

王 蕾, 吴朝波, 徐微风, 等. 海水胁迫对番杏生长、渗透调节物质和细胞膜透性的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 248–251.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.070

# 海水胁迫对番杏生长、渗透调节物质和细胞膜透性的影响

王 蕾<sup>1,2</sup>, 吴朝波<sup>1,2</sup>, 徐微风<sup>1,2</sup>, 郭建春<sup>2</sup>, 符少萍<sup>2</sup>, 刘 娇<sup>2</sup>, 李瑞梅<sup>2</sup>, 段瑞军<sup>2</sup>

(1. 海南大学, 海南海口 571101; 2. 中国热带农业科学院热带生物技术研究所, 海南海口 571101)

**摘要:**通过盆栽试验,以番杏(*Tetragonia tetragonoides*)为研究材料,设置 8 个海水浓度(0、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%),研究不同浓度海水处理对番杏生长、渗透调节物质、细胞膜的影响。结果表明:番杏能在 0~70% 海水胁迫下完成生活史,且 10%~40% 海水浓度胁迫促进了植物生物量增加;高于 60% 海水浓度处理,番杏株高、鲜质量均较少,生长受到抑制,膜脂过氧化产物(MDA)、细胞膜透性显著增加,此时渗透调节物质的增加有助于减轻海水对植物细胞膜的伤害,增强植物的耐盐性;番杏在低于 50% 海水浓度处理中,可溶性糖含量、脯氨酸含量、MDA 含量均低于对照,表现出极强的盐适应性。由结果可知,番杏对海水胁迫具有较强的适应性和耐受性,可以进一步挖掘其在滨海滩涂地、盐荒地、海水倒灌农田中的利用价值。

**关键词:**番杏;海水胁迫;渗透调节物质;细胞膜;耐盐性

**中图分类号:** S662.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0248-04

土壤盐渍化是我国农业生态环境退化的重要问题之一,我国盐渍化土地面积约占国土面积的 1.03%,达 9.913 万  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>。土壤中的盐分过高导致植物营养缺乏、离子毒害和渗透胁迫<sup>[2]</sup>,盐渍土不仅影响植被正常生长,制约农作物的产量和品质,也极大影响土壤的利用率。研究表明,在盐渍化土壤中种植盐生植物可以增加土壤营养元素、微生物、腐殖质含量,提高土壤酶活性<sup>[3]</sup>,栽培具有经济价值和生态价值的盐生植物是解决盐渍土壤农业发展的一种策略,也是改良与利用盐渍土的有效方法<sup>[4]</sup>。目前,碱蓬、中亚滨藜、盐地碱蓬、北美海蓬子等<sup>[5-7]</sup>已有报道被用于盐渍土改良。

番杏[*Tetragonia tetragonoides* (Pall.) Kuntze],别称澳洲

菠菜、新西兰菠菜、夏菠菜、法国菠菜、洋菠菜等,为 1 年生半蔓性草本植物,属番杏科番杏属,肥厚、多汁,嫩茎叶可供食用,原产新西兰、澳大利亚、东南亚和智利、欧美等地,在中国浙江、福建、海南、广西、广东、台湾均有天然分布,海南省滨海滩涂有零星分布<sup>[8]</sup>。番杏根系发达,可以速生,不择土壤,耐高温和低温,抗旱涝,并且有一定耐盐性<sup>[9-10]</sup>。此外,番杏营养价值极高,富含大量氨基酸、无机盐、类胡萝卜素、还原糖等物质<sup>[11-12]</sup>,具有较高的经济价值,是一种新型绿色蔬菜,食用性多样,在盐渍土的开发利用中前景广阔。当前对番杏的研究多数集中在栽培技术、营养价值及其盐胁迫下的光合响应等方面,关于盐胁迫下其生长及生理响应的研究还是空白。本试验通过用不同海水浓度长期处理番杏,研究不同海水浓度对番杏生长、渗透调节物质含量、细胞膜透性影响,为进一步利用番杏对滨海滩涂地、盐荒地、海水倒灌农田改良和利用提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

