

KNO₃、K₂SO₄ 及其混盐胁迫对辣椒幼苗 生理生化特性的影响

姜伟^{1,2} 崔世茂² 张怡婷² 王水霞² 王建国¹ 胡栓红¹

(1. 内蒙古农牧业科学院 蔬菜研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031; 2. 内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要: 为探讨日光温室土壤主要盐分对作物水分吸收、保护酶、渗透调节物质以及质膜透性的影响,以辣椒品种亮剑为研究试材,比较研究了 50、100、150、200 mmol/L 的 KNO₃、K₂SO₄ 及其混盐处理对辣椒幼苗茎叶和根系含水量、叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性、脯氨酸(Pro)和可溶性糖渗透调节物含量以及丙二醛(MDA)和渗透电解率质膜透性的影响。结果表明:随着盐处理浓度的增加,辣椒幼苗茎叶和根系含水量相对于CK呈现出先升后降的趋势,200 mmol/L 处理含水量为最低;叶片SOD活性表现为先降后升的趋势,而POD和CAT呈现出降低-升高-降低的趋势;Pro、可溶性糖、MDA含量以及电解渗透率表现为逐渐升高的趋势。综合各项测定指标,K₂SO₄处理对辣椒幼苗生理生化特性影响程度明显大于混盐和KNO₃。

关键词: 次生盐渍化;辣椒;生理生化特性

中图分类号:S641.3 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2011)05-0164-06

Effects of KNO₃, K₂SO₄ and Their Mixed Salt Stress on the Physiological and Biochemical Characteristics of Pepper Seedling

JIANG Wei^{1,2}, CUI Shi-mao², ZHANG Yi-ting², WANG Shui-xia², WANG Jian-guo¹, HU Shuan-hong¹

(1. Vegetable Institute, Inner Mongolia Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Huhhot 010031, China; 2. Agronomy College, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

Abstract: The effects of KNO₃, K₂SO₄ and their mixed salt stress (0, 50, 100, 150, 200 mmol/L) on the physiological and biochemical characteristics of pepper ("LiangJian" named) seedling were investigated. With the increasing concentration of salt, the results showed: shoot and root water content of pepper seedling increasing firstly and then decreasing, leaf SOD activity content first decreasing and then increasing while the POD and CAT showing a decrease-increase-decrease trend, content of Pro, soluble sugar, MDA and EC value showing increasing tendency. The effecting degree of K₂SO₄ on physiological and biochemical characteristics of pepper seedlings was significantly greater than KNO₃ and mixing salt.

Key words: Secondary salinization; Pepper; Physiological and biochemical characteristics

近年来,设施蔬菜(包括西甜瓜)在我国快速发展,截止到2008年底,我国设施蔬菜总面积发展到334.7万hm²,占全国蔬菜总面积的1/4^[1]。实践证明,设施蔬菜已成为我国部分区域农民稳定增收的支柱产业,因此,农民在其栽培过程中对肥料的投入也大大增加。

由于设施内的特殊环境,加之蔬菜的复种指数高、肥料投入量大且不合理的施肥习惯,导致设施土

壤次生盐渍化的发生,过高的盐分对作物的危害主要表现为离子毒害、渗透胁迫和营养不平衡^[2]。设施土壤次生盐渍化已成为设施蔬菜发展的主要障碍因素之一。

辣椒是我国人们喜食的蔬菜之一,随着设施农业的逐渐推进,我国辣椒种植面积迅速扩大。目前,我国辣椒种植面积居蔬菜作物第二位,但产值和效益位居蔬菜作物之首,因此辣椒对提高我国人民的

