

NaCl 胁迫对马齿苋离子吸收及荧光特性的影响

丁海荣,王茂文,朱小梅,刘冲,邢锦城,赵宝泉,陈昌乾,洪立洲

(江苏沿海地区农业科学研究所,江苏盐城 224002)

摘要:以马齿苋为材料采用温室盆栽法,研究了 NaCl 胁迫处理对其生长发育、品质积累、离子分布和叶绿素荧光特性的影响。结果表明,马齿苋种子发芽率、幼苗的鲜质量和株高在 25~50 mmol/L NaCl 胁迫时比对照略有下降,但其随着 NaCl 浓度的继续增加均显著降低。0~75 mmol/L NaCl 处理浓度可提高马齿苋幼苗维生素 C 含量。盐胁迫影响植物组织的离子分布,Na⁺ 浓度持续增加,K⁺、Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 浓度下降。NaCl 胁迫下,马齿苋幼苗叶片的初始荧光(F_o)、最大荧光(F_m)、PS II 潜在光化学效率(F_v/F_o)和 PS II 实际光化学效率(Φ_{PSII})均降低。但在 0~50 mmol/L NaCl 浓度下,各荧光参数与对照差异不显著。可见,NaCl 胁迫下,马齿苋产生了光合作用的光抑制伤害。低浓度下,植株能够较多地将光能用于光化学反应,光抑制程度较低,保持了较高的净光合速率,最终明显减轻盐胁迫对植株生长的影响。

关键词: 马齿苋; NaCl 胁迫; 叶绿素荧光; 离子分布; 盐土农业

中图分类号: S636.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)增刊-0213-05

Effects of NaCl Stress on the Ion Distribution and Chlorophyll Fluorescence in *Portulaca oleracea* L.

DING Hai-rong, WANG Mao-wen, ZHU Xiao-mei, LIU Chong,

XING Jing-cheng, ZHAO Bao-quan, CHEN Chang-qian, HONG Li-zhou

(Institute of Agricultural Sciences in Coastal Area of Jiangsu Province, Yancheng 224002, China)

Abstract: Pot experiments were carried out to study the effects of NaCl stress on the growth, quality, ion distribution and chlorophyll fluorescence in *Portulaca oleracea* L. Eight different concentrations of NaCl were applied: 0, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250 mmol/L. The results showed as follows: The germination rate, plant fresh weights and heights of seedlings had no difference with the control when the concentration of NaCl was 25–50 mmol/L, but decreased when the NaCl concentration was above 50 mmol/L. When the concentration of NaCl was 0–75 mmol/L, the Vc content of *Portulaca oleracea* L. increased. Increased treatment of NaCl induces increased of Na⁺ and decreased of K⁺, Mg²⁺ and Ca²⁺. Minimal fluorescence (F_o), maximum fluorescence (F_m), PS II potential fluorescence efficiency (F_v/F_o) and PS II actual fluorescence efficiency (Φ_{PSII}) all decreased when stressed by NaCl. And at low concentrations NaCl (0–50 mmol/L) stress, the fluorescence parameters changed slightly. So *Portulaca oleracea* L. was injured by photo-inhibition on NaCl stress, and at low concentrations, plant applied more light energy to photochemical reaction to maintain a high net photosynthetic rate, the degree of photo-inhibition was lower, therefore, NaCl stress had little effect on growth.

Key words: *Portulaca oleracea* L.; NaCl stress; Chlorophyll fluorescence; Ion distribution; Salty-soil agriculture

盐分胁迫对植物造成伤害主要是因为离子本身的毒害及盐离子所致的渗透效应和营养效应。Na⁺和 Cl⁻ 的过量积累是引起离子毒害的主要原因。盐

胁迫下非盐生植物体内 Na⁺ 积累的同时,常伴随着 K⁺ 含量的下降^[1]。植物的生长状况受光合作用影响,叶片叶绿素荧光与光合作用中各种反应过程密

收稿日期: 2012-08-01

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001); 江苏省农业科技自主创新资金(CX(10)219); 江苏省工程技术研究中心(BM2010904)