番杏种子采自海南省文昌市东郊椰林;海水取自海口市

收稿日期:2016-01-20

基金项目:中央公益性科研院所基本科研业务专项资金(编号:ITBB2015ZD03、1630052015038);海南省重大科技专项(编号:ZDZX2013023-1)。

作者简介:王 蕾(1990—),女,山东烟台人,硕士研究生,主要从事热带植物抗逆研究。E-mail:289702941@qq.com。

通信作者:段瑞军,副研究员,主要从事热带植物抗逆研究。E-mail:lsbjz6@163.com。

[15]贾瑞丰,尹光天,杨锦昌,等. 不同氮素水平对红厚壳幼苗生长及光合特性的影响[J]. 林业科学研究,2012,25(1):23-29.

[16]仇 硕,张 敏,孙延东,等. 植物重金属镉( $\text{Cd}^{2+}$ )吸收、运输、积累及耐性机理研究进展[J]. 西北植物学报,2006,26(12):2615-2622.

[17]廖晓勇,陈同斌,阎秀兰,等. 不同磷肥对砷超富集植物蜈蚣草修复砷污染土壤的影响[J]. 环境科学学报,2008,29(10):2906-2911.

[18]周 爽,白瑞琴,张海勃. 重金属 Cd 及施肥对马铃薯抗氧化酶系统的影响[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(9):88-92.

[19]张晓萍,宗良纲,郑建伟,等. 不同施肥措施对镉污染土壤上菊

花生长及其品质的影响[J]. 农业环境科学学报,2008,27(4):1617-1622.

[20]Bowler C, Montagu M, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1992, 43(1):83-116.

[21]任安芝,高玉葆,刘 爽. 铬、镉、铅胁迫对青菜叶片几种生理生化指标的影响[J]. 应用与环境生物学报,2000,6(2):112-116.

[22]孙小霞. 高羊茅对铅递进胁迫的生理响应[J]. 河南科技大学学报,2006,27(6):75-78.

[23]刘俊祥,孙振元,巨关升,等. 结缕草对重金属镉的生理响应[J]. 生态学报,2011,31(20):6149-6156.

白沙门,盐浓度为 3.0%。

1.2 试验方法

1.2.1 试验材料处理 本试验于中国热带农业科学院热带生物技术研究所以内进行,设置 8 个海水浓度,分别为 0、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%,3 次重复。番杏果皮坚韧,吸水困难,播种前将番杏种子置于 40 ℃温水中浸泡 3 d,然后进行集中育苗。当其长出 4 张真叶后进行移栽,选取生长一致的幼苗种植于塑料盆中,每盆移栽 3 株,浇透水。60 d 后,测定其生物量、渗透调节物质含量、细胞膜透性等。在 06:00—07:00 间土壤温度较低时进行海水处理,每隔 10 d 浇 1 次海水,同时表层土壤 1~2 cm 发白时补浇自来水,其间使土壤含水量达到田间最大含水量的 60%~70%。土壤中沙、土、有机质比为 1:1:1)。

1.2.2 形态指标测定 分别取各海水浓度处理的番杏 3 株,用去离子水冲洗干净,吸干表面水分,将地下部与地上部分开,用直尺测量不同处理下根长、株高,用精度为 1/1 000 电子天平测定番杏鲜质量。

1.2.3 丙二醛(MDA)含量的测定 参照郑炳松等的方法<sup>[13]</sup>测定 MDA 含量,称取叶片 0.5 g,加入 10 mL 10% 三氯乙酸(TCA)和少量石英砂研磨至匀浆,3 000 r/min 下离心 15 min,上清液即为样品液。取 2 mL 提取液,加 2 mL 0.6% 硫代巴比妥酸(TBA)溶液,混匀后于沸水浴反应 15 min,冷却后在 3 000 r/min 下离心 15 min,取上清液测定 532、600、440 nm 波长下的吸光度,各 3 个重复。

