

盐胁迫对藜麦种子萌发特性的影响

时丕彪, 李亚芳, 耿安红, 王军, 王春云, 彭亚民, 顾闽峰, 费月跃* (盐城市新洋农业试验站, 江苏盐城 224049)

摘要 [目的]研究不同浓度盐胁迫对藜麦种子萌发特性的影响。[方法]对不同浓度 NaCl 处理下藜麦种子的各项发芽指标进行差异分析。[结果]随着 NaCl 浓度的增加, 藜麦种子的初始发芽时间和萌发高峰均随之推迟, 发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、根长、苗高及幼苗鲜重均呈逐渐下降的趋势, 而相对盐害率逐渐升高。1.0% 的 NaCl 胁迫下, 藜麦种子的发芽率、发芽势、活力指数、相对盐害率及根长与对照相比差异不显著; 当 NaCl 浓度高于 2.0% 时, 藜麦种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、根长、苗高及幼苗鲜重均显著低于对照, 而相对盐害率显著高于对照; 3.0% 盐胁迫下种子萌发完全受到抑制。[结论]藜麦能在 0~1.0% 的盐浓度范围内生长良好, 是一种高耐盐作物。该研究结果可为藜麦在盐碱地的开发利用和耐盐作物新品种选育提供参考。

关键词 藜麦; 盐胁迫; 种子萌发; 发芽指标

中图分类号 S512.9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)26-0029-03

Effect of Salt Stress on Seed Germination Characteristics of Quinoa

SHI Pi-biao, LI Ya-fang, GENG An-hong, FEI Yue-yue* et al (Xinyang Agricultural Experiment Station of Yancheng City, Yancheng, Jiangsu 224049)

Abstract [Objective] The variation of seed germination indices under the treatment of different contents of NaCl were analyzed. [Method] Differences of germination indexes for quinoa seeds of different NaCl concentration treatments were analyzed. [Result] With the increasing of NaCl concentration, the initial germination time and germination peak of quinoa seeds were delayed, germination rate, germination potential, germination index, viability index, root length, seedling length and fresh weight were gradually decreased, while relative salt injury rate was gradually increased. The germination rate, germination potential, viability index, relative salt injury rate and root length didn't show significant differences compared with control when the NaCl contents were less than 1.0%. But when the contents were above 2.0%, the germination rate, germination potential, germination index, viability index, root length, seedling length and fresh weight were obviously lower than control, and relative salt injury rate was significantly higher than control; seed germination was inhibited completely when the contents were 3%. [Conclusion] It indicated that quinoa seeds could be resistant to high-concentration salt and grew well in the salt content range of 0-1.0%. The study provided a reference for the development and utilization of quinoa in saline-alkali land and the breeding of salt tolerant varieties.

Key words Quinoa; Salt stress; Seed germination; Germination indices

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd.) 是苋科藜属一年生双子叶草本作物, 原产于南美洲安第斯山区, 富含优质完全蛋白质和人体必需的 9 种氨基酸^[1-3], 是联合国粮农组织 (FAO) 认定的唯一一种单体植物即可满足人体基本营养需求的食物^[4]。藜麦能适应多种非生物胁迫环境条件, 具有较高的耐盐碱性、耐旱性和耐寒性^[5-10], 在土壤肥力偏低的情况下仍能正常生长。

土壤盐渍化是影响农业生产发展的重要限制因素之一, 全球范围内每年约有 1% 的耕地面积退化成为盐碱地, 严重降低了农作物产量^[11-12]。我国是世界盐碱地大国之一, 目前盐渍化土地面积在 3 500 万 hm^2 以上, 分布广泛, 主要集中在西北、华北和沿海地区, 潜在的盐渍化土地面积也在逐年增加^[13-15]。加快耐盐作物品种选育进程以提高盐渍化土地的利用效率, 是促进我国土壤改良、农业生产与生态环境改善的一个重要举措。相关研究表明, 种子萌发期和幼苗生长期是作物对盐胁迫较为敏感和脆弱的时期^[16-18], 避开这个时期后, 作物能够较好的生长发育。藜麦是一种耐盐作物, 但对其萌发期耐盐性的鉴定鲜见报道。该研究探讨了不同浓度盐胁迫对藜麦种子萌发特性和幼苗生长状况的影响, 为

耐盐作物品种选育及沿海滩涂盐碱地藜麦的种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 盐藜 1 号, 由盐城市新洋农业试验站藜麦课题组选育和提供。

