

# 硅对盐胁迫下不同基因型黄瓜幼苗生长和生理代谢的影响

姚秋菊<sup>1</sup>, 张晓伟<sup>1</sup>, 赵小忠<sup>2</sup>, 魏国强<sup>3</sup>

(1. 河南省农业科学院 园艺研究所, 河南 郑州 450002; 2. 郑州市农产品质检流通中心, 河南 郑州 450006;  
3. 河南省农业厅, 河南 郑州 450008)

**摘要:** 研究了水培条件下硅对盐胁迫下 2 个黄瓜品种幼苗生长和生理代谢的影响。结果表明: 硅缓解了盐胁迫对黄瓜幼苗生长的抑制作用, 显著降低黄瓜叶片中丙二醛(MDA)含量, 减轻了黄瓜叶片的膜脂过氧化程度, 显著降低叶片的电解质渗透率; 硅使盐胁迫下黄瓜幼苗叶片保护酶(SOD, POD, PPO)活性显著升高, IAA 氧化酶活性显著下降; 加硅使黄瓜叶片的脯氨酸含量明显降低, 绿原酸含量明显增加。因此, 硅参与了植物的代谢或生理活动, 可减轻盐胁迫对黄瓜幼苗的伤害。

**关键词:** 盐胁迫; 硅; 黄瓜

中图分类号: S642.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-3268(2008)01-0079-05

## Effects of Silicon on the Growth and Physiological Metabolism of Different Genotypes of Cucumber Seedlings under Salt Stress

YAO Qiu-ju<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-wei<sup>1</sup>, ZHAO Xiao-zhong<sup>2</sup>, WEI Guo-qiang<sup>3</sup>

(1. Institute of Horticulture, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China;  
2. Zhengzhou Farm Products Puality Testing and Distribution Center, Zhengzhou 450006, China;  
3. The Agricultural Department of Henan Province, Zhengzhou 450008, China)

**Abstract:** Two cucumber (*Cucumis sativus* L.) cultivars were grown in a hydroponics culture system to study the effects of silicon(Si) on the growth and physiological metabolism of seedling leaves under salt stress. The results showed that Si could relaxed the salt stress-induced growth inhibition in cucumber seedling, and markedly decreased the malondialdehyde(MDA) content in the leaves of both cultivars exposed to salinity which reduced the membrane lipid peroxidation of cucumber leaves under salt stress and the electrolytic leakage percentage in plant leaves. The activities of superoxide dismutase(SOD), peroxidase(POD) and polyphenoloxidase(PPO) in cucumber leaves increased significantly when Si was added to the salt-contained solution, and so the damage by salt stress on cucumber seedlings were alleviated. The results of the present study suggested that Si is involved in the metabolic or physiological metabolism in higher plants.

**Key words:** Salt stress; Silicon; Cucumber

土壤盐渍化是影响植物生长的主要因素之一<sup>[1]</sup>。据报道, 在世界范围内, 近 23 亿  $\text{hm}^2$  灌溉土地的 1/3 受到盐分胁迫, 并且过量的灌溉及降雨的

缺乏加剧了盐化程度, 使土壤盐渍化面积逐年增加。随着园艺作物设施栽培面积的日益扩大, 温室土壤的次生盐渍化也已成为国内外设施栽培中普遍存在

收稿日期: 2007-08-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30230250)

作者简介: 姚秋菊(1973-), 女, 河南浚县人, 助理研究员, 硕士, 主要从事蔬菜生理及新品种选育的研究。

的问题。

硅是地球表面的第二大元素,然而硅是否是植物必需营养元素还未被证实,但是,众所周知,硅是植物健康生长的有益元素<sup>[2~4]</sup>。有研究证实,硅可以影响许多植物(尤其是单子叶植物)的生长及生物学产量,增强抗逆性,缓解重金属积累的危害,并保护作物免遭病菌侵染<sup>[5]</sup>。最近的研究还表明,适量硅可显著提高作物的抗盐性,降低作物盐害<sup>[6~10]</sup>。梁永超等在研究硅对大麦适应盐胁迫能力的影响时发现,硅降低了大麦叶片电解质渗透率,提高了盐胁迫大麦体内超氧化物歧化酶(SOD)活性,并降低了丙二醛(MDA)含量,显示硅可降低盐胁迫大麦膜脂过氧化伤害<sup>[8~10]</sup>。

