

# 基质栽培对微咸水灌溉下不同种类蔬菜生长的影响

翟红梅<sup>1,2</sup>,董宝娣<sup>1</sup>,乔匀周<sup>1</sup>,师长海<sup>1</sup>,杨静<sup>1</sup>,  
李东晓<sup>1</sup>,刘月岩<sup>1</sup>,刘孟雨<sup>1</sup>

(1.中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 中国科学院农业水资源重点实验室  
河北省节水农业重点实验室,河北石家庄 050022; 2.石家庄学院化工学院,河北石家庄 050035)

**摘要:**环渤海区淡水资源匮乏,咸水资源丰富,为解决水资源短缺以及微咸水灌溉引起土壤盐渍化问题,研究了在微咸水灌溉条件下,基质栽培对番茄、青椒和茄子生长发育的影响,以土壤栽培为对照,基质为腐熟秸秆、珍珠岩和炉渣按质量比1:1:1混合,深30 cm,整个生育期灌溉3 g·L<sup>-1</sup>微咸水。结果表明:基质栽培条件下番茄和茄子的生长发育受到显著抑制,相对于土壤栽培,株高分别下降44.1%和25.1%,生物量分别下降80.4%和48.9%,产量下降49.2%和27.6%;青椒的株高和生物量下降15.2%和27.0%,但是产量没有显著变化。通过测定基质和土壤的盐分,发现在基质栽培条件下蔬菜受到盐分胁迫,植株耐盐性能降低,细胞膜完整性被破坏,导致番茄、青椒和茄子的光合速率分别下降18.5%、15.3%和14.1%。可见这种基质栽培条件适宜于浅根系作物,不适宜深根系作物,并且基质材料应该选择不含有盐碱土的炉渣。

**关键词:**基质栽培;微咸水;蔬菜;生长

中图分类号: S317; S273.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)04-0011-05

## Effect of substrate culture on the growth of different vegetables under brackish water irrigation

ZHAI Hong-mei<sup>1,2</sup>, DONG Bao-di<sup>1</sup>, QIAO Yun-zhou<sup>1</sup>, SHI Chang-hai<sup>1</sup>, YANG Jing<sup>1</sup>,  
LI Dong-xiao<sup>1</sup>, LIU Yue-yan<sup>1</sup>, LIU Meng-yu<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Agricultural Water Resources, Chinese Academy of Sciences; Hebei Key Laboratory of Agricultural Water-Saving; Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China; 2. College of Chemistry, Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China)

**Abstract:** Bohai Sea region has plenty of brackish water but short of freshwater resources. In attempt to find the solution to solve the problems of freshwater shortages and soil salinization caused by brackish water irrigation, we studied the effect of substrate culture on the growth of tomato, green pepper and eggplant under brackish water irrigation. The substrate used in this study was made of composting straw, perlite, and slag mixed in a mass ratio of 1:1:1. The depth of groove was 30 cm. All vegetables were irrigated with 3 g·L<sup>-1</sup> saline water. The results showed the growth and development of tomato and eggplant was significantly inhibited in substrate culture. Compared with soil cultivation, the plant height of tomato and eggplant were decreased 44.1% and 25.1% respectively, the biomass was decreased 80.4% and 48.9%, respectively, and the yield was decreased 49.2% and 27.6% respectively in substrate culture. Green pepper height and biomass were decreased 15.2% and 27.0%, but the yield was not affected significantly. The salinity of matrix and soil was measured. We found vegetables were subjected to salt stress in the substrate culture conditions, which led to a lower salt tolerance, lower membrane integrity and lower photosynthesis rate. In conclusion, this substrate culture was not suitable for deep root crops, but might be suitable for shallow root crops. The slag containing saline-alkali soil should not be used as matrix.

