

盐胁迫对冬小麦幼苗干物质分配和生理生态特性的影响

谷艳芳^{1,2}, 丁圣彦^{1,2,*}, 李婷婷², 王欣², 李俊娇², 张丽霞²

(1. 河南大学生态科学与技术研究所, 开封 475001; 2. 河南大学生命科学学院, 开封 475001)

摘要:以冬小麦 (*Triticum aestivum* L.) 品种周麦 18 (Zhoumai18) 和豫麦 49 (Yumai49) 为材料, 采用盆栽培养, 研究 100、250、350 mmol/L 和 450 mmol/L NaCl 浓度胁迫下, 小麦幼苗干物质分配、根系特征、叶绿素含量、游离脯氨酸含量和根系活力变化规律。结果表明, 随着盐分浓度的增加, 两个品种小麦的叶面积、地上干重以及根的长度显著减小; 根系干重、根直径、根表面积、根体积、根系活力以及叶绿素含量呈先上升后下降趋势, 在 250 mmol/L NaCl 处理下达最大。叶绿素 a/b 随 NaCl 浓度升高而上升。随盐分浓度变化周麦 18 叶片游离脯氨酸含量高而变化幅度大, 450 mmol/L 处理组的含量高于对照组 1.5 倍。供试品种冬小麦耐盐阈值为 250 ~ 350 mmol/L。

关键词:盐胁迫; 干物质分配; 生理生态; 幼苗; 冬小麦

文章编号: 1000-0933(2009)02-0840-06 中图分类号: Q142, Q944. 53, S181, S311, S314 文献标识码: A

Effects of saline stress on dry matter partitioning and ecophysiological characteristics of winter wheat seedlings

GU Yan-Fang^{1,2}, DING Sheng-Yan^{1,2,*}, LI Ting-Ting², WANG Xing², LI Jun-Jiao², ZHANG Li-Xia²

1 Institute of Ecological Science and Technology, Henan University, Kaifeng 475001, China

2 College of Life Science, Henan University, Kaifeng 475001, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0840 ~ 0845.

Abstract: Dry matter partitioning, root characteristics, chlorophyll content, free proline content and root activity were investigated in potted seedlings of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars (Zhoumai18 and Yumai49) with Hoagland solution and Hoagland adding 100, 250, 350, and 450 mmol/L NaCl, respectively. The results showed that leaf area, aboveground dry weight and root length in both cultivars significantly decreased in a salinity concentration-dependent manner. In contrast, root characteristics parameters (ie. dry weight, diameter, surface area, volume), root activity and chlorophyll content expressed a trace with a peak at 250 mmol/L NaCl; Chla / Chlb ratio were positively correlated with soil salinity. Proline content was higher and fluctuated much more in Zhoumai18 than in Yumai49, and 350 mmol/L NaCl increased the proline content by 1.5 times vs control. The threshold of salinity tolerance was somewhere between 250 and 350 mmol/L in winter wheat under study.

Key Words: salinity stress; dry matter partitioning; ecophysiology; seedling; winter wheat

目前, 全球盐碱地面积已达 9.5 亿 hm^2 , 中国盐碱土地约 $2.0 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 占总耕地面积的 10%, 土壤盐碱化已成为重要的环境问题之一^[1,2]。随着化肥用量增加, 土壤发生次生盐渍化亦愈来愈重, 盐胁迫几乎影响

基金项目:国家重大基础研究计划课题(973)资助项目(2005CB121103); 国家自然科学基金资助项目(40671175); 河南省科技攻关资助项目(072102170005)

收稿日期: 2007-09-17; 修订日期: 2008-04-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: syding@henu.edu.cn