收稿日期:2011-03-03

基金项目:内蒙古农牧业科技创新基金项目(CXJJ-2130100);内蒙古自治区设施园艺产业科技服务体系“内蒙古农业大学重点实验室”资助

作者简介:姜伟(1974-),女,内蒙古乌兰察布人,副研究员,博士,主要从事设施蔬菜栽培生理及设施土壤修复研究。

通讯作者:崔世茂(1961-),男,内蒙古包头人,教授,博士生导师,主要从事设施园艺与抗逆生理研究。

生活水平、解决三农问题做出了重要贡献。

有关设施土壤盐分对作物的影响报道较多,但更多的研究主要集中在 NaCl 上^[3-5]。据研究引起我国北方设施土壤次生盐渍化的阳离子主要是 Ca^{2+} , 阴离子主要是 NO_3^- 和 SO_4^{2-} ^[6-8]。本试验以辣椒为试材,以引起日光温室土壤阴离子积累的肥料主要成分 KNO_3 、 K_2SO_4 对辣椒幼苗进行模拟胁迫,研究其对辣椒幼苗水分状况、保护酶、渗透调节物质以及质膜透性的影响,以期探讨次生盐渍化设施土壤对辣椒幼苗的生理生化特性的影响,以及辣椒在盐渍化设施土壤里适应机制及其差异性,为日光温室辣椒科学施肥、合理栽培管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试材料是在内蒙古自治区赤峰市日光温室大面积种植、由赤峰市农牧业科学院蔬菜研究所选育而成的辣椒品种亮剑。该品种生长势强,连续结果能力强,果长 22~30 cm,果肩宽 4.5~5.5 cm,果肉厚 0.40~0.45 cm,单果重 100~150 g,牛角形,果黄绿色,光滑,微辣,适口性好,商品率高,耐贮运,抗病毒病。保护地栽培产量 8 000 kg/667m² 以上。

1.2 方法

1.2.1 试材培育 试验在内蒙古农牧业科学院蔬菜研究所温室内进行。将辣椒种子浸种催芽后于 2009 年 9 月 14 日播于 10 cm × 10 cm 的营养钵中,以蛭石和珍珠岩(3:1)作基质,真叶展开后每 3 d 用 1/4 日本园试营养液浇灌 1 次。

1.2.2 试验处理 待幼苗 6~7 片真叶时选择植株长势整齐一致的辣椒幼苗,进行 KNO_3 、 K_2SO_4 及其摩尔浓度 1:1 混盐胁迫处理,浓度梯度分别为 50, 100, 150, 200 mmol/L 的胁迫液,每个处理为 5 株,3 次重复,以仅浇营养液的植株为对照(CK)。

1.2.3 测定与分析方法 盐处理 14 d 后,选取植株心叶下第 3~4 片叶,每个处理测定 5 株,3 次重复。

超氧化物歧化酶(SOD)活性测定用氮蓝四唑(NBT)法^[9],过氧化物酶(POD)活性测定用愈创木酚法^[9],过氧化氢酶(CAT)活性测定用比色法^[9],丙二醛(MDA)含量测定用硫代巴比妥酸(TBA)法^[9],游离脯氨酸(Pro)含量用酸性茚三酮法^[10],可溶性糖含量测定用蒽酮比色法^[11]。

电解质渗透率(EC)的测定,取各处理辣椒幼苗真叶,称取叶片 0.5 g,剪至 1 mm 细丝放入试管中,加入 30 mL H_2O ,抽成真空,待稳定后用 TM-03 笔形电导率仪测定初电导值(E_1),测毕,封口沸水浴 10

min,杀死植物组织,冷却至室温,平衡 10 min,摇匀测定终电导值(E_2)。电解质渗透率(%) = (处理电导率/煮沸电导率) × 100%,即 $EC(\%) = E_1/E_2 \times 100\%$ 。

水分含量测定,将对照和不同处理辣椒幼苗连根整株取出,用水洗净后蒸馏水漂洗,吸水纸吸干水分后,将植株地上部、地下部分别称质量后放入烘箱,以 105℃ 杀青 15 min,70℃ 烘干至恒重,分别测定地上部和根部干质量。含水量 = [(鲜质量 - 干质量) / 鲜质量] × 100%。

数据用 DPS3.01 软件和 Microsoft Office Excel 进行分析,并对平均数用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果和分析