本试验选用苗期耐盐性差异较大的 2 个黄瓜基因型,研究硅对盐胁迫下黄瓜幼苗生长和生理代谢的影响。旨在阐明硅提高黄瓜耐盐性的作用机理,并为加速开发利用盐渍土和设施园艺的可持续发展提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验处理

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)品种为津研 4 号(耐盐性较强)和津绿 4 号(耐盐性较弱),经过多次不同浓度 NaCl 胁迫筛选,确定 2 个品种耐盐性差异较大。种子发芽后播种于蛭石中,当第 1 片真叶露尖后,挑选生长一致的幼苗移入带孔盖板的 10 L 塑料箱中,每箱 9 株,装入 8 L 用去离子水配制的完全营养液(pH 6.2),完全营养液的组成为:Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O 4.0 mmol/L, KNO<sub>3</sub> 0.8 mmol/L, NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1.3 mmol/L, MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 2.0 mmol/L, Fe—EDTA 70.0 μmol/L, MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 10.0 μmol/L, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 50.0 μmol/L, ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.7 μmol/L, CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 0.2 μmol/L, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O 0.01 μmol/L。第 2 片真叶完全展开后进行处理,设置 4 个处理,(1)CK(不加硅不加氯化钠);(2)加硅不加氯化钠(1.0 mmol/L Si, Si);(3)不加硅加氯化钠(50 mmol/L NaCl, NaCl);(4)加硅加氯化钠(1.0 mmol/L Si + 50 mmol/L NaCl, Si + NaCl),3 次重复。加硅处理使用硅酸钾(分析纯),不加硅处理中加入 1.7 mmol/L 的硫酸钾溶液,以平衡钾离子。试验期间,每 3 d 调 1 次 pH 值,6 d 更换 1 次营养液并全天通气,白天气温 22 ~ 28 °C,夜间 17 ~ 20 °C。处理后第 10 天测定黄瓜生长量,并取植株顶部向下第 1 片完全展开功能叶,测定叶片电解质

渗透率,MDA、脯氨酸和绿原酸含量,以及 SOD、POD(过氧化物酶)、PPO(多酚氧化酶)和 IAA oxidase (IAA 氧化酶)活性。

### 1.2 测定方法

株高的测量是从黄瓜幼苗基部至叶片顶端,每处理取 10 株幼苗,以苗高度的平均值代表株高。按 Lutts 等方法<sup>[11]</sup>测定叶片的电解质渗透率。MDA 含量测定参照 Cakmak 等的方法<sup>[12]</sup>。用茚三酮比色法测定脯氨酸含量<sup>[12]</sup>。

酶的提取和测定:取 0.3 g 叶片,加 2 mL 25 mmol/L HEPES 缓冲液(含 0.2 mmol/L EDTA, pH 7.8)和 2% 不溶性 PVP。冰浴中匀浆,过 2 层纱布,15 000 g 离心 20 min,上清液用于测定 SOD 活性<sup>[12]</sup>、POD 活性<sup>[13]</sup>、PPO 活性<sup>[10]</sup>和 IAA 氧化酶活性<sup>[14]</sup>。用 SHIMADZU UV-2410PC 紫外分光光度计酶动力学软件测定吸光度的变化。

绿原酸的测定:取 3 g 黄瓜叶片(鲜重),置于 60 °C 烘至恒重,加 50 倍乙醇提取 1 h,提取液 1 mL 加 4 mL 乙醇后,加入 0.5 g 活性炭脱色,之后于分光光度计 324 nm 处测定光吸收值<sup>[11]</sup>。按绿原酸标准曲线转换出绿原酸含量。蛋白质含量测定:采用 Bradford<sup>[14]</sup>的方法测定蛋白质含量。所有测定重复 3 次,以 SAS 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 硅对盐胁迫下黄瓜幼苗生长的影响

由表 1 可知,在 NaCl 胁迫条件下,2 个黄瓜品种生长显著受到抑制,NaCl 处理植株幼苗的株高、地上部干重和根部干重显著小于 CK;盐胁迫条件下,加硅处理植株幼苗的株高、地上部干重和根部干重显著高于不加硅处理。硅缓解了盐胁迫对 2 个黄瓜品种幼苗生长的抑制作用。