作者简介: 丁海荣(1979-),女,陕西西安人,助理研究员,硕士,主要从事盐土农业研究。

通讯作者: 洪立洲(1968-),男,江苏盐城人,副研究员,主要从事土壤肥料与盐土农业工程研究。

切相关,任何环境因子对光合作用的影响均可通过叶片叶绿素荧光动力学反映出来,叶绿素荧光测定已经在植物抗逆生理研究中被广泛应用^[2]。

马齿苋(*Portulaca oleracea* L.) 隶属马齿苋科、马齿苋属,含丰富的蛋白质、多糖、有机酸、矿质元素等,具有独特的营养价值,被誉为 21 世纪最有前途的、值得开发的绿色食品^[3]。马齿苋对气候、土壤等环境条件适应性极强,几乎可以在任何土壤上生长^[4],且具有一定的耐盐性^[5]。苏北平原地处黄海之滨,海涂面积达到 0.76 万 km²,占全国海涂面积的 1/4 以上,是重要的后备土地资源^[6-7]。在沿海滩涂上种植马齿苋,可以为我们提供更多的食物、药物、饲料,获得经济、生态和社会三重效益,对进一步加快我国农业经济可持续发展,拓展农业发展空间具有重要的战略意义,但其盐分胁迫是制约马齿苋生长的重要因素。兹于国内鲜有马齿苋对盐分影响机制方面的报道,且植物受盐分的影响因种类的不同而有差异,因此,本试验以马齿苋为材料,研究其不同 NaCl 浓度盐胁迫下生长情况,品质变化趋势,Na⁺、K⁺、Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 离子的吸收和分布以及荧光变化特性,进而分析马齿苋的耐盐能力及耐盐机理,为更加充分而合理地利用盐渍化土地提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料处理

供试马齿苋种子为江苏野生品种收集。种子用 0.1% 的 HgCl₂ 消毒 10 min 并充分冲洗,然后用蒸馏水浸泡 24 h 后播种于盛有蛭石的周转箱中,每天浇水保持蛭石湿润,自然光照。待种子萌发后选取 2 对叶完全展开的幼苗移栽到装有石英砂下部有孔的塑料盆钵中。用 1/2 Hoagland 营养液浇灌,正常养护至 4 对叶完全展开后,选取长势一致的幼苗开始处理,每盆定苗 5 株。试验设计:分别用含有 0, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250 mmol/L NaCl 的 1/2 Hoagland 营养液进行处理,处理 14 d 后进行各参数的测定,均重复 6 次。

1.2 鲜质量和干质量的测定

将马齿苋幼苗从塑料盆中取出,用去离子水冲去砂粒,再用吸水纸吸干后称全株鲜质量,经 110℃ 杀青 10 min 后于 60℃ 烘干至恒质量。

1.3 品质的测定

维生素 C 用 2,6-二氯酚靛酚法^[8]。

1.4 离子含量的测定

植物的营养元素 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 离子含量

进行根部和地上部分的测定。样品烘干粉碎研磨后,过 40 目筛,精确称量约 0.500 0 g,用 H₂SO₄:H₂O₂ = 3:1 (mL/mL) 消煮,定容于 100 mL,经适量稀释,采用 ICP-AES (美国,LEEMAN 公司 Prodigy) 测定含量。

1.5 叶绿素荧光参数的测定

采用英国 Hansatech 公司生产的 FMS_2 便携调制式荧光仪测定荧光参数。

1.6 数据分析

所有的数据均采用 SPSS 13.0 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 NaCl 处理对马齿苋种子发芽的影响

植物种子萌发对 NaCl 胁迫的响应是一个非常复杂的过程,涉及许多的信号转导途径^[9]。如图 1 所示,马齿苋种子在 NaCl 处理下发芽率均低于对照,说明盐胁迫对种子的萌发产生了抑制作用。随着 NaCl 浓度的增加,种子的萌发表现出一定的“滞后”效应,主要表现为发芽率的降低以及开始发芽所需时间的延长。其中,NaCl 浓度在 25 mmol/L 时,种子发芽率较对照略有下降;当浓度达到 75 mmol/L 时,发芽率开始显著下降,仅为对照的 49.2%。在 NaCl 浓度为 250 mmol/L 时,种子发芽率为 0。