2.1 KNO_3 、 K_2SO_4 及其混盐胁迫对辣椒幼苗含水量的影响

从图 1 可以看出,辣椒幼苗地上部和地下部含水量随盐胁迫浓度的增加,呈现出先增加后降低的趋势,基本上是低浓度处理时地上部和地下部含水量高于 CK,茎叶含水量在处理浓度为 50 mmol/L 或 100 mmol/L 达到最高值,根系含水量在处理浓度为 100 mmol/L 时达到最大值;高浓度盐处理时辣椒幼苗茎叶和根系含水量明显低于 CK,浓度为 200 mmol/L 含水量达最低。表明高浓度盐处理,植株根系吸水和水分在体内运输受阻,从而影响植株的正常生长发育。

2.2 KNO_3 、 K_2SO_4 及其混盐胁迫对辣椒幼苗质膜透性影响

从表 1 可以看出, KNO_3 盐处理,辣椒幼苗叶片中 MDA 的含量比 CK 显著增加,不同处理浓度之间 MDA 含量没有显著差异; K_2SO_4 盐处理,50 mmol/L 处理叶片中 MDA 含量与 CK 没有显著差异,而 100, 150, 200 mmol/L 盐处理比 CK 幼苗叶片的 MDA 含量显著增加;混盐处理,叶片中 MDA 含量比 CK 显著增加,且不同处理间含量达差异显著性。

同时,由表 1 可知,随着 KNO_3 、 K_2SO_4 及其混盐处理浓度的增加,电解渗透率(EC)也在逐渐增加。50 mmol/L KNO_3 和混盐处理,EC 变化与 CK 相比没有显著差异,而 K_2SO_4 处理 EC 显著高于 CK 处理,表明 50 mmol/L K_2SO_4 处理辣椒幼苗质膜透性已经受到影响。两种单盐及其混盐,从 100 mmol/L 浓度开始,EC 变化差异不显著。表明辣椒幼苗通过渗透调节和抗氧化酶保护也无法挽救盐害对质膜的损害。

从整体上看,盐胁迫对辣椒幼苗叶片的MDA和EC的影响以K₂SO₄最大、KNO₃和混盐其次。

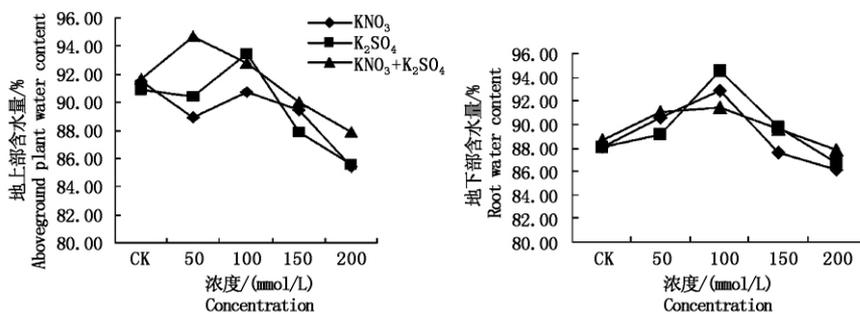


图1 KNO₃、K₂SO₄及其混盐不同浓度处理辣椒幼苗地上部、地下部含水量比较

Fig.1 Comparison of water content in pepper seedling aboveground plant and root among different salt concentration treatment of KNO₃, K₂SO₄ and KNO₃ + K₂SO₄

表1 KNO₃、K₂SO₄及其混盐不同浓度处理辣椒幼苗叶片MDA和电导率(EC)的变化

Tab.1 Comparison of MDA and Electronic Leakage in pepper seedling leaves among different salt concentration treatment of KNO₃, K₂SO₄ and KNO₃ + K₂SO₄