### 2.2 硅对盐胁迫下黄瓜叶片细胞膜透性的影响

MDA 是膜脂过氧化产物,具有很强的毒性,它可与蛋白质或核酸反应,抑制蛋白质的合成,也可与酶反应,使其丧失活性。由于它会严重损伤生物膜的结构和功能,其含量高低也就成了膜脂过氧化强弱和质膜破坏程度的重要指标。由表 2 可知,盐胁迫显著增加 2 个黄瓜品种叶片 MDA 含量,加硅处理植株叶片 MDA 含量显著低于不加硅处理;加硅不加 NaCl 处理与 CK 的 MDA 含量差异不显著。表明盐胁迫使黄瓜幼苗叶片细胞膜脂过氧化加剧,加硅可以减轻黄瓜叶片的膜脂过氧化程度。

盐胁迫下 2 个黄瓜品种叶片的电解质渗透率显

著升高,耐盐性较强品种(津研4号)的电解质渗透率小于耐盐性较弱的品种(津绿4号),加硅可显著降低盐胁迫下2个黄瓜品种叶片的电解质渗透率,表明加硅处理受到的伤害较小。

表1 硅对盐胁迫下黄瓜幼苗生长的影响

处理	株高(cm)		地上部干重(g/株)		根部干重(g/株)	
	津绿4号	津研4号	津绿4号	津研4号	津绿4号	津研4号
CK	30.60±1.44 b	36.87±3.07 a	2.46±0.14 b	1.91±0.06 b	0.25±0.01 a	0.25±0.02 b
Si	35.67±1.53 a	39.87±2.90 a	2.90±0.08 a	3.21±0.19 a	0.26±0.01 a	0.47±0.02 a
NaCl	23.53±2.55 c	26.00±1.03 c	1.56±0.13 d	1.24±0.25 c	0.14±0.02 c	0.16±0.01 c
Si + NaCl	28.50±1.50 b	32.13±2.28 b	1.87±0.10 c	1.73±0.05 b	0.21±0.02 b	0.27±0.12 b

注: 同列中不同字母表示差异显著 (means±SD, n=3)。下同

表2 硅对盐胁迫下黄瓜幼苗叶片MDA含量和电解质渗透率的影响

处理	MDA含量(nmol/g)		电解质渗透率(%)	
	津绿4号	津研4号	津绿4号	津研4号
CK	8.50±0.55 c	9.88±2.07 c	19.13±2.73 c	15.84±2.49 c
Si	7.10±1.63 c	8.84±0.39 c	19.47±2.27 c	17.03±1.13 c
NaCl	21.00±0.71 a	21.63±2.19 a	55.20±3.21 a	43.89±2.54 a
Si + NaCl	15.71±0.98 b	17.06±0.51 b	31.07±2.53 b	38.16±1.13 b

2.3 硅对盐胁迫下黄瓜幼苗叶片SOD, POD, PPO和IAA氧化酶活性的影响

SOD催化O<sub>2</sub><sup>-</sup>歧化反应生成O<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,其活性被认为是抗逆境的重要指标<sup>[8]</sup>。图1—A表明,在盐胁迫条件下,SOD活性显著降低,耐盐性较强品种(津研4号)SOD活性下降幅度小于耐盐性较弱品种(津绿4号);加硅显著提高盐胁迫下2个黄

瓜品种叶片SOD活性。  
POD是植物体内普遍存在的活性蛋白酶,能催化H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>形成H<sub>2</sub>O,同时,能够氧化分解IAA,调节植物体内IAA的含量。由图1—B可以看出,在盐胁迫条件下,耐盐性不同的2个品种叶片的POD活性显著升高,加硅处理POD活性显著高于不加硅处理;不加NaCl时,加硅可显著降低津绿4号黄瓜叶