**Keywords:** substrate culture; brackish water; vegetable; growth

收稿日期: 2012-05-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BADA3B-03-08, 2011BAD06B-02-3); 石家庄市科学技术研究与发展计划课题(11149482)

作者简介: 翟红梅(1979—), 女, 河北南宫人, 博士, 讲师, 主要研究方向为作物节水生理机制。E-mail: hongmei\_zhai@163.com。

通讯作者: 刘孟雨(1961—), 男, 河北深泽人, 博士生导师, 研究员, 主要从事作物高效用水生理生态基础和农业节水调控与技术研究。

E-mail: mengyuliu@sjziam.ac.cn。

水资源短缺已经成为全世界面临的严重问题之一<sup>[1]</sup>,灌溉农业的发展,尤其设施蔬菜的种植需要大量的灌溉用水,这就造成了淡水资源的供需矛盾。同时,在许多国家和地区有大量的微咸水尚未得到开发和利用<sup>[2-4]</sup>,在我国仅黄淮海平原地区浅层咸水区面积就有  $4.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,  $2 \sim 5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  微咸水资源约  $5.4 \times 10^9 \text{ m}^3$ <sup>[5]</sup>。如果能将这部分微咸水资源用于灌溉,则能有效地缓解水资源短缺危机。

微咸水灌溉目前仍存在许多问题,主要是由于含有大量的盐离子而降低农作物的产量,并且盐离子在土壤中累积而破坏土壤环境<sup>[6-7]</sup>,这种后果在得不到雨水淋洗的设施蔬菜种植中更加明显。国内外学者对微咸水利用方式已经进行了大量的研究,滴灌、混灌以及轮灌等模式都可以不同程度地减少盐离子在土壤中的累积<sup>[9-10]</sup>。

无土栽培是世界设施农业中广泛采用的先进技术,基质栽培利用有机、无机或有机无机合理混配的基质栽培作物<sup>[11]</sup>,是无土栽培的主要形式。基质栽培能克服土壤连作障碍,并且能够消除咸水灌溉引起的土壤盐渍化问题<sup>[12-13]</sup>。本文通过研究基质栽培下,微咸水灌溉对番茄、青椒和茄子生长发育的影响,旨在为推广微咸水灌溉蔬菜基质栽培技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2010 和 2012 年 3 月到 8 月在中国科学院南皮生态试验站日光温室内进行。该站地处北纬  $38^{\circ}06'$ ,东经  $116^{\circ}40'$ ,属于环渤海缺水盐渍化类型区,土壤多为脱盐潮土。年降水量  $400 \sim 500 \text{ mm}$ ,年平均气温  $13.4^{\circ}\text{C}$ 。

### 1.2 试验材料

供试基质为腐熟秸秆、珍珠岩和炉渣,其主要营养成分见表 1。供试番茄品种为“白果强丰”,青椒品种为“中椒 2 号”,茄子品种为“圆杂 2”。

表 1 基质物料养分含量

Table 1 The nutrient contents of different substrates

基质 Substrate	有机质/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Organic matter	全氮/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total N	全磷/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total P
秸秆 Straw	160.6	11.0	1.6
珍珠岩 Perlite	4.7	1.0	0
炉渣 Slag	20.7	3.0	0.3

### 1.3 试验方法

基质配方为质量比 1:1:1,充分混匀后,放入事

先挖好的深沟槽内。每个沟槽深 30 cm,长 5.5 m,宽 40 cm,槽内铺上较厚的塑料膜以隔开基质与土壤,使得灌溉咸水不能接触到土壤,并且阻止作物根系穿透塑料膜,在每沟的一端留有出水口,使得多余的咸水能够渗出,保证基质栽培槽内不发生内涝。槽内加满基质,每沟 157.5 kg。在基质内种植番茄、青椒、茄子 3 种蔬菜,每沟种植两行蔬菜,株距 35 cm,每种蔬菜三沟六行,为 3 个重复,并以土壤种植为对照,管理方式保持一致,在整个生育期灌溉矿化度为  $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的微咸水。

### 1.4 测定项目和方法

基质养分:有机质测定采用重铬酸钾氧化法,全氮采用凯氏定氮法,全磷采用火焰光度法;EC 值:取风干基质和土壤,用电导率仪测定水土比 5:1 浸提液;植物生长指标:在每种蔬菜的盛果期测量株高,茎粗和叶面积;植株生物量:在收获时,每小区取 3 株植物根、茎和叶,放入烘箱至恒重,称取重量;产量统计:每次采摘计算果实数及果重;光合特性:于上午 9:00—11:00 选取植株从顶上数第 4~5 片功能叶,用 CB-1102 便携式光合蒸腾仪测定;叶片盐离子:样品烘干后研磨,沸水浸提后,用 WHY-402 型原子吸收分光光度计测定离子含量;MDA:采用硫代巴比妥酸法测定;电解质渗透率:参照 Renault et al<sup>[14]</sup>测定。