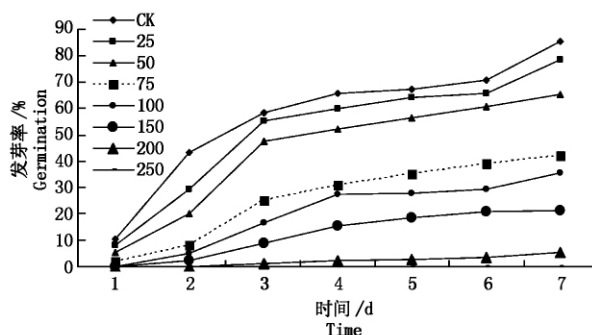


图 1 NaCl 处理对马齿苋种子发芽率的影响

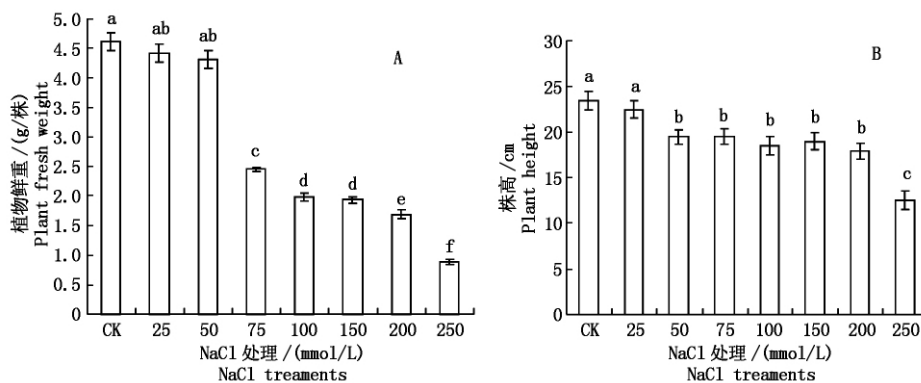
Fig. 1 Effect of NaCl on germination rate of *Portulaca oleracea* L. seedlings

2.2 NaCl 胁迫对马齿苋幼苗生长的影响

如图 2 所示,与对照相比,25 和 50 mmol/L NaCl 对马齿苋幼苗鲜质量无显著影响。75 mmol/L NaCl 显著降低了马齿苋幼苗的鲜质量。随着 NaCl 浓度增加,马齿苋鲜质量持续下降,当浓度为 250 mmol/L 时,鲜质量仅为对照的 19.3%。同时,马齿苋幼苗株高在 NaCl 胁迫下亦呈现逐渐下降的趋势,但与鲜质量变化趋势不同的是,NaCl 浓度从 50 mmol/L 增加到 200 mmol/L 时,处理间株高无显著差异;当 NaCl 浓度达到 250 mmol/L 时,株高显著下

降,仅为对照的 37.5%。由此说明,当马齿苋受到

NaCl 胁迫时,首先受到抑制的是生物量,其次是株高。



同列小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) 图 3、表 1 同。

Different lowercase within the same column represent significance at 5%. The same as Fig. 3, Tab. 1.

图 2 NaCl 处理对马齿苋生物量和株高的影响

Fig. 2 Effect of NaCl on plant fresh weight (A) and plant height (B) of *Portulaca oleracea* L.

2.3 NaCl 处理对马齿苋幼苗维生素 C 含量的影响

从图 3 中可以看出,马齿苋幼苗维生素 C 含量随 NaCl 浓度增加呈先升后降曲线,在 75 mmol/L NaCl 处理浓度下达最大值,为对照的 1.56 倍。从 0 ~ 75 mmol/L NaCl 处理浓度,维生素 C 含量逐渐上升,75 ~ 150 mmol/L NaCl 处理下,维生素 C 含量保持在较高水平,NaCl 浓度继续增加后,维生素 C 含量显著下降。低于 75 mmol/L 浓度处理下的维生素 C 含量提高可能是马齿苋幼苗对盐分的一种适应性表现。

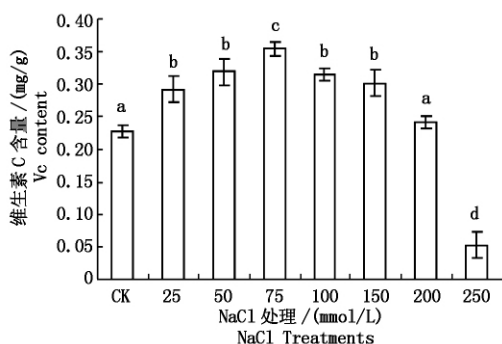


图 3 NaCl 处理对马齿苋维生素 C (C) 含量的影响

Fig. 3 Effect of NaCl on Vc content of *Portulaca oleracea* L.