1.2.4 细胞膜透性测定 参照刘宁等的方法<sup>[14-15]</sup>测定质膜相对透性,称取 0.1 g 叶片,用去离子水洗净,剪碎加入 10 mL 去离子水,浸泡 6 h,用 DDS-11A 型电导率仪测定去离子水电导率值( $EC_0$ )、溶液的电导率值( $EC_1$ ),之后沸水浴 10 min,冷却后测定电导率( $EC_2$ ),按以下计算:

质膜透性 =  $(EC_1 - EC_0) / (EC_2 - EC_0) \times 100\%$ 。

1.2.5 可溶性糖含量测定 参照郑炳松等的方法<sup>[13]</sup>,称取 0.5 g 新鲜叶片,加入 10 mL 蒸馏水,沸水浴 30 min,提取液过滤到 50 mL 容量瓶中混匀。取 1 mL 样品提取液,加 1.5 mL 蒸馏水、0.5 mL 萘酚乙酸乙酯试剂、5 mL 浓硫酸快速振荡摇匀,立即沸水浴 1 min,冷却至室温,测定 630 nm 波长下的吸光度。以空白作对照,各 3 个重复。

1.2.6 脯氨酸含量的测定 参照郑炳松等的方法<sup>[13]</sup>并稍作改进,称取 0.5 g 新鲜叶片,加入 5 mL 3% 磺基水杨酸溶液研磨至匀浆,在沸水浴中提取 10 min,冷却后取 2 mL 上层液,再加入 2 mL 冰乙酸及 2 mL 2.5% 酸性茚三酮溶液,沸水浴中显色 1 h,冷却后加入 4 mL 甲苯,充分摇晃取红色物质,在 520 nm 波长处测定吸光度。以甲苯溶液为空白对照,各 3 个重复。

1.2.7 数据分析 用 Excel 2003 整理试验数据、绘制图表;用 SPSS 13.0 进行方差分析和多重比较,于  $\alpha = 0.05$  水平进行统计显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同浓度海水处理对番杏生长的影响

为了研究海水浓度处理对番杏生长的影响,笔者测定不同海水浓度处理下番杏的形态指标,有株高、根长、鲜质量、分枝数(表 1)。研究结果表明,0~70% 海水浓度处理对番杏根长影响较小,根长在 40% 海水浓度处理下达到最长;番杏株高有减少的趋势,但在小于 50% 海水浓度处理下,番杏株高未受到影响;番杏鲜质量在小于 40% 海水浓度处理下,鲜质量呈增加趋势,且在 20%~40% 海水浓度处理下株高较对照显著增加,当 40% 海水浓度处理时,其鲜质量较对照显著增加了 61.23%,达 27.68 g,之后随海水浓度浓度增加,鲜质量逐渐减少,在大于 60% 海水浓度处理下,番杏鲜质量较对照显著减少;在 10%~40% 海水浓度处理下,番杏分枝数较对照有所增加,且海水浓度处理对番杏分枝数抑制不明显。

表 1 不同浓度海水处理对番杏生长的影响

海水浓度 (%)	根长 (cm)	株高 (cm)	鲜质量 (g)	分枝数 (个)
0	11.13 ± 2.13a	23.10 ± 0.17a	17.23 ± 0.95c	7.33 ± 0.58bc
10	11.22 ± 2.02a	22.31 ± 3.75ab	18.95 ± 0.98c	9.33 ± 1.52abc
20	10.51 ± 0.51a	19.62 ± 2.63abc	25.35 ± 0.79b	10.00 ± 1.00ab
30	11.24 ± 1.64a	20.44 ± 0.67abc	25.86 ± 1.88ab	10.00 ± 2.00ab
40	12.63 ± 2.63a	21.30 ± 1.20abc	27.78 ± 1.48a	11.00 ± 1.00a
50	12.59 ± 0.89a	18.68 ± 2.98bc	17.96 ± 1.66c	7.33 ± 1.53bc
60	11.45 ± 1.75a	17.66 ± 0.54c	14.14 ± 0.56d	8.33 ± 1.53abc
70	10.21 ± 1.71a	13.62 ± 1.52d	8.31 ± 0.27e	7.00 ± 2.00c