植物所有的重要生命过程。因此盐胁迫下作物生长发育、光合产物分配格局和动态,作物抗盐、耐盐生理生态响应机制是农业科学、生态学领域研究的重要课题^[3,4]。自然界中造成盐胁迫的盐分主要是钠盐,如 NaCl、Na₂SO₄、Na₂CO₃、NaHCO₃。在盐渍环境中生长的植物无法阻止盐分的进入或排除盐分,只能通过不同生理途径适应或部分适应盐分而使之不受伤害,维持其正常的生理活动^[5,6]。前人研究认为小麦(*Triticum aestivum* L.)是盐敏感植物,特别是幼苗期、拔节-孕穗期土壤盐分过高能引起盐害^[4,7]。因此冬小麦生育早期耐盐性、根系生长发育特征是作物生理生态学和栽培学研究热点,盐胁迫下小麦幼苗期植株整体水平上的干物质分配格局和生理生态机制研究较少。本实验选用两个冬小麦品种为实验材料,研究不同程度盐胁迫下冬小麦幼苗期生长发育特征和生理生态响应,为小麦抗盐、耐盐品种培育、粮食安全生产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料与试验设计

选用河南省大面积种植当家小麦品种豫麦 49(Yumai49)和周麦 18(Zhoumai18)。豫麦 49 是从豫麦 25 小麦品种中系统选育出的半冬性、超高产、矮秆多抗、多穗竖叶型小麦新品种,其组合为 394A × 豫麦 2 号,1998 年定名。周麦 18 从内乡 185 与周麦 9 号杂交选育而成的半冬性小麦新品种,具有高产、抗病、耐高温、抗旱性,2004 年通过河南省农作物品种审定委员会审定。盐胁迫处理用 NaCl 单盐溶液,根据预实验结果,设 100、250、350、450 mmol/L NaCl 的 Hoagland 营养液^[8]的 4 个处理浓度,以 Hoagland 营养液为对照(CK),每个处理设 5 个重复。冬小麦种子用升汞消毒后,在直径 10cm、高 13cm 塑料盆种植,每盆播 12 粒种子、用蛭石作固定物。用 Hoagland 营养液浇透,并把盆底浸在 1~2 cm 深的营养液中。光照 14h/10h(日/夜)、温度 23~25℃。小麦播种 7d 后开始进行盐胁迫处理。为防止盐激效应,先用体积分数为 1:1 的盐溶液和营养液的混合液处理 2d 后,再用含 NaCl 的完全 Hoagland 溶液继续处理 10 d 开始取样,每天补充营养液保持盐处理浓度。

1.2 生物量和根系图像采集

每处理取植株 30 株,从茎基部将植株分为地上部分和地下部分。根系特征采用 WinRHIZO 根分析系统软件(Regent Instruments, Inc., Quebec, Canada)对根的图像进行分析,获得根长、根直径、根表面积和根体积的数据。地上、地下部分分别称量鲜重后于 105℃ 杀青 10 min、75℃ 下 24 h 烘干至恒重。

1.3 叶绿素和游离脯氨酸含量测定

每处理取 8~10 片叶,用比色法^[9]测定叶绿素和游离脯氨酸含量,每项指标测定 3 次重复。

1.4 根系活力测定

用 TTC 法测定根系活力^[8],每个处理 3 次重复。

1.5 统计分析

数据整理后用 SPSS 软件进行方差分析、*t*-检验。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对冬小麦幼苗生长发育的影响

盐胁迫影响冬小麦苗期生长、干物质积累和分配,从图 1a、b 中可以看出,两个冬小麦品种的绿叶面积和地上干重随 NaCl 浓度的增加呈下降趋势。两个品种冬小麦绿叶面积(图 1a)在 100、250、350、450 mmol/L NaCl 处理下显著低于对照($P < 0.01$),豫麦 49 分别减少了 11.8%、12.2%、33.5% 和 35.1%,周麦 18 分别减少了 14.5%、18.1%、32.4% 和 31.6%。250 mmol/L 和 350 mmol/L NaCl 处理在 0.01 水平上有显著差异。盐胁迫明显抑制冬小麦地上干物质积累(图 1b),豫麦 49 的 100、250、350mmol/L 和 450mmol/L NaCl 处理分别比对照减少了 11.4%、13.2%、25.8% 和 20.7%,周麦 18 比对照减少了 8.9%、14.2%、33.4% 和 22.7%。两个冬小麦品种地上部分干重随盐浓度增加呈连续递减,100、250 和 350mmol/L NaCl 处理间的差异极显著($P < 0.01$)。