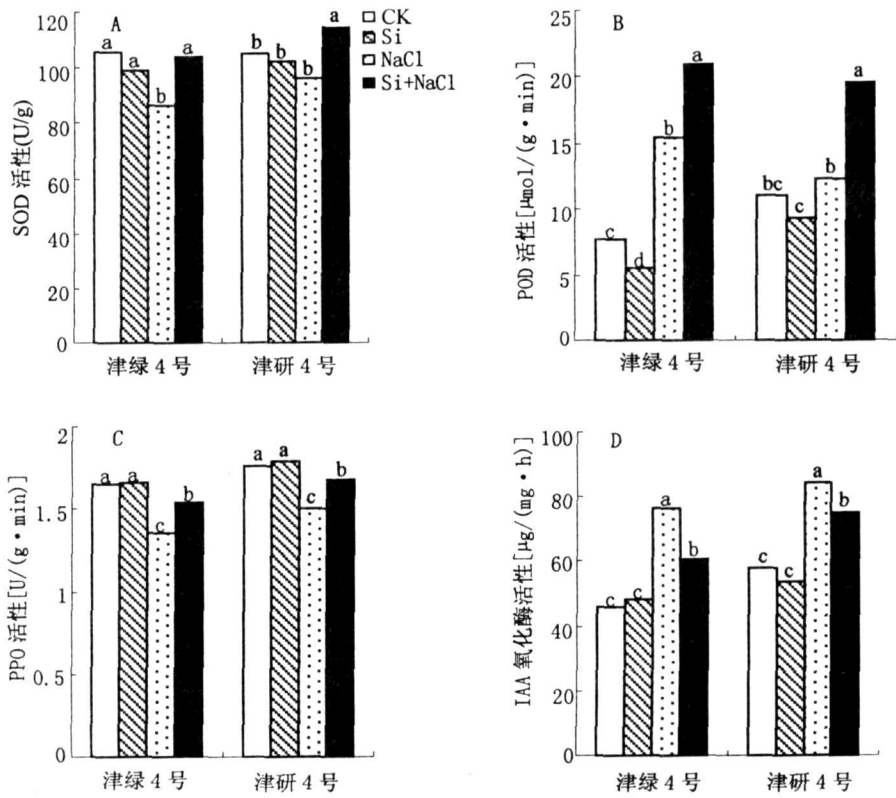


图1 硅对盐胁迫下黄瓜幼苗叶片SOD(A), POD(B), PPO(C)和IAA氧化酶(D)活性的影响

片 POD 活性,但对津研 4 号黄瓜叶片影响不显著。

PPO 是酚类物质氧化的主要酶,在植物体内能够把酚类物质氧化成醌类,在植物组织褐变和抗病性方面研究较多。由图 1—C 可以看出,在盐胁迫条件下,2 个黄瓜品种叶片 PPO 活性显著低于 CK,加硅处理酶活性显著高于不加硅处理。

IAA 氧化酶是调节植物体内 IAA 水平的另一重要酶,它氧化分解 IAA 而使其失活,其活力的大小,对调节植物体内 IAA 的水平起着重要的作用。从图 1—D 可以看出,在盐胁迫条件下,2 个黄瓜品种叶片 IAA 氧化酶活性显著增加,加硅处理酶活性显著低于不加硅处理。

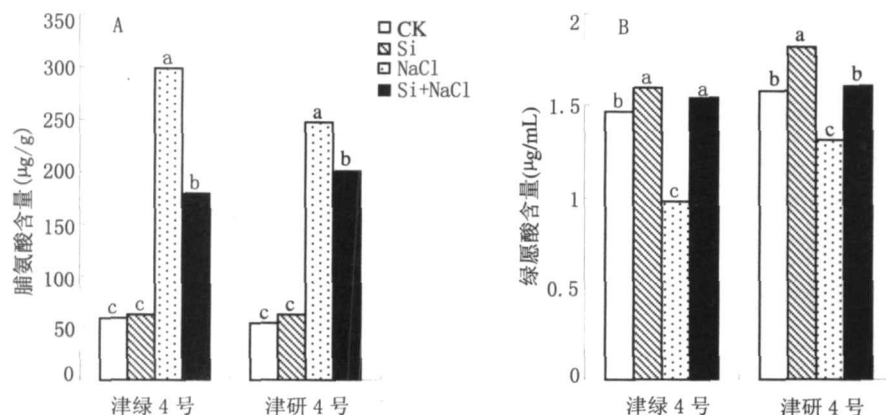


图 2 硅对盐胁迫下黄瓜幼苗叶片脯氨酸(A)和绿原酸(B)含量的影响

### 3 讨论

试验表明,盐胁迫下加硅处理能显著提高黄瓜的生长量,津绿 4 号和津研 4 号植株干重分别比不加硅处理(NaCl)明显增加。束良佐和刘英惠认为,在盐胁迫下加硅处理改善了植株体内的水分状况,因此可以缓解由于盐胁迫而使植株产生的生理干旱<sup>[16]</sup>。有研究认为,硅减轻盐胁迫大麦生理缺水功效还可能与硅显著提高了植物体内  $K^+$  浓度有关<sup>[5]</sup>,因为  $K^+$  在植物渗透调节中有特别重要的功能,在叶片气孔关闭过程中需要  $K^+$ <sup>[17]</sup>。