处理 Treatment	浓度/(mmol/L) Concentration	MDA/(nmol/g) MDA	EC/%
KNO ₃	CK	50.43 ± 4.32b	17.90 ± 0.012b
	50	69.25 ± 10.31a	29.68 ± 0.007b
	100	69.25 ± 5.08a	57.34 ± 0.060a
	150	70.75 ± 9.23a	69.92 ± 0.096a
	200	68.82 ± 13.78a	73.12 ± 0.068a
K ₂ SO ₄	CK	50.98 ± 1.91c	16.52 ± 0.004c
	50	52.69 ± 0.57c	53.89 ± 0.059b
	100	67.31 ± 4.37b	80.58 ± 0.037a
	150	77.42 ± 3.78a	88.40 ± 0.018a
	200	75.27 ± 2.42ab	87.12 ± 0.007a
KNO ₃ + K ₂ SO ₄	CK	49.03 ± 1.34d	21.37 ± 0.037c
	50	60.43 ± 1.41b	29.83 ± 0.027c
	100	55.91 ± 1.31c	81.36 ± 0.029b
	150	70.32 ± 0.08a	78.00 ± 0.031b
	200	60.65 ± 2.07b	90.31 ± 0.003a

注:表内小写字母表示在0.05水平。

Note: The small letter means at 0.05 level in the table.

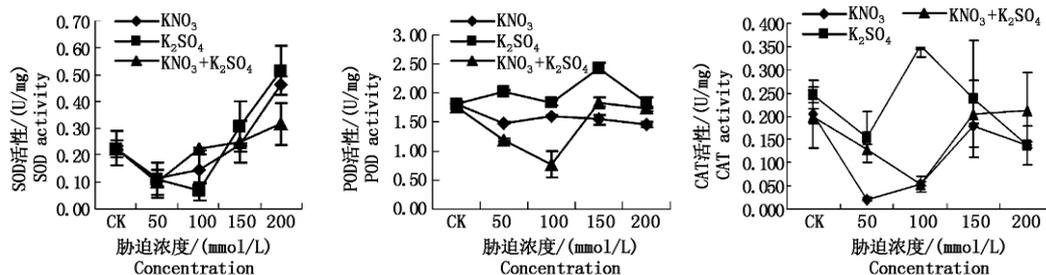


图2 KNO₃、K₂SO₄及其混盐不同浓度处理辣椒幼苗叶片保护性酶活性含量比较

Fig.2 Comparison of the activities of SOD, POD and CAT content in pepper seedling leaves among different salt concentration treatment of KNO₃, K₂SO₄ and KNO₃ + K₂SO₄

2.3 KNO₃、K₂SO₄及其混盐胁迫对辣椒幼苗叶片保护酶活性影响

图2为KNO₃、K₂SO₄单盐及其混盐不同浓度对辣椒幼苗叶片SOD、POD和CAT的影响。随着胁迫浓度的增加,SOD活性呈现出先降后升的趋势,即

低浓度50 mmol/L或100 mmol/L处理比CK的SOD活性含量降低,而高浓度150 mmol/L和200 mmol/L比CK活性含量明显升高。200 mmol/L处理SOD酶活性达最高,KNO₃、K₂SO₄及其混盐处理SOD含量分别比CK增加109.1%、131.8%、

45.5%。整体上 K_2SO_4 叶片中 SOD 的变化幅度最大,其次是 KNO_3 ,混盐最小。

叶片中 POD 的含量随着胁迫浓度的增加,呈现出降低-升高-降低的趋势, K_2SO_4 胁迫叶片 POD 活性含量始终高于 KNO_3 和混盐, KNO_3 胁迫 POD 含量变化幅度不大,混盐胁迫变化幅度最大,且浓度在 100 mmol/L 时 POD 含量达到最小值。

叶片中 CAT 的含量随着胁迫浓度的增加,也呈现出降低-升高-降低的趋势, K_2SO_4 胁迫叶片 CAT 含量最高,其次是混盐, KNO_3 最低。

表 2 KNO_3 、 K_2SO_4 及其混盐不同浓度处理辣椒幼苗叶片渗透调节物含量比较

Tab. 2 Comparison of Proline and Soluble sugar content in pepper seedling leaves among different salt concentration treatment of KNO_3 , K_2SO_4 and $\text{KNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4$