其中光合特性、叶片盐离子、MDA 和电解质渗透率为 2012 年试验数据,其他为两年平均数据。

### 1.5 数据分析

数据用 Excel 2003 进行整理,用 SPSS 软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 基质栽培对蔬菜生长发育的影响

由表 2 可知,这种基质栽培方式不同程度抑制了 3 种蔬菜的生长,其中番茄的各项生长指标下降幅度最大,株高、茎粗和叶面积分别下降了 44.1%、48.0% 和 55.6%;青椒下降最少,下降幅度分别 15.2%、5.7% 和 18.1%。就 3 种指标而言,被抑制程度在 3 种蔬菜中表现各异,可能源于不同种类蔬菜其同化物的分配机制有所不同。

### 2.2 基质栽培对蔬菜生物量和产量的影响

基质栽培抑制了蔬菜的生长指标,必然会对生物量的积累带来负面影响,由图 1 可以看出,基质栽培条件下 3 种蔬菜的生物量明显下降,番茄、青椒和茄子分别下降 80.4%、27.0% 和 48.9%。

表 2 基质栽培对不同种类蔬菜生长的影响

Table 2 The effect of substrates on the growth of different vegetables

蔬菜种类 Vegetables	株高 Height/cm		茎粗 Stem diameter/mm		叶面积 Leaf area/cm <sup>2</sup>	
	对照 CK	基质 Substrate	对照 CK	基质 Substrate	对照 CK	基质 Substrate
番茄 Tomato	122.16 a	68.26 b	12.18 a	6.33 b	3600 a	1600 b
青椒 Green pepper	78.12 a	66.23 b	10.26 a	9.67 b	2200 a	1800 b
茄子 Eggplant	87.00 a	65.12 b	9.02 a	6.03 b	1800 a	1300 b

注:每种蔬菜同一指标下两列中不同字母代表在不同处理中有显著差异( $P < 0.05$ )。下同。

Note: Data followed by the different letters two columns under the same index indicate significant difference ( $P < 0.05$ ) between different treatments for each method. The same as following.

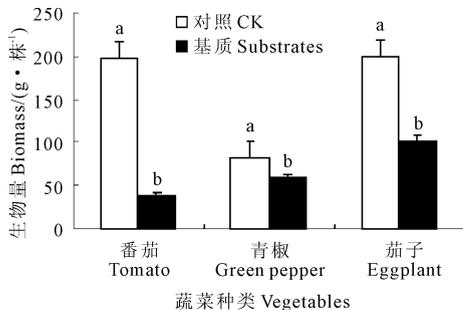


图 1 基质栽培对不同种类蔬菜生物量的影响

Fig.1 The effect of substrates on biomass of different vegetables

注:同一品种蔬菜的不同字母(a,b)代表在不同处理中有显著差异( $P < 0.05$ )。

Note: Different letters of the same vegetables indicate significant difference ( $P < 0.05$ ) between different treatments for each method.

从表 3 结果可以看出,番茄和茄子产量都受到了显著的影响,分别下降 49.2% 和 27.6%,青椒虽然产量有所下降,但不显著。从产量组成因素分析结果来看番茄产量的下降是由于坐果数和单果重均明显下降的原因,茄子产量的下降则主要是降低了单果重,青椒的单果重虽然下降,但每株的果实数则略有上升,所以最后导致产量并没有显著下降。

### 2.3 基质栽培对蔬菜光合特性和蒸腾效率的影响

基质栽培条件下,3 种蔬菜的光合速率和蒸腾速率均显著下降,表 4 中显示番茄、青椒和茄子的光合速率分别下降 18.5%、15.3% 和 14.1%,蒸腾速率分别下降 22.6%、18.1% 和 16.4%。两种栽培条件下蒸腾效率无显著差异。