盐胁迫下,植物体内活性氧产生增加,细胞内积累的活性氧直接影响膜脂和膜蛋白的结构,膜结构的改变会直接影响膜的透性及对离子的选择性<sup>[18]</sup>。植物细胞内存在清除活性氧的保护系统, SOD, POD, PPO 是保护系统中的重要酶类<sup>[12, 19]</sup>。本研究表明,耐盐性不同的黄瓜品种在盐胁迫条件下,硅处理可明显提高黄瓜叶片 SOD, POD, PPO 的活性。硅能减轻盐胁迫引起的膜脂过氧化对膜的伤害,表现在硅处理后,无论是耐盐性强的还是耐盐性较差黄瓜品种的 MDA 含量均显著低于只有盐处理的叶

### 2.4 硅对盐胁迫下黄瓜幼苗叶片脯氨酸和绿原酸含量的影响

由图 2—A 可以看出,在盐胁迫条件下,2 个黄瓜品种叶片脯氨酸含量显著增加,加硅显著降低黄瓜叶片的脯氨酸含量;加硅不加 NaCl 处理与 CK 的脯氨酸含量无显著差异;耐盐性较弱品种津绿 4 号脯氨酸含量明显高于耐盐性较强品种津研 4 号。NaCl 处理降低 2 个黄瓜品种叶片绿原酸含量,加硅处理绿原酸含量显著高于不加硅处理;2 个黄瓜品种加硅不加 NaCl 处理植株叶片中绿原酸含量显著高于 CK(图 2—B)。

片,加硅处理显著降低叶片电解质渗透率。加硅可显著减轻盐胁迫对黄瓜叶片的伤害,提高黄瓜抵御盐害的能力。

盐胁迫下,黄瓜叶片中酚类物质——绿原酸含量提高。有研究认为,生长的差异是由于酚类化合物通过促进或抑制 IAA 氧化从而改变植物组织中 IAA 的浓度所致。有些一元酚可以作为辅助因子,对 IAA 氧化酶和 POD 有活化作用,加速 IAA 的氧化,而绿原酸是邻二元酚,对 IAA 侧链的氧化有强抑制,起到保护 IAA 的作用。本研究表明,盐胁迫下,加硅处理绿原酸含量显著高于不加硅处理,加硅处理显著降低 IAA 氧化酶活性。本试验 2 个品种在每个胁迫浓度下绿原酸的增加幅度均为耐盐品种大于不耐盐品种,可能是绿原酸含量的差异,对 IAA 氧化产生不同的抑制效果,造成了品种间 IAA 水平的差异,从而导致 NaCl 胁迫下黄瓜不同耐盐品种间苗期生长的差异。

脯氨酸是植物体内主要的渗透调节物质,盐胁迫下,植物细胞通过调节游离的脯氨酸含量来保持渗透势的平衡<sup>[20]</sup>。一般认为,积累的脯氨酸作为渗透物质、氮源、酶和细胞结构的保护剂以及活性氧清

除剂等起作用<sup>[21]</sup>。但至今对盐胁迫下脯氨酸积累的生理意义仍存在较大分歧。本研究结果表明,盐胁迫下黄瓜叶片脯氨酸积累,耐盐性较弱品种(津绿4号)的积累幅度大于较耐盐品种(津研4号);硅处理提高黄瓜的耐盐性,但硅处理却降低盐胁迫下黄瓜叶片脯氨酸的积累量。说明脯氨酸的积累可能只是黄瓜在盐胁迫下受伤害的结果,硅缓解了盐胁迫对黄瓜的伤害可能与硅降低脯氨酸的积累有关。

参考文献:

[ 1 ] 陈阳,王贺,张福锁,等.硅盐互作下小獐毛植物体内元素分布及生理特性的研究[ J ].植物生态学报,2003,27(2):189—195.

[ 2 ] Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology [ J ]. Proc Natl Acad Sci USA, 1994, 91(1): 11—17.

[ 3 ] Epstein E. Silicon [ J ]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1999, 50: 641—664.