冬小麦地下部分干重随盐胁迫程度加重变化趋势是先升后降(图 1c),在 250 mmol/L NaCl 处理浓度下达最大值,并显著高于对照,其中周麦 18 是对照的 1.2 倍,豫麦 49 是对照的 1.1 倍。因此随着盐胁迫加重从

0~350 mmol/L NaCl 根冠比增大(图 1d), 盐胁迫继续加重根冠比不再增大。豫麦 49 在 100、250mmol/L 和 350 mmol/L NaCl 处理下根冠比是对照的 1.0、1.2、1.3 倍和 1.2 倍, 周麦 18 的则分别为 1.2、1.4、1.5 倍和 1.5 倍。

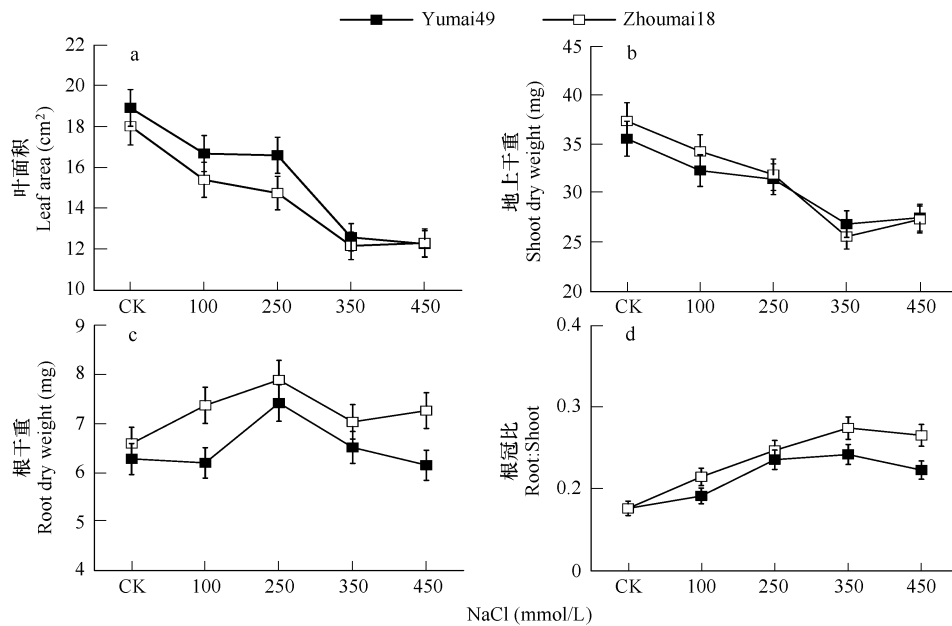


图 1 盐胁迫对冬小麦幼苗干物质积累和根冠比的影响

Fig. 1 Effects of saline stress on dry weight and root: shoot ratio of winter wheat seedlings

2.2 盐胁迫对冬小麦幼苗根系的影响

不同盐浓度处理下两个品种冬小麦的根长度随着盐分浓度的增加呈现减小的趋势(图 2a)。盐胁迫下豫麦 49 和周麦 18 的根长比对照分别下降 12.9%~23.8% 和 0.1%~13.1%。豫麦 49 根长对盐胁迫反应敏感, 100 mmol/L NaCl 处理下根长显著受抑制, 而周麦 18 在 350 处理浓度时才明显低于对照 ($P < 0.05$)。冬