表 3 基质栽培对不同种类蔬菜产量、果实数和单果重的影响

Table 3 The effect of substrates on yield, number and weight of fruit of different vegetables

蔬菜种类 Vegetables	产量 Yield/(kg·株 <sup>-1</sup> )		果实数 Number of fruit/(个·株 <sup>-1</sup> )		单果重 Weight per fruit/(g·个 <sup>-1</sup> )	
	对照 CK	基质 Substrate	对照 CK	基质 Substrate	对照 CK	基质 Substrate
番茄 Tomato	2.56 a	1.30 b	17.2 a	16.8 a	149.20 a	77.60 b
青椒 Green pepper	0.85 a	0.76 ab	11.0 b	12.0 a	99.20 a	69.17 b
茄子 Eggplant	2.25 a	1.63 b	4.8 ab	5.3 a	460.34 a	309.52 b

### 2.4 基质栽培对蔬菜叶片盐离子含量的影响

表 5 数据显示,相对于土壤栽培,基质栽培条件下 3 种蔬菜叶片的盐离子含量均发生显著变化,番茄、青椒和茄子的 Na<sup>+</sup> 含量分别上升 60.2%、36.0% 和 42.7%,K<sup>+</sup> 含量分别下降 16.0%、11.8% 和 10.2%,K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> 分别下降 47.5%、35.1% 和 37.1%。

### 2.5 基质栽培对蔬菜叶片丙二醛和电解质渗透率的影响

从表 6 可以看出,基质栽培条件下,3 种蔬菜丙二醛含量和电解质渗透率显著提高,番茄、青椒和茄子的丙二醛含量分别上升 44.2%、29.0% 和 33.6%,电解质渗透率分别上升 12.1%、9.9% 和 11.1%。

表 4 基质栽培对不同种类蔬菜光合特性和蒸腾效率的影响

Table 4 The effect of substrates on photosynthetic characteristics and transpiration of different vegetables

蔬菜种类 Vegetables	光合速率/( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) Photosynthesis rate		蒸腾速率/( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) Transpiration rate		蒸腾效率/( $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ ) Transpiration efficiency	
	对照 CK	基质 Substrate	对照 CK	基质 Substrate	对照 CK	基质 Substrate
番茄 Tomato	22.52 a	18.36 b	4.02 a	3.11 b	5.60 ab	5.90 a
青椒 Green pepper	19.52 a	16.52 b	3.69 a	3.01 b	5.29 ab	5.49 a
茄子 Eggplant	12.26 a	10.52 b	3.22 a	2.69 b	3.81 a	3.91 a

表 5 基质栽培对不同种类蔬菜叶片盐离子含量的影响

Table 5 The effect of substrates on leaf salt ion accumulation of different vegetables

蔬菜种类 Vegetables	Na <sup>+</sup> /(mg·g <sup>-1</sup> DW)		K <sup>+</sup> /(mg·g <sup>-1</sup> DW)		K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup>	
	对照 CK	基质 Substrate	对照 CK	基质 Substrate	对照 CK	基质 Substrate
番茄 Tomato	4.88 b	7.82 a	26.82 a	22.52 b	5.50 a	2.89 b
青椒 Green pepper	3.69 b	5.02 a	23.26 a	20.52 b	6.30 a	4.09 b
茄子 Eggplant	4.78 b	6.82 a	25.22 a	22.66 b	5.28 a	3.32 b

表 6 基质栽培对不同种类蔬菜叶片丙二醛和电解质渗透率的影响

Table 6 The effect of substrates on MDA and electrolyte leakage ratio in leaf of different vegetables

蔬菜种类 Vegetables	丙二醛/( $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ) Malondialdehyde		电解质渗透率/% Electrolyte leakage ratio	
	对照 CK	基质 Substrate	对照 CK	基质 Substrate
番茄 Tomato	4.32 b	6.23 a	26.06 b	29.22 a
青椒 Green pepper	3.55 b	4.58 a	23.22 b	25.52 a
茄子 Eggplant	3.96 b	5.29 a	25.66 b	28.52 a