处理 Treatment	浓度/(mmol/L) Concentration	脯氨酸含量/($\mu\text{g/g}$) Proline content	可溶性糖/% Soluble sugar
KNO_3	CK	180.48 \pm 1.41d	2.62 \pm 0.45c
	50	860.00 \pm 9.27cd	3.17 \pm 0.15bc
	100	1 119.05 \pm 6.04c	3.75 \pm 0.22ab
	150	2 438.11 \pm 22.82b	3.37 \pm 0.16ab
	200	2 919.53 \pm 6.34a	3.89 \pm 0.10a
K_2SO_4	CK	249.52 \pm 1.24c	2.44 \pm 0.41c
	50	716.67 \pm 1.17c	3.04 \pm 0.21bc
	100	3 127.14 \pm 6.32b	3.42 \pm 0.09abc
	150	3 169.52 \pm 4.71b	3.84 \pm 0.32ab
	200	4 264.29 \pm 19.19a	4.21 \pm 0.52a
$\text{KNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4$	CK	164.76 \pm 0.23b	2.53 \pm 0.11b
	50	680.00 \pm 5.65b	3.03 \pm 0.05ab
	100	1 850.95 \pm 15.97a	3.07 \pm 0.19ab
	150	2 691.90 \pm 13.90a	3.39 \pm 0.05a
	200	2 837.62 \pm 7.99a	3.34 \pm 0.11ab

注:表内小写字母表示在 0.05 水平。

Note: The small letter means at 0.05 level in the table.

表 2 反映出,幼苗叶片中可溶性糖含量随着 KNO_3 、 K_2SO_4 及其混盐处理浓度的增加而逐渐增加。50 mmol/L 盐处理时,叶片中可溶性糖含量与 CK 没有显著差异,而 150 mmol/L 和 200 mmol/L 处理叶片中可溶性糖含量与 CK 相比差异达显著性。

整体上看, K_2SO_4 盐处理对辣椒幼苗叶片可溶性糖含量和脯氨酸含量影响最大,其次是 KNO_3 和混盐。

3 讨论和结论

盐分对植物生长的抑制机理是一个非常复杂的问题。一般而言,盐胁迫引起植株生长受抑是一系列生理反应综合作用的结果,其中包括水分状况、光合效率、气孔运动、离子平衡以及碳分配和利用等的改变^[12]。而对盐胁迫的耐盐性提高其中包括渗透调节和抗氧化酶系统的保护。

综上所述, KNO_3 、 K_2SO_4 及其混盐对辣椒幼苗叶片保护酶活性影响趋势基本一致,影响大小顺序依次是 $\text{K}_2\text{SO}_4 >$ 混盐 $>$ KNO_3 。

2.4 KNO_3 、 K_2SO_4 及其混盐胁迫对辣椒幼苗叶片渗透调节物质的影响

从表 2 可以看出,随着盐处理浓度的增加,叶片中脯氨酸(Pro)含量都在逐渐增加,且两种单盐及其混盐 50 mmol/L 处理时叶片中 Pro 含量与 CK 没有显著差异,而 100,150,200 mmol/L 处理 Pro 含量与 CK 相比差异达显著性。

3.1 盐胁迫与植物含水量关系

植物对水分的吸收和利用是一个重要的新陈代谢活动,它与植物的光合作用、蒸腾作用、呼吸作用以及养分运输等紧密相联。早在 1898 年 Schimper 就提出生理干旱这个概念,用来解释盐害的机理,认为盐分胁迫下植物生长受到抑制是由于水分亏缺造成的。植物水分亏缺是由于土壤中含有大量可溶性盐,降低了土壤渗透势,使根系吸水困难甚至根本不能吸水。赵可夫等^[13]认为在盐分胁迫初期,原初的生长降低是由于水分供应受到限制造成的。李圆圆^[14]研究 KCl 胁迫下,碱蓬整株含水量比对照下降,且浓度越大下降越显著,原因是盐胁迫根吸水减少,水分吸收速率小于蒸腾速率,使碱蓬水分代谢严重失衡,最终整株死亡。白文波^[15]研究认为, NaCl 和 NaHCO_3 胁迫下,马蔺生物量和鲜质量下降的原因之一与植株的水分运输状况有关。