[ 4 ] 赵风兰,文春波,侯怀恩,等.硅钾肥在番茄上的应用效果[ J ].河南农业科学,2007(8):95—97.

[ 5 ] 梁永超,丁瑞兴.硅对大麦根系中离子的微域分布的影响及其与大麦耐盐性的关系[ J ].中国科学(C 辑),2002,32(2):113—121.

[ 6 ] Ahmad R, Zaheer S H, Ismail S. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) [ J ]. Plant Sci, 1992, 85: 43—50.

[ 7 ] Matoh T, Kairusmee P, Takahashi E. Salt-induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate [ J ]. Soil Sci Plant Nutr, 1986, 32: 295—304.

[ 8 ] Liang Y C, Shen Q R, Shen Z G, *et al.* Effects of silicon on salinity tolerance of two barely cultivars[ J ]. J Plant Nutr, 1996, 19: 173—183.

[ 9 ] Liang Y C. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barely under salt stress[ J ]. Plant and Soil, 1999, 29: 217—224.

[ 10 ] Liang Y C, Chen Q, Liu Q, *et al.* Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley

(*Hordeum vulgare* L.) [ J ]. J Plant Physiol, 2003, 29: 217—224.

[ 11 ] Lutts S, Kinet J M, Bouharmont J. NaCl induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance [ J ]. Ann Bot, 1996 (78): 389—398.

[ 12 ] Cakmak I, Marschner H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activity of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves [ J ]. Plant physiol, 1992, 98: 1222—1227.

[ 13 ] Omran R G. Peroxide levels and the activities of catalase, peroxidase and indoleacetic acid oxidase during and after chilling cucumber seedlings [ J ]. Plant Physiol, 1980, 65(2): 407—408.

[ 14 ] 张志良.植物生理学实验指导手册[ M ].北京:高等教育出版社,2000.

[ 15 ] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [ J ]. Anal Biochem, 1976, 72: 248—254.

[ 16 ] 束良佐,刘英惠.硅对盐胁迫下玉米幼苗叶片膜脂过氧化和保护系统的影响[ J ].厦门大学学报(自然科学版),2001,40(6):1295—1300.

[ 17 ] 钟平.钾对蔬菜产量和质量的影响[ J ].蔬菜,1996(2):4—5.

[ 18 ] 陈沁,刘友良.谷胱甘肽对盐胁迫大麦叶片活性氧清除系统的保护作用[ J ].作物学报,2000,26(3):365—372.

[ 19 ] 蒋明义,郭绍川.水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用[ J ].植物生理学通讯,1996,32(2):144—150.

[ 20 ] 冯利波,蒋卫杰,元秀萍,等.植物耐盐性机理及其基因控制技术研究进展[ J ].农业工程学报,2005(S2):5—9.

[ 21 ] Bohnert H J, Jensen R G. Strategies for engineering water stress tolerance in plants [ J ]. Trends biotech, 1996, 14: 89—95.

(上接第78页) 0.0015~0.0072 mg/kg 之间,相对标准偏差在3.0%~8.8%之间,能满足当前蔬菜、水果中有机磷残留的检测要求。

参考文献:

[ 1 ] Ganzler K, Szinai I, Salgo A, *et al.* Sample preparation method for extracting biologically active compounds from different matrices by a microwave technique [ J ]. J Chromatogr, 1990, 520: 257—262.

[ 2 ] Pastor A, Vázquez E, Ciscar R, *et al.* Efficiency of the microwave-assisted extraction of hydrocarbons and

pesticides from sediments [ J ]. Analytica Chimica Acta, 1997, 344(3): 241—249.

[ 3 ] 杨云,张卓,李攻科.微波辅助萃取/气相色谱—质谱联用分析蔬菜中的有机磷农药[ J ].色谱,2002,20(5):390—393.

[ 4 ] 李核,李攻科,陈洪伟,等.微波辅助萃取—气相色谱—质谱法测定大气可吸入颗粒物中痕量多环芳烃[ J ].分析化学,2002,30(9):1058—1062.

[ 5 ] 徐杨,朱建华,恽之瑜.微波辐照同时分离烟草中亚硝胺和氮氧化物[ J ].分析化学,2002,30(3):286—288.

[ 6 ] GB/T 5009.20—2003.食品中有机磷类农药多种残留的测定[ S ].北京:中国标准出版社,2003.