actions of *Apocynum venetum* roots(罗布麻红麻根的药理作用研究进展)[J]. *Chin Wild Plant Res*(中国野生植物资源), **24**(5):1-3
- Tang WP(唐为萍), Chen SS(陈树思). 2005. Study on anatomical structure of leaf of *Aquilaria agallocha*(沉香叶解剖结构的研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **25**(3):229-232
- Wu T(吴钊), Feng F(丰锋), Ye CH(叶春海). 2008. Studies on the anatomical structures of the leaf and flowers of jackfruit(*Artocarpus heterophyllus*)(菠萝蜜叶和花的解剖结构研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **28**(6):746-749
- Yan L(燕玲), Li H(李红), He X(贺晓), et al. 2000. Ecological anatomy of nine priority species in A La Shan arwa(阿拉善地区 9 种珍稀濒危植物营养器官生态解剖观察)[J]. *J Inner Mongolia Inst Agric Animal Husb; Nat Sci Edi*(内蒙古农业大学学报·自然科学版), **21**(3):65-71
- Zamski E, Tsvison Y. 1977. Translocation in plants possessing supernumerary phloem: I. 14C-assimilates and auxin in the internal phloem of tobacco(*Nicotiana tobacum*)[J]. *J Exp Bot*, **28**(102):117-126
- Zhang SW(张绍武), Hu RL(胡瑞林), Qian XS(钱学射). 2000. On the geographical division of *Apocynum* in China(我国罗布麻分布区的地理区划)[J]. *Chin Wild Plant Res*(中国野生植物资源), **19**(4):20-22
- Zhao JH(赵金花), Li QF(李青丰). 2010. Drought resistance analysis based on anatomical structures of three wild *Allium* in Inner Mongolia arid grassland(内蒙古荒漠草原三种野生葱属植物解剖结构的抗旱性分析)[J]. *J Inner Mongolia Univ; Nat Sci Edi*(内蒙古大学学报·自然科学版), **41**(2):201-205
- Zhou B(周波). 2005. Studies on anatomical structures of *Apocynum venetum*(罗布麻解剖结构的研究)[J]. *J Guizhou Univ Tech; Nat Sci Edi*(贵州工业大学学报·自然科学版), **34**(6):97-99
- 椒幼苗生长抑制的缓解效应)[J]. *J Gansu Agric Univ*(甘肃农业大学学报), **44**(4):67-72
- Zhang JT(张纪涛), HU XH(胡晓辉), LI C(李翠). 2010. Effect of exogenous spermidine(Spd) on index of physiology and biochemistry of tomato seedlings under salt stress(外源亚精胺(Spd)对盐胁迫下番茄幼苗生理生化指标的影响)[J]. *J Changjiang Vegetables*(长江蔬菜·学术版), (16):25-28
- Zhang QD(张其德). 2000. Effects of salt stress on plants and photosynthesis(盐胁迫对植物及其光合作用的影响)[J]. *Plant J*(植物杂志), (1):28-29
- Zhu JY(朱俊义), Yang GY(杨光宇), Zhao FJ(赵凤鹃)等. 2003. Study on salt-resistant structure of *Glycine soja*(野生大豆抗盐性解剖结构研究)[J]. *J Northeast Normal Univ*(东北师大学报), **35**(4):105-108
- Zou LW, Fu JF, Pu CS, et al. 2003. Application of Plant Tolerance-Induced Agent on the Green Food Production. The Proceedings of 19th National Plant Protection Information and Agricultural medicine and Instruments[B13][M]. Beijing: Chinese Agricultural Publishers:121-123

(上接第 667 页 Continue from page 667)