根是植物吸收水分的主要部位,本研究低浓度 KNO_3 、 K_2SO_4 及其混盐处理辣椒幼苗根系和茎叶含水量比 CK 升高或与 CK 相比变化不大,说明低浓度盐处理有利于辣椒幼苗根系对水分的吸收和运输,可能是由于低浓度盐处理植株长势旺盛,根系发达,根系吸水速率大于蒸腾速率,从而使根系和叶片含水量增加。而高浓度盐处理辣椒幼苗根系和茎叶含水量比 CK 明显降低,表明高浓度盐使辣椒幼苗吸水受抑,可能是由于高盐胁迫营养液和植株体内渗透势差异的改变和蒸腾速率的减小所致,从而使原有的水分平衡被破坏,根系吸水速率低于蒸腾速率,最终根系和茎叶含水量都在降低。

3.2 盐胁迫与质膜透性关系

电解质渗透率(EC) 是检验细胞质膜透性的重要指标,MDA 是膜脂过氧化产物,二者都能反应细胞膜的受伤害的程度。植物体内抗氧化酶系统可以清除活性氧,SOD、POD、CAT 作为植物体内这个系统的重要组成部分,在清除活性氧方面发挥了重要作用。当植物受到盐胁迫时,SOD 担负对 O_2^- 自由基的清理,POD 是 H_2O_2 的清除的主要酶类之一,通过酶系统的共同作用维持了细胞膜的稳定性和完整性。盐胁迫导致黄瓜根系 MDA 含量和电解质渗漏率增加,生物膜受到伤害^[16]。

本研究盐胁迫辣椒幼苗叶片 MDA 含量和 EC 值显著增加,表明 KNO_3 、 K_2SO_4 及其混盐处理特别是高盐胁迫质膜不同程度都受到伤害,且伤害程度最大是 K_2SO_4 、其次是混盐,最小是 KNO_3 。这与李海云不同施肥水平对黄瓜盐胁迫的研究结果是一致的^[17]。当 KNO_3 、 K_2SO_4 及其混盐 50 mmol/L 处理时,MDA 含量和 EC 值比 CK 处理增加不明显,SOD、POD、CAT 活性含量比 CK 降低,酶系统的保护作用未启动,表明低浓度盐对辣椒幼苗叶片质膜影响不大;当胁迫浓度大于 100 mmol/L 时,MDA 含量和 EC 值显著增加,保护性酶 SOD、POD、CAT 活性明显增加,三者协调一致共同完成活性氧类的清除^[18],以维护盐胁迫对质膜造成的损害。但当 KNO_3 、 K_2SO_4 单盐及其混盐胁迫浓度为 200 mmol/L 时,POD、CAT 活性含量又下降,表明保护性酶已无法维持平衡生物膜的损伤,这与 NaCl 胁迫甘草幼苗叶片保护酶先上升后下降的趋势是一致的^[19]。

3.3 盐胁迫与渗透物调节关系

渗透调节是植物适应盐胁迫的基本特征之一。盐胁迫下细胞内积累一些物质,如脯氨酸、甜菜碱、可溶性蛋白质、可溶性糖等,以调节细胞内的渗透势来维持水分平衡,还可以保护细胞内许多重要代谢

的活动所需酶类活性^[20]。脯氨酸是植物在盐胁迫下的主要渗透调节物质之一,它不仅是生物大分子的保护剂和羟基的清除剂,还是植物从胁迫条件恢复正常过程中迅速、有效的氮源和碳源及还原剂。近年来,脯氨酸是研究较多的有机渗透调节物质之一,它是在渗透胁迫条件下易于积累的一种氨基酸^[21]。可溶性糖是很多非盐生植物的有机渗透调节剂^[22],也是合成别的有机溶质碳架的能量来源^[23]。

本试验结果表明,低浓度的 KNO_3 、 K_2SO_4 及其混盐处理,辣椒幼苗叶片中脯氨酸和可溶性糖渗透调节物含量与 CK 相比没有差异显著性,表明低盐处理尚未因渗透胁迫而造成吸水困难;而高浓度盐处理渗透调节物含量比 CK 显著增加,且随着胁迫浓度增加逐渐增加,表明植物在高盐胁迫下试图通过渗透调节来平衡吸水困难对细胞的危害,但盐分太高自身调节也无济于事。另外,脯氨酸和可溶性糖含量的增加,可能也与高盐胁迫下碳氮代谢产物的转化、分配以及利用等有一定的关系,有待于进一步研究探讨。