## 2.6 基质电导率

从以上得出结果可以看出,这种基质栽培条件对蔬菜的生长发育有不同程度的抑制作用,而且叶片盐离子含量增加,考虑到可能是由于炉渣中的土壤部分盐分过高的原因,因此分别测定了土壤和基质浸提液的电导率值,试验结果如图 2 所示,从分析结果看出对照土壤虽然与基质灌溉的是同样矿化度的水,但是基质浸提液的电导率值显著高于土壤浸提液。

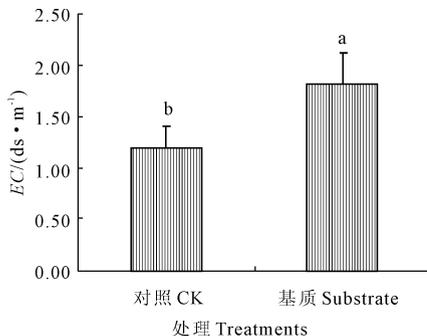


图 2 基质与对照浸提液电导率值(EC)

Fig. 2 The electric conductivity of extract of substrate and control  
注:不同字母(a, b)代表在不同处理中有显著差异( $P < 0.05$ )。

Note: Different letters of the same vegetables indicate significant difference ( $P < 0.05$ ) between different treatments for each method.

## 3 结论与讨论

本试验是在有限体积沟槽内进行种植,类似于植物在一个容器中生长,植株的根系在一个局限的

空间发育生长,所需要的水分和营养元素全部由基质提供,其基质的物理化学特性决定了基质对植株水分和营养的供给状况,并影响着作物的生长发育<sup>[15-16]</sup>。从本文结果可以看出,这种基质栽培条件并不适宜于番茄和茄子的生长,但是对于青椒的抑制作用很小,这主要是由于不同种类的蔬菜根系特点有所不同,番茄和茄子根系发达<sup>[17-18]</sup>,栽培槽没有足够的空间,以至于根系不能充分生长,不能吸收足够的营养成分供植株生长,所以造成生物量和产量的显著下降;而青椒根系不如番茄、茄子等发达,属浅根性植物<sup>[19]</sup>,因而相对于番茄和茄子而言,生长发育所受抑制程度较低。

从基质盐分分析结果看,在灌水相同的条件下,基质电导率值显著高于土壤的电导率值,原因可能是当地的炉渣中混合了大量的盐碱土,直接导致在基质栽培条件下,植物处在盐胁迫的逆境中,并且微咸水灌溉后土壤能够使得盐离子下渗,而基质栽培盐离子只能积聚在根系层。许多研究表明,盐胁迫会给植物带来多方面的伤害,容易引起作物根区土壤溶液渗透势下降,从而引起作物吸水困难,发生水分胁迫,严重时会使细胞失水收缩,造成“生理干旱”而最终导致死亡<sup>[20]</sup>;盐胁迫条件下光合作用下降,导致生物量降低<sup>[21]</sup>。K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>常被用于衡量植物的耐盐性能<sup>[22]</sup>,K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>越高,耐盐性能越强<sup>[23]</sup>,可以看出,基质栽培条件下叶片耐盐性能降低。丙二醛是细胞膜的脂质氧化物,含量高低可以指示细胞膜受胁迫的程度<sup>[24]</sup>,电解质渗透率代表细胞膜的完整性<sup>[25-26]</sup>,从试验结果可以看出,微咸水灌溉下基质栽培破坏了植株细胞膜的完整性。

综上所述,试验中所用基质以及培养方法仅适用于浅根系作物,抑制深根系作物的生长,在以后的研究中应该考虑作物根部生长空间。在选用基质材料方面也需要进一步改进,选择不含盐碱土的炉渣或者其他物质代替本试验中所用炉渣,还应该设法提高基质的排水能力,使得咸水中的盐离子不再积聚在根系周围。