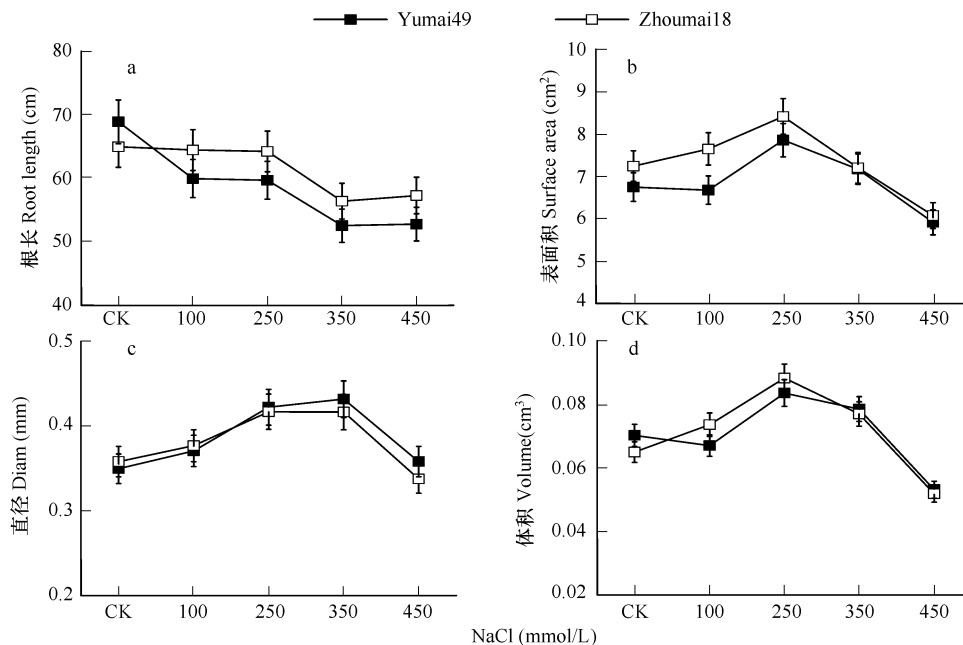


图 2 盐胁迫对冬小麦幼苗根系特征的影响

Fig. 2 Effect of saline stress on root characteristics of winter wheat seedlings

小麦根平均直径随盐浓度增加变化趋势一致呈现先增后减趋势(图 2c),在 100、250、350 mmol/L NaCl 处理下比对照显著增加($P < 0.05$),豫麦 49 和周麦 18 分别增加 5.7% 和 5.3%、20.0% 和 16.4%、22.8% 和 16.5%,周麦 18 增加幅度大于豫麦 49。冬小麦根表面积和根体积变化趋势一致(图 2b,d),随盐浓度增加呈现先增加后下降趋势,二者均在 250 mmol/L NaCl 处理下达最大值。根系吸收总面积能反映根系吸收水分和养分的能力,轻度盐胁迫(盐浓度小于 250 mmol/L)根直径的增大,是导致根表面积和根体积增大的原因。

2.3 盐胁迫对冬小麦幼苗叶绿素含量影响

叶绿素是光合作用的重要物质,其含量的高低在很大程度上反映了植株的生长状况和叶片的光合能力。从图 3a 可以看出随盐处理浓度增加叶绿素含量表现为先升后降,最大值出现在 250 mmol/L NaCl 处理浓度,豫麦 49 和周麦 18 分别高于对照的 9.6% 和 11.4%。叶绿素 a/b 随盐胁迫加重而升高(图 3b),周麦 18 升高 1.3% 和 1.7%,豫麦 49 升高 1.0% 和 0.98%。豫麦 49 叶绿素含量在各处理下均高于周麦 18,叶绿素 a/b 小于周麦 18($P < 0.05$)。