通过分析不同浓度海水处理及各生长指标间的相关性(表 2)可知,除根长外,海水浓度与各生长指标间均呈负相关,且与株高呈极显著负相关( $-0.886^{**}$ );各生长指标之间均为正相关,分枝数与鲜质量呈极显著正相关( $0.877^{**}$ )。海水处理对番杏地上部分的生长总体表现为抑制,而一定浓度海水处理有利于番杏生长,在低于 60% 海水浓度处理下,番杏生长不受抑制。大于 70% 海水浓度处理,番杏株高、生物量受显著抑制;番杏鲜质量增加主要是因为分枝数增加。

2.2 不同浓度海水处理对番杏膜脂过氧化产物的影响

丙二醛是生物膜过氧化的产物,其含量的高低代表番杏

表 2 海水浓度与各生长指标间相关性分析

指标	海水浓度	根长	株高	鲜质量	分枝数
海水浓度	1.000				
根长	0.079	1.000			
株高	-0.886 <sup>**</sup>	0.351	1.000		
鲜质量	-0.472	0.396	0.638	1.000	
分枝数	-0.278	0.232	0.445	0.877 <sup>**</sup>	1.000

注: $r_{0.05} = 0.707$ , $r_{0.01} = 0.834$ 。

受海水处理的伤害程度。番杏叶片在海水处理下 MDA 含量

呈先减少再增加的趋势,且在 10% ~ 50% 海水浓度处理下,其叶片 MDA 含量均低于对照;10% 海水浓度处理下,其 MDA 含量最低,为 27.9 nmol/g,比对照降低了 43.83%;在 60% 海水浓度处理下,番杏叶片中 MDA 含量较对照显著增加了 18.62%;在 70% 海水浓度处理下,叶片中 MDA 含量达 64.16 nmol/g,比对照增加了 29.17% (图 1)。表明一定浓度海水处理能降低番杏膜脂过氧化产物,较高浓度的海水处理能加速番杏膜脂过氧化。

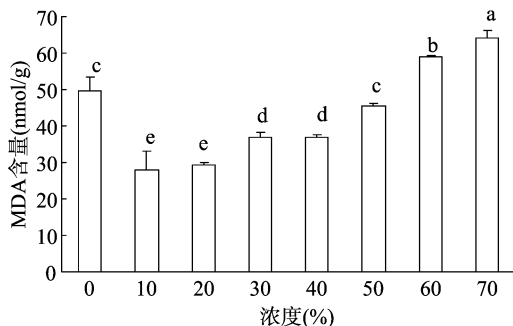


图1 不同浓度海水处理对番杏叶片MDA的影响

### 2.3 不同浓度海水处理对番杏细胞膜透性的影响

细胞膜透性对调节细胞内外物质的交换运输具有调节作用。番杏叶片电导率检测结果见图 2,可见海水处理下,番杏叶片细胞膜透性显著增加,且在 10% ~ 70% 海水浓度处理下,叶片膜透性呈先减少再增加的变化;叶片膜透性在 10% ~ 30% 不同浓度海水处理下减少显著,在 30% ~ 70% 不同浓度海水处理下增加显著;番杏叶片膜透性在 30% 海水浓度处理下,为海水处理下电导率的最低点,为 41.68%。表明海水处理增加了番杏叶片细胞膜透性,且随海水浓度的增加呈先减少后增加的趋势。