总之,盐胁迫下 K_2SO_4 促使渗透调节物质的增加强于 KNO_3 ,表明 K_2SO_4 胁迫对辣椒幼苗的伤害和抑制程度大于 KNO_3 ,这与黄瓜盐胁迫的研究结果是一致的^[24-25]。

参考文献:

- [1] 朱明,周长吉.我国设施农业的新发展[C].农机化科教会议,2009.
- [2] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. *Plant Cell Environ* 2002 25(2): 239-250.
- [3] 王清华,杨建平,张中华,等.盐胁迫对不同品种辣椒种子萌发特性的影响[J].西北农业学报,2007,16(3): 136-140.
- [4] 吴雪霞,朱为民,朱同林,等. NaCl 胁迫对不同品种番茄幼苗生长和叶绿素荧光特性的影响[J].西南农业学报,2007,20(3): 379-382.
- [5] 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,2006,2(3): 455-461.
- [6] 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.
- [7] 于海英,李延轩,周建明.典型设施栽培土壤盐分变化规律及其潜在环境效益研究[J].土壤学报,2006,39(4): 571-576.
- [8] 薛继澄,毕德义,李家金,等.保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策[J].土壤肥料,1994(1): 4-9.

- [9] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002.
- [10] 侯彩霞. 游离脯氨酸的测定 [M] // 中科院上海植物生理所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999.
- [11] 邹琦. 植物生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [12] Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes [J]. *Ann Rev Plant Physiology*, 1980, 31: 149 - 190.
- [13] 赵可夫. 植物抗盐生理 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [14] 李圆圆, 郭建荣, 杨明峰, 等. KCl 和 NaCl 处理对盐生植物碱蓬幼苗生长和水分代谢的影响 [J]. *植物生理与分子生物学学报* 2003, 29(6): 576 - 580.
- [15] 白文波, 李品芳, 李保国. NaCl 和 NaHCO_3 胁迫下马蔺生长与光合特性的反应 [J]. *土壤学报* 45(2): 328 - 335.
- [16] 段九菊, 郭世荣, 康云艳, 等. 盐胁迫对黄瓜幼苗根系生长和多胺代谢的影响 [J]. *应用生态学报* 2008, 19(1): 57 - 64.
- [17] 李海云. 设施土壤阴离子种类对黄瓜生育障碍机理的研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2002.
- [18] 杨国会, 石德成. NaCl 胁迫对甘草叶片相对含水量及保护酶活性的影响 [J]. *河南农业科学*, 2009(12): 104 - 106.
- [19] 刘爱荣, 赵可夫. 盐胁迫下盐芥渗透调节物质的积累及其渗透调节作用 [J]. *植物生理与分子生物学学报* 2005, 31(4): 389 - 395.
- [20] 李玉全, 张海艳, 沈法富. 作物耐盐性的分子生物学研究进展 [J]. *山东科学* 2002, 15(2): 8 - 15.
- [21] West D W. Stress physiology in trees Salinity [J]. *Acta Horticulture*, 1985(175): 321.
- [22] 刘祖棋, 张石城. 植物抗性生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [23] 张海燕, 赵可夫. 盐分和水分胁迫对盐地碱蓬渗透调节效应的研究 [J]. *植物学报*, 1998, 40(1): 56 - 61.
- [24] 杨立飞, 朱月林, 胡春梅, 等. NaCl 胁迫对嫁接黄瓜膜脂过氧化、渗透调节物质含量及光合特性的影响 [J]. *西北植物学报* 2006, 26(6): 1195 - 1200.
- [25] 张淑红, 张恩平, 司龙亭, 等. 盐胁迫对黄瓜幼苗渗透调节物质含量的影响 [J]. *中国蔬菜* 2005(12): 30 - 31.