2.4 NaCl 胁迫对马齿苋幼苗离子含量的影响

马齿苋在 NaCl 胁迫下根、茎、叶中的 Na^+ 含量(以干质量计)与盐浓度呈正相关。根、茎、叶中 Na^+ 含量不同盐处理与对照差异显著。其中茎中的 Na^+ 含量显著高于根中,随着盐浓度的升高,叶片中的 Na^+ 含量显著高于根中($\text{NaCl} > 25$ mmol/L), Na^+ 在叶部的积累有利于增大地上部和地下部的渗透势差,促进水分从根部向地上部分运输,利于改善地上部分的水分状况,有助于生长。

K^+ 含量(以干质量计)与盐浓度在根、茎、叶中

呈负相关。其中,茎、叶中的 K^+ 含量显著高于根中,且随着 NaCl 浓度的增大,茎和叶中 K^+ 含量下降幅度明显高于根中。NaCl 浓度小于 150 mmol/L 时,茎中 K^+ 含量大于叶中; NaCl 浓度大于 150 mmol/L 时,叶中 K^+ 含量亦大于茎中。

Ca^{2+} (以干质量计)在根、茎、叶中的分布规律显示,在根、茎中 Ca^{2+} 含量与盐浓度之间呈负相关,而在叶中 Ca^{2+} 含量与盐浓度相关性不显著。叶中的 Mg^{2+} 含量比根、茎中高,且随着盐浓度的增加, Mg^{2+} 含量(以干质量计)有减少的趋势。 Mg^{2+} 含量与盐浓度呈负相关。

环境中盐浓度的增加,直接导致了植物体内 Na^+ 的显著积累,茎中 Na^+ 含量高于根和叶片中,茎中保持较高的 Na^+ 含量,分析原因可能有二:其一,可以保持地上、地下的渗透势,有助于水分的运输;其二,叶片作为主要的光合器官,较少积累 Na^+ ,不会影响其光合作用。盐胁迫造成植株体内 K^+ 离子的缺乏(图 4)。

2.5 NaCl 胁迫对马齿苋幼苗叶片 PS II 光化学效率的影响

F_0 为 PS II 反应中心处于完全开放状态时的荧光产量,与光合作用光系统转换状态有关。 F_m 为最大荧光,是已经暗适应的光合机构全部 PS II 中心均关闭时的荧光强度。 F_v/F_0 常用于度量 PS II 的潜在活性,尽管 F_v/F_0 不是一个直接的效率指标,但其对效率的变化很敏感,所以 F_v/F_0 在一些情况下是表达资料的好形式^[10]。如表 1 所示,随着 NaCl 浓度增加,马齿苋叶片的 F_0 、 F_m 及 F_v/F_0 均呈现逐渐下降的趋势,其中,NaCl 浓度在 0 ~ 50 mmol/L,各处理的 F_0 之间无差异,25 ~ 75 mmol/L 各处理的 F_m 之间无差异。

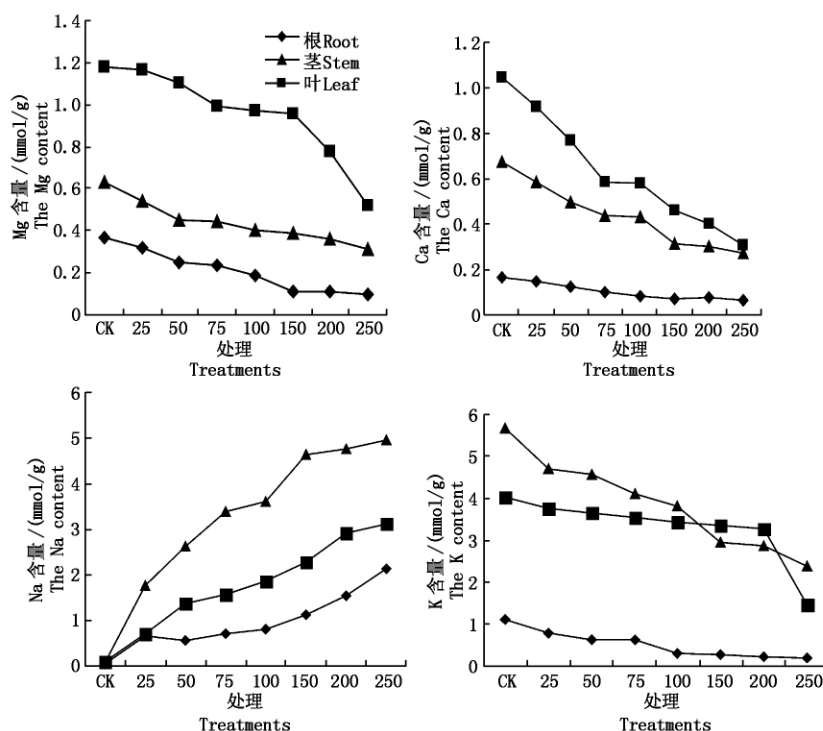


图4 NaCl 处理对马齿苋不同器官中 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 含量的影响
Fig. 4 Effect of NaCl on Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} contents in different organs of

Portulaca oleracea L.