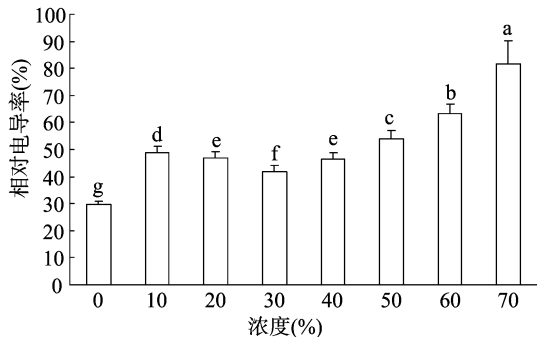


图2 不同浓度海水处理对番杏叶片电导率的影响

### 2.4 不同浓度海水处理对番杏脯氨酸含量的影响

海水处理下番杏叶片脯氨酸含量变化呈先减小再增加的趋势,在 10% ~ 40% 海水浓度处理下,番杏叶片脯氨酸含量显著减少,在海水浓度为 20% ~ 30% 时,番杏脯氨酸含量最低,为 62.70 ~ 62.91 mg/kg;在 50% 海水浓度处理下叶片脯氨酸含量与对照相当;在大于 60% 海水浓度处理时,番杏叶片脯氨酸含量较对照显著增加了 47.40% (图 3)。表明在一定浓度范围内 (10% ~ 50%) 的海水处理,番杏脯氨酸含量减少;较高海水浓度 (>60%) 处理下,脯氨酸的积累增加。

### 2.5 不同浓度海水处理对番杏可溶性糖含量的影响

可溶性糖是植物重要的渗透调节物质,逆境下其含量变

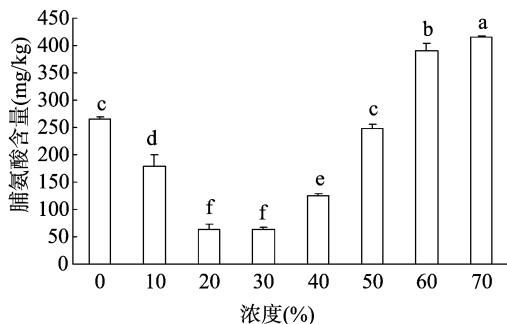


图3 不同浓度海水处理对番杏叶片脯氨酸含量的影响

化有利于增强植物的适应能力。番杏叶片可溶性糖含量在对照中为 91.76 nmol/g;在 10% ~ 50% 海水浓度处理下,番杏叶片可溶性糖含量较对照显著减少;在 20% 海水浓度处理下,叶片可溶性糖含量最低,较对照减少了 47.84%;在 60% 海水浓度处理下,叶片可溶性糖含量与对照相当;在 70% 海水浓度处理下,叶片可溶性糖含量显著增加,较对照增加了 114.29% (图 4)。表明在 10% ~ 50% 海水浓度处理下,抑制了番杏叶片可溶性糖的积累;较高浓度的海水处理,促进叶片可溶性糖含量的积累。

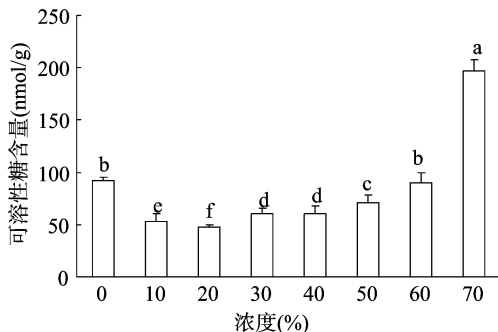


图4 不同浓度海水胁迫对番杏叶片可溶性糖含量的影响

## 3 结论与讨论

植物受到逆境胁迫后,细胞内自由基代谢平衡被破坏,发生膜质过氧化作用,植物膜系统受损伤。MDA 是膜质过氧化产物,MDA 含量的高低可以间接反映植物受逆境胁迫的强弱。海盐胁迫对海雀稗体内 MDA 含量影响的研究表明,海雀稗在低于 13.6 g/L 的海盐胁迫下体内 MDA 含量显著降低,在高浓度胁迫下显著增加<sup>[16]</sup>。本研究中番杏在 <50% 海水胁迫下,MDA 含量低于对照,表明在此浓度范围内,植物对海盐胁迫表现出一定的适应性,膜质过氧化作用减弱;此时番杏叶片电导率较对照显著增加,可能是由于植物吸收了海盐中的大量离子,透过细胞膜,造成植物叶片电导率增加。在 ≥60% 海水胁迫下,MDA 含量显著增加,表明高盐胁迫下,植物叶片细胞膜的稳定性受到破坏,膜结构受到损伤<sup>[17]</sup>,造成植物细胞内的电解质渗漏增强,并随着海盐胁迫浓度的增加而增加。