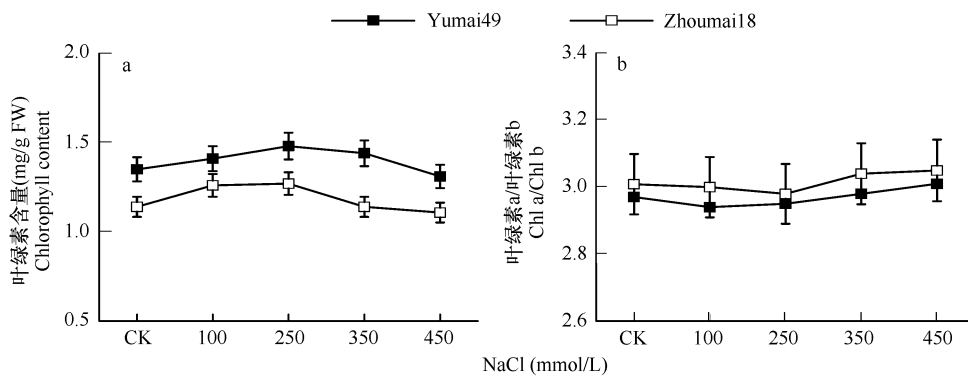


图 3 盐胁迫对冬小麦幼苗叶绿素含量和叶绿素 a/b 的影响

Fig. 3 Effects of salt stress on chlorophyll content and chl a/chl b ratio of winter wheat seedlings

2.4 盐胁迫对冬小麦幼苗根系活力和叶片游离脯氨酸含量的影响

根系的生长发育状况和根系的活力强弱直接影响植物个体的生命活动。根系活力是反映根系吸收功能的一项综合指标,因此测定小麦根系活力,可以反映出小麦的受害程度。图 4a 显示了不同处理下冬小麦根系活力的变化,两个冬小麦品种根系活力随 NaCl 浓度增加呈先升后降曲线,从 0 ~ 100 mmol/L NaCl 处理浓度根系活力迅速上升,100 ~ 350 mmol/L NaCl 处理下根系活力保持在较高水平,NaCl 浓度继续增加后冬小麦根系活力下降。低于 350 mmol/L 浓度处理下根系活力的提高可能是小麦幼苗对盐分的一种适应性表现。250、350 和 450 mmol/L NaCl 处理下周麦 18 的根系活力高于豫麦 49,方差分析结果显示两个冬小麦品种之间差异不显著($P > 0.05$)。

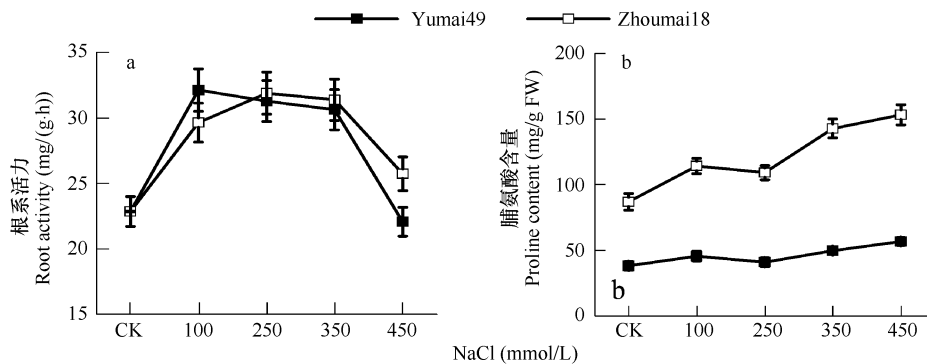


图 4 盐胁迫对冬小麦幼苗根系活力和游离脯氨酸含量的影响

Fig. 4 Effects of saline stress on root activity and free proline content of winter wheat seedlings

游离脯氨酸作为细胞质的渗透调节物质和防脱水剂参与维持细胞的含水量和膨压。游离脯氨酸含量随着盐浓度的增加变化趋势如图 4b, 周麦 18 随胁迫程度增加游离脯氨酸含量明显上升, 各个处理间的差异十分显著 ($P < 0.01$), 450 mmol/L NaCl 处理组的含量高达对照的 1.5 倍, 而豫麦 49 的游离脯氨酸含量和对照无差异。豫麦 49 对照组的游离脯氨酸含量低于周麦 18, 仅为周麦的 44.0%, 并且豫麦 49 游离脯氨酸含量随处理盐分含量增加变化幅度较小。