## 参 考 文 献:

- [1] Wan S, Kang Y, Wang D, et al. Effect of drip irrigation with saline water on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) yield and water use in semi-humid area[J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 90: 63-74.
- [2] 毛振强, 宇振荣, 马永良. 微咸水灌溉对土壤盐分及冬小麦和夏玉米产量的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2003, 8(增刊): 20-25.
- [3] 尚 伟, 石建初, 牛灵安, 等. 灌溉水矿化度及盐分带入围对小麥相对产量影响的统计分析[J]. *灌溉排水学报*, 2009, 28(5): 41-44.
- [4] 逢焕成, 杨劲松, 严惠峻. 微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量影响研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(6): 599-603.
- [5] 王 丹, 康跃虎, 万书勤. 微咸水滴灌条件下不同盐分离子在土壤中的分布特征[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(2): 83-87.
- [6] 万书勤, 康跃虎, 王 丹, 等. 华北半湿润地区微咸水滴灌番茄耗水量和土壤盐分变化[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(10): 29-33.
- [7] 肖振华, 万洪富, 郑莲芬. 灌溉水质对土壤化学特征和作物生长的影响[J]. *土壤学报*, 1997, 34(3): 272-285.
- [8] 吴忠东, 王全九. 微咸水混灌对土壤理化性质及冬小麦产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(6): 69-73.
- [9] 吴忠东, 王全九. 不同微咸水组合灌溉对土壤水盐分布和冬小麦产量影响的田间试验研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(11): 71-76.
- [10] 张永波, 时 红. 冬小麦高产咸水灌溉制度的田间试验研究[J]. *农业工程学报*, 2000, 16(1): 44-48.
- [11] 刘 伟, 余宏军, 蒋卫杰. 我国蔬菜无土栽培基质研究与应用进展[J]. *中国生态农业学报*, 2006, 14(3): 4-7.
- [12] 刘升学, 于贤昌, 刘 伟, 等. 有机基质配方对袋培番茄生长及产量的影响[J]. *西北农业学报*, 2009, 18(3): 184-188.
- [13] 谢小玉, 邹志荣, 江雪飞, 等. 中国蔬菜无土栽培基质研究进展[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(6): 280-283.
- [14] Renault S, Lait C, Zwiazek J, MacKinnon M. Effect of high salinity tailings waters produced from gypsum treatment of oil sands tailings on plants of the boreal forest[J]. *Environmental Pollution*, 1998, 102: 177-184.
- [15] Banzai T, Hershkovits G, Katcoff D J, et al. Identification and characterization of mRNA transcripts differentially expressed in response to high salinity by means of differential display in the mangrove *Bruguiera gymnorhiza*[J]. *Plant Science*, 2002, 162: 499-505.
- [16] 郭世荣. 固体栽培基质研究、开发现状及发展趋势[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(S): 1-4.
- [17] 肖大双, 李童音, 查 倩, 等. 小金海棠、番茄和葡萄缺铁应答反应调控机制的比较研究[J]. *园艺学报*, 2011, 38(11): 2067-2074.
- [18] 刘 敏. 茄子营养需求特点与施肥技术[J]. *现代园艺*, 2008, 7: 19-20.
- [19] 左建英, 邢宝龙. 露地青椒生产大起大落原因的调查与分析[J]. *黑龙江农业科学*, 2011, (10): 77-78.
- [20] West D W, Hoffman G J, Fisher M J. Photosynthesis, leaf conductance and water relations of cowpea under saline conditions[J]. *Irrig Sci J*, 1986, 7: 183-193.
- [21] 高 芸, 程智慧, 孟焕文. NaCl 处理对番茄幼苗光合作用和叶绿素荧光的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(1): 194-199.
- [22] Rengel Z. The role of calcium in salt toxicity[J]. *Plant, Cell & Environment*. 1992, 15: 625-632.
- [23] Bhattarai S P, Pendergast L, Midmore D J. Root aeration improves yield and water use efficiency of tomato in heavy clay and saline soils[J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 108: 278-288.
- [24] Bailly C, Benamar A, Corbineau F, et al. Changes in malondialdehyde content and in superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower seeds as related to deterioration during accelerated aging[J]. *Physiologia Plantarum*. 1996, 97: 104-110.
- [25] 钱琼秋, 宰文珊, 朱祝军, 等. 外源硅对盐胁迫下黄瓜幼苗叶绿体活性氧清除系统的影响[J]. *植物生理与分子生物学*, 2006, 32(1): 107-112.
- [26] 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.