植物叶片渗透调节物质的变化与 MDA 含量的变化相吻合,在低于 50% 海水胁迫下,植物可溶性糖含量、脯氨酸含量均维持在较低水平,且表现为先减小后增加的趋势变化。表明较低浓度的海盐胁迫,可以使番杏的生长维持在较好的水

平,可能是因为海盐中存在一些能促进植物生长的矿质,充分满足了植物生长对养分的需求,因而在较低浓度下促进了植物生长,使各项生理指标处于较优的状态。高浓度下脯氨酸含量、可溶性糖含量显著增加,说明此时植物可能通过可溶性糖、脯氨酸的积累来增强植物的渗透调节能力<sup>[18-20]</sup>。高盐胁迫下,可溶性糖含量增加也有可能是由于高浓度盐胁迫下植物生长受抑制,导致糖利用减少,可溶性糖含量增加<sup>[21]</sup>。

生物量是植物生长发育所产生的物质总量,可以直接反映植物的生长情况。盐生植物存在最适盐度,在一定盐度范围内对植物具有促进作用,高盐度则抑制植物的生长,如景天三七幼苗在低于 200 mmol/L 氯化钠胁迫下生物量未受到抑制,而 400 mmol/L 处理植株生长受到显著抑制<sup>[22]</sup>,与本研究相吻合。在≤50% 海盐胁迫下,番杏生物量并未显著减少;在大于 60% 海盐胁迫下,植株生物量及株高受到显著抑制。番杏在各个海盐浓度胁迫下生长的表现与其体内 MDA 含量、渗透调节物质相吻合,海盐胁迫下番杏表现出较强的适应性。

当海水浓度≤50% 时,植物的生长未受到抑制,植物叶片膜脂过氧化产物 MDA 含量较低、渗透调节物质的积累处于较低水平;而在≥60% 海水胁迫下,可溶性糖、脯氨酸的大量积累,有助于增强番杏渗透胁迫的适应性,减轻海盐对番杏的毒害作用。番杏药食兼具,可将其在滨海海水倒灌耕地进行开发应用。