Φ_{PSII} 表示实际光化学效率,其值升高表明植株同化力(NADPH、ATP)形成得到促进,从而提高植物对碳的固定和同化^[11]。从表1同样可以看出,NaCl胁迫下,马齿苋幼苗叶片 Φ_{PSII} 低于对照,且随着NaCl浓度的增大呈下降趋势;当NaCl浓度为75 mmol/L时, Φ_{PSII} 为对照的63.4%;而在250 mmol/L

NaCl时,为对照的30.1%。说明高浓度NaCl胁迫下,叶片PSII原初光能转换效率下降比例大,潜在活性中心受损程度高,光合作用原初反应抑制程度较严重。可见,马齿苋幼苗在低浓度NaCl胁迫下能够保持PSII原初光能转换效率和PSII潜在活性,避免光合机构受到较大损伤。

表1 NaCl胁迫下马齿苋幼苗叶片PSII光化学效率参数的变化

Tab. 1 The PSII photochemistry efficiency of *Portulaca oleracea* L. seedling leaves with NaCl treatment

参数	NaCl 浓度/ (mmol/L) NaCl concentraion							
Parameters	0	25	50	75	100	150	200	250
Fo	354a	342a	340a	310b	282c	258c	210d	187d
Fm	1457a	1419b	1396b	1394b	1333c	1318c	1316c	1310c
Φ_{PSII}	0.48a	0.41b	0.38b	0.31c	0.26c	0.23c	0.23c	0.14d
Fv/Fo	5.20a	4.68b	3.98c	3.70d	3.41e	3.15f	3.14f	2.68g

注: Fo. 初始荧光; Fm. 最大荧光; Fv. 可变荧光; Φ_{PSII} . PSII 实际光化学效率。

Note: Fo. Minimal fluorescence; Fm. Maximum fluorescence; Fv. Variable fluorescence; Φ_{PSII} . PSII actual fluorescence efficiency.

3 讨论

有关NaCl胁迫下植物耐盐性的研究已有较多的报道,但前人工作主要集中在一些盐生植物(如海蓬子、碱蓬等)和小麦、玉米、棉花等作物上。而对马齿苋耐盐性的生理机理方面尚鲜有报道。本研究以马齿苋为材料,研究其在NaCl胁迫下生长、品质、离子及荧光效应的变化特性。结果发现,25、50 mmol/L的NaCl胁迫对马齿苋种子发芽及幼苗生长发育没有显著抑制作用(图1、2),且25~75 mmol/L的NaCl胁迫可提高马齿苋幼苗的Vc含量(图3)。

可见,马齿苋具有一定的耐盐性,且低浓度的盐胁迫有利于马齿苋幼苗品质的积累。邓蕾^[5]发现马齿苋种子在NaCl浓度为160 mmol/L时,仍有37.46%的萌发率,本研究结论与此一致。

土壤中过量的盐离子(Na^{+} 、 Cl^{-})改变了植物的营养平衡^[12],盐离子通过与营养元素之间的相互竞争,减少对营养元素的吸收,同时,盐离子还会影响生物膜对离子的选择性吸收,进而影响根系对营养元素的吸收。NaCl胁迫环境影响了马齿苋幼苗体内的 K^{+} 、 Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 吸收、运输和分配。随着盐浓度的增加,马齿苋幼苗体内的 Na^{+} 含量迅速

增加, K^+ 含量迅速减少。 Na^+ 进入植物体内主要是利用 K^+ 的途径^[13], 因为 Na^+ 和 K^+ 有相似的离子半径和水合能, 所以二者之间会相互竞争转运体的同一结合位。 Na^+ 含量茎中大于根中(图 4), 说明根部吸收 Na^+ 通过转移运输到茎中来降低根中的浓度。 K^+ 和 Na^+ 之间的竞争作用, 才使得植物体内的 K^+ 在盐环境中严重亏缺。细胞内的 Ca^{2+} 作为植物信号传导中第 2 信使, 与脱落酸、活性氧物质等一起参与植物抗逆性的信号传递和表达。 Ca^{2+} 在马齿苋幼苗根、茎中与盐浓度呈显著负相关, 这可能导致细胞质膜上 Ca^{2+} 失去平衡, 无法发挥其保护细胞的作用, 使细胞膜的稳定性和选择性下降。 Mg^{2+} 作为叶绿素分子的重要组成部分, 随着盐浓度的增加, 马齿苋各组织中 Mg^{2+} 含量的减少可能会使植物的光合作用下降, 进而影响其生物量。