3 讨论

盐胁迫影响植物的生长、光合作用、蛋白质合成、能量和脂类代谢等重要生命过程。土壤中的根首先感受到盐胁迫, 并将信息传递到植物地上部分, 经过一系列复杂的生理生化反应产生对盐胁迫的适应性, 最终在形态上表现出来。随着盐分浓度的增加两小麦品种植株总重、叶面积、地上部分干重都明显受到抑制。一方面是由于盐胁迫使植物根系吸水困难造成生理干旱, 另一方面是根据小麦根冠间自适应自调节的光合产物分配原则, 盐害使光合产物分配向根增加, 影响叶面积扩展速度, 减少植物光合面积而造成植物碳同化物量减少。轻度盐胁迫促进根生物量积累, 严重胁迫下 (NaCl 浓度大于 350 mmol/L) 受抑制。两个品种小麦的根长对盐胁迫的反应非常敏感随着盐分浓度的增加呈下降的趋势, 与前人研究结果一致^[7]。根直径在 NaCl 浓度小于 350 mmol/L 下增加, 韦在虚^[10]对盐胁迫下星星草幼苗根显微结构研究认为盐胁迫条件下根表皮向外突出形成密集根毛增加根吸收面积。本研究结果认为供试的冬小麦品种耐盐浓度在 250 ~ 350 mmol/L, 与杨春武研究的冰小麦最高耐盐浓度 300 mmol/L 接近^[9]。

叶绿素总含量随着盐浓度升高的变化趋势是先升后降, 这与裘丽珍等^[3]对厚叶石斑木、月季和桑这 3 种植物研究结果一致。高盐胁迫下, 叶绿素的形成遭到破坏, 并对其合成与分解之间的平衡产生影响, 进而影响到植物光合作用的强度加速了盐对植株的危害^[11]。盐胁迫还会使植株体内的叶绿素酶活性增强, 从而促进了叶绿素 b 的降解导致植株叶片的叶绿素含量降低和叶绿素 a/b 提高^[12]。脯氨酸是许多植物在盐分胁迫时大量积累的有机小分子物质, 盐胁迫下脯氨酸在植物细胞适应过程中贮存氮素和碳架, 为逆境解除后恢复生长提供呼吸基质和能源^[13], 但也有报道认为脯氨酸的积累是胁迫对植物伤害的结果^[14]。本研究中, 周麦 18 的游离脯氨酸含量高于豫麦 49, 随盐胁迫程度加重变动幅度较大, 根据傅秀云研究认为变化幅度的下的品种耐盐力高。游离脯氨酸含量与小麦耐盐性是否直接相关, 人们的看法还不一致^[7,12,13]。

盐害机理是当今的研究热点, 盐胁迫对不同小麦品种的不同生长发育阶段或不同生理过程的影响, 还需要进一步具体的研究。

4 结论

盐胁迫抑制冬小麦苗期干物质积累量和叶面积增加, 促进光合产物向地下分配, 根干重增加。盐胁迫抑制根系根长生长, 但促进根增粗, 根系表面积和根体积增大。轻度盐胁迫促进叶绿素含量增加, 严重胁迫叶绿素 a/b 上升, 根系活力增强; 盐胁迫下叶游离脯氨酸含量增加, 周麦 18 游离脯氨酸含量高、变化幅度大。

References:

- [1] Zhang J F, Zhang X D, Zhou J X, *et al.* World resources of saline soil and main amelioration measures. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(6): 32-34.
- [2] Zhao F Y, Guo S L, Wang Z L, *et al.* Recent advances in study on transgenic plants for salt tolerance. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2003, 29(3): 171-178.
- [3] Qiu L Z, Huang Y J, Huang J Q. Comparative study on vegetal and physiological characteristics of different salt-tolerant plants under salt stress. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and life sciences)*, 2006, 32(4): 420-427.
- [4] Ding S H, Qiu N W, Yang H B, *et al.* The choice of physiological index of salt tolerancan in wheat. *Plant Physiology Communications*, 2001, 37(2): 98-102.
- [5] Shi F C, Bao F. Effects of salt and temperature stress on ecophysiological characteristics of exotic cordgrass, *Spartina alterniflora*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2733-2741.
- [6] Sun Z B, Qi X Y, Zhang H T. The effect of NaCl to the growth and osmotic regulation of *Arabidopsis thaliana*. *Shandong Science*, 2006, 19(3):

7—14.

- [7] Zhao S L, Dou Y L. A review of Identification Indicators for wheat salt tolerance. *The Journal of Northwest Agricultural University*, 1998, 26(6): 80—85.
- [8] Li H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press. 2000.
- [9] Yan C W, Li C Y, Yin H J, *et al.* Physiological response of Xiaobingmai (*Triticum aestivum*-*Agropyron intermedium*) to salt-stress and alkali-stress. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33 (8): 1255—1261.
- [10] Wei C X, Zhang J, Wang J J, *et al.* Observation on structural characters of vegetative organs of *Puccinellia tenuiflora* under salt stress. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2006, 15 (1): 51—56.
- [11] Lu C M, Qiu N W, Lu Q T. Does salt stress lead to increased susceptibility of photosystem II to photoinhibition and changes in photosynthetic pigment composition in halophyte *Suaeda salsa* grown out doors? *Plant Science*, 2002, 63: 1063—1068.
- [12] Kavi kishor PB, Hong Z, Miao G H, *et al.* Over expression of Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthetase increases proline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *Plant Physiology*, 1995, 108:1387—1394.
- [13] Sabry S R S, Smith L T, Smith G M. Osmoregulation in spring wheat under drought and salinity stress. *Journal of Genetics & Breeding*, 1995, 49 (1):55—60.
- [14] Zhao Y, Ma Y Q, Weng Y J. Variation of betaine and proline contents in wheat seedlings under salt stress. *Acta Photophysiológica Sinica*, 2005, 31(1):103—106.

参考文献:

- [1] 张建锋,张旭东,周金星,等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施. *水土保持研究*, 2005, 12(6):32~34.
- [3] 裘丽珍,黄有军,黄坚钦,等. 不同耐盐性植物在盐胁迫下的生长与生理特性比较研究. *浙江大学学报(农业与生命科学版)* 2006, 32(4): 420~427.
- [4] 丁顺华,邱念伟,杨洪兵,等. 小麦耐盐性生理指标的选择. *植物生理学通讯*, 2001, 37(2):98~102.
- [5] 石福臣,鲍芳. 盐和温度对外来种互花米草(*Spartina alterniflora*)生理生态特性的影响. *生态学报*, 2007, 27(7): 2733~2741.
- [6] 孙志宾,齐兴云,张洪涛,等. NaCl 对拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)生长与渗透调节的影响. *山东科学*, 2006, 19(3):7~14.
- [7] 赵锁芳,窦延玲. 小麦耐盐性鉴定指标及其分析评价. *西北农业大学学报*, 1998, 26(6): 80~85.
- [8] 李合生. *植物生理生化实验原理和技术*. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [9] 杨春武,李长有,尹红娟,等. 小冰麦(*Triticum aestivum*-*Agropyron intermedium*)对盐胁迫和碱胁迫的生理响应. *作物学报*, 2007, 33(8): 1255~1261.
- [10] 韦存虚,张军,王建军,等. 星星草营养器官适应盐胁迫的结构特征. *植物资源与环境学报*, 2006, 15(1): 51~56.
- [14] 赵勇,马雅琴,翁跃进. 盐胁迫下小麦甜菜碱和脯氨酸含量变化. *植物生理与分子生物学学报*, 2005, 31(1):103~106.