#### 参考文献:

- [1] 杨真,王宝山. 中国盐渍土资源现状及改良利用对策[J]. 山东农业科学,2015(4):125-130.
- [2] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance[J]. Annual Review of Plant Biology,2008,59(1):651-681.
- [3] 赵可夫,张万钧,范海,等. 改良和开发利用盐渍化土壤的生物学措施[J]. 土壤通报,2001,32(1):115-119.
- [4] Glenn E P, Brown J J, Blumwald E. Salt tolerance and crop potential of halophytes[J]. Critical Reviews in Plant Sciences,1999,18(2):227-255.
- [5] 杨亚洲,张春华,郑青松,等. 碱蓬和滨藜对镉和钠吸收、转运及亚细胞分布特性的比较研究[J]. 农业环境科学学报,2015(4):619-626.
- [6] 王茜,校亮,唐翔宇,等. 盐碱胁迫和氮素供给对盐地碱蓬种子发芽与幼苗生长的影响[J]. 草业学报,2015(9):216-222.
- [7] 叶妙水,钟克亚,张桂和,等. 盐生经济作物北美海蓬子与盐渍地生态环境改造[J]. 草业科学,2006,23(6):6-14.
- [8] 史韵珊. 药用蔬菜——番杏[J]. 农家参谋,2007(4):17.
- [9] 翁跃进,宋景芝. 抗逆境蔬菜番杏的利用研究[J]. 中国种业,2000(3):39-40.
- [10] 胡慧娟,张尧挺,陈剑榕. 福建闽江口外海岸植物生态[J]. 海洋学报,2001,23(5):110-115.
- [11] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志——中名和拉丁名总索引[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [12] Slupski J, Achrem - Achremowicz J, Lisiewska Z A. Effect of processing on the amino acid content of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides* Pall. Kuntze)[J]. International Journal of Food Science & Technology,2010,45(8):1682-1688.
- [13] 郑炳松,王正加,等. 现代植物生理生化研究技术[M]. 北京:气象出版社,2006.
- [14] 刘宁,高玉葆,贾彩霞. 渗透胁迫下多花黑麦草叶内过氧化物酶活性和脯氨酸含量以及质膜相对透性的变化[J]. 植物生理学通讯,2000,36(1):11-13.
- [15] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 2版. 广州:华南理工大学出版社,2006:64-66.
- [16] 钟小仙,邹轶,许映君,等. 海雀稗对海盐胁迫的生理响应[J]. 江苏农业科学,2011,39(2):457-459.
- [17] 李晓雅,赵翠珠,程小军,等. 盐胁迫对亚麻荠幼苗生理生化指标的影响[J]. 西北农业学报,2015,24(4):76-83.
- [18] 刘爱荣,张远兵,钟泽华,等. 盐胁迫对彩叶草生长和渗透调节物质积累的影响[J]. 草业学报,2013,22(2):211-218.
- [19] 孟衡玲,张薇,卢丙越,等. 金银花幼苗对盐胁迫的生理响应[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):247-249.
- [20] 王鑫,孔祥生. 盐胁迫对流苏树愈伤组织生理生化特性的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(11):54-57.
- [21] Nixon P J, Mullineaux C W. Regulation of photosynthetic electron transport[M]//Aro E M, Andersson B. Regulation of Photosynthesis. Springer Netherlands,2001:533-555.
- [22] 田晓艳,刘延吉,张蕾,等. 盐胁迫对景天三七保护酶系统、MDA、Pro及可溶性糖的影响[J]. 草原与草坪,2009(6):11-14.

(上接第244页)

- 研究,1997,15(4):72-77,92.
- [7] 简曙光,谢振华,敖惠修,等. 广州市屋顶自然生长的植物[J]. 中国野生植物资源,2004,23(6):35-37.
- [8] 李慧明. 广州市屋顶绿化植物的选择及生态效益研究[D]. 广州:华南理工大学,2011.
- [9] 黄柳菁,邢福武,周劲松,等. 广州野生观赏种子植物资源调查与观赏评价[J]. 福建林业科技,2010,37(2):82-89,93.
- [10] 李仕裕. 广州市节约型木本花卉评价与筛选[D]. 北京:中国科学院大学,2014.
- [11] 刘少卿,孙君灵,何守朴,等. 不同棉花种质资源耐热性苗期鉴定[J]. 核农学报,2013,27(7):1029-1040.
- [12] Zhao X D, Zhang J Y, Fan S Y, et al. Research progress of heat - tolerance of *Brassica campestris* ssp. *chinensis* [J]. Agricultural

Science & Technology,2013,14(2):248-253.

- [13] 汤聪,郭微,刘念,等. 几种广州地区屋顶绿化植物耐热性的测定[J]. 北方园艺,2013(11):62-65.
- [14] 李辛雷,李纪元,范妙华,等. 山茶属主要物种耐热性研究[J]. 西北植物学报,2006,26(9):1803-1810.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [16] 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.
- [17] Wahid A, Gelani S, Ashraf M, et al. Heat tolerance in plants: an overview[J]. Environmental and Experimental Botany,2007,61(3):199-223.
- [18] 王涛,田雪瑶,谢寅峰,等. 植物耐热性研究进展[J]. 云南农业大学学报,2013,28(5):719-726.