叶绿体是光合作用的主要场所, 也是对盐胁迫敏感的细胞器。叶绿体在正常情况下吸收的光能主要通过光合电子传递、叶绿素荧光和热耗散 3 种途径来消耗, 这 3 种途径间存在着此消彼长的关系, 因此荧光变化可以反映光合作用的情况^[14]。本研究中 25、50 mmol/L NaCl 胁迫下, 马齿苋幼苗叶片 F_o 与对照无差异, 25~75 mmol/L NaCl 胁迫下, 各处理的 F_m 比对照略有下降, 且处理间无差异, 说明此时植株受到了因盐胁迫而导致的光抑制, 但仍具有较强的抗光抑制和光氧化能力, 保持了植株较高的光合速率, 从而减轻盐胁迫对植株生长的伤害。当 NaCl 浓度继续增大, 各项指标均大幅度变化, 说明此时植株受到的盐伤害较大。由此可见, 在较低浓度盐胁迫下, 马齿苋幼苗能够保持 PS II 原初光能转换效率和 PS II 潜在活性, 同时有效启动非辐射热能量耗散机制将过剩光能以热的形式耗散掉, 从而避免光合机构受到较大损伤, 减轻盐环境对植株生长的伤害, 这可能是马齿苋对盐环境适应的一种保护机制。

综上所述, NaCl 胁迫对马齿苋发芽、生长、离子吸收分布和叶绿素荧光特性均有影响, 但低浓度的 NaCl 胁迫对其影响不显著, 可见其对盐环境表现出一定的适应性和耐受能力。但其耐盐分子机制及机理有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] Nakamura Y, Tanaka K, Ohta E. Protective effect of external Ca^{2+} on elongation and intracellular concentration of K^+ in intactmung bean roots under high NaCl stress [J]. Plantand Cell Physiology, 1990, 31: 815 – 821.
- [2] 陈建明, 俞晓平, 程家安. 叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用 [J]. 浙江农业学报, 2006, 18(1): 51 – 55.
- [3] 赵红, 邓洪平, 雷胜. 南北种源马齿苋种子在相同预处理条件下的萌发差异 [J]. 北方园艺, 2010(2): 24 – 27.
- [4] 王光全, 孟庆杰. 药食兼用佳蔬马齿苋栽培技术 [J]. 北方园艺, 2006(6): 79.
- [5] 邓蕾. 马齿苋的生长发育和高产培育的肥力运筹 [D]. 扬州: 扬州大学, 2009: 17.
- [6] 李加林, 张忍顺, 王艳红, 等. 江苏淤泥质海岸湿地景观格局与景观生态建设 [J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(5): 86 – 90.
- [7] 沈永明, 冯年华, 周勤, 等. 江苏沿海滩涂围垦现状及其对环境的影响 [J]. 海洋科学, 2006, 30(10): 39 – 43.
- [8] 李合生. 植物生理生化实验技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [9] 路莹, 王萍, 宋兆伟. 外源 NO 浸种对 NaCl 胁迫下沙葱种子萌发和生理特性的影响 [J]. 华北农学报, 2011, 26(2): 207 – 212.
- [10] 李晓, 冯伟, 曾晓春. 叶绿素荧光分析技术及应用进展 [J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2186 – 2196.
- [11] 史庆华, 朱祝军, Al-aghabary K, 等. 等渗 $Ca(NO_3)_2$ 和 NaCl 胁迫对番茄光合作用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(2): 188 – 191.
- [12] Ramon S, Alonso R N. Ion homeostasis during salt stress in plants [J]. Current Opinion in Cell Biology, 2001, 13: 399 – 404.
- [13] Blumwald E. Sodium transport and salt tolerance in plants [J]. Current Opinion in Cell Biology, 2000, 12: 431 – 434.
- [14] Hendrickson L, Furbank R T, Chow W S. A simple alternative approach to assessing the fate of absorbed light energy using chlorophyll fluorescence [J]. Photosynthesis Research, 2004, 82: 73 – 81.