1.2 方法 用不同浓度 NaCl 溶液 (0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%) 对藜麦种子进行盐胁迫处理, 以重蒸水处理种子为对照。采用滤纸培养皿法将已消毒的供试种子均匀置于铺有 2 层滤纸的方形培养皿 (12 cm \times 12 cm \times 5 cm) 中, 每皿 100 粒种子, 分别加入等量的上述不同浓度 NaCl 溶液, 以浸湿滤纸为宜, 每个处理 3 次重复, 密封后置于 25 $^{\circ}\text{C}$ 恒温光照培养箱, 光暗周期为 16 h/8 h。以胚芽长度达到种子长度的 1/2 作为种子发芽的标准^[19], 每天对培养皿中藜麦种子的发芽情况进行观察和记录, 统计发芽数。

1.3 测定指标 培养至第 3 天时, 统计发芽势; 第 7 天时, 统计发芽率; 第 10 天时, 从每个处理挑选具有代表性的 5 株幼苗, 分别测量其根长、苗高及鲜重。

发芽势 = (3 d 内发芽种子数 / 供试种子总数) \times 100%

发芽率 = (正常发芽种子数 / 供试种子总数) \times 100%

发芽指数 = \sum (与发芽日数相对应的每天发芽种子数 / 发芽日数)

活力指数 = 发芽指数 \times 幼苗根长

相对盐害率 = (对照组发芽率 - 处理组发芽率) / 对照组发芽率 \times 100%

根长抑制率 = (对照组根长 - 处理组根长) / 对照组根长

基金项目 江苏省农业科技自主创新资金项目 [CX(15)1005]; 江苏省科技项目苏北科技专项 (BN2016147); 盐城市农业科技创新专项引导资金项目 (YK2015019)。

作者简介 时丕彪 (1989—), 男, 山东巨野人, 研究实习员, 硕士, 从事农作物种质资源抗逆鉴定评价及抗逆机理研究。* 通讯作者, 助理研究员, 从事蔬菜等园艺作物栽培研究。

收稿日期 2017-07-19

$$\times 100\%$$

苗高抑制率 = (对照组苗高 - 处理组苗高) / 对照组苗高 $\times 100\%$

鲜重抑制率 = (对照组鲜重 - 处理组鲜重) / 对照组鲜重 $\times 100\%$

1.4 数据统计与分析 分别采用 Microsoft Office Excel 2007、SPSS Statistics 17 和 Origin 8 软件进行试验数据的统计、分析与制图。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对藜麦种子萌发进程的影响 不同浓度盐胁迫均在一定程度上降低了藜麦种子的萌发率,并且随着盐浓度逐渐升高,种子的起始萌发时间往后推迟(图1)。处理1 d后,0~1.5% NaCl 溶液处理的种子萌发率均已超过60%;2.0% NaCl 浓度的环境下,仍有3~4粒种子能够萌发;2.5% NaCl 浓度处理的种子在处理第2天才开始萌发;浓度为3.0%的盐胁迫下种子萌发完全受到抑制,在整个试验过程中都没有萌发。从图1可以看出,藜麦种子的萌发高峰也随着盐浓度的升高而延后。0~1.5% NaCl 浓度处理的种子在第2天达到萌发高峰,萌发率在85%以上,而2.0%~2.5% NaCl 溶液处理的种子在第4天才达到高峰期,且萌发率明显低于对照,说明高浓度盐胁迫对藜麦种子萌发具有一定的抑制作用。

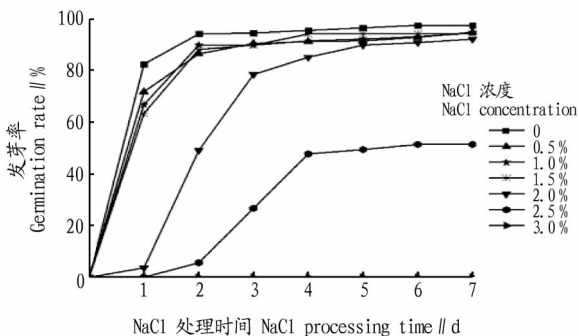


图1 盐胁迫下藜麦种子萌发动态

Fig. 1 Seed germination dynamic of quinoa under salt stress

2.2 盐胁迫对藜麦种子发芽的影响 从表1可以看出,随着盐浓度的增加,种子的发芽率、发芽势、发芽指数及活力指数总体呈下降的趋势,3.0% NaCl 溶液处理的种子始终没有萌发。0.5%~1.0% NaCl 溶液处理下,种子的发芽率、发芽势和活力指数与对照相比差异不显著,说明一定浓度范围内盐胁迫对藜麦种子萌发的影响较小;当 NaCl 溶液浓度为2.0%~2.5%时,种子的发芽率、发芽势和活力指数都显著低于对照,说明较高浓度盐溶液显著抑制种子的萌发。从发芽指数来看,它随着 NaCl 浓度的升高而逐渐减小,各盐胁迫处理与对照相比,均达到差异显著水平。

2.3 盐胁迫对藜麦种子相对盐害率的影响 相对盐害率反映了萌发期盐胁迫对种子的伤害程度^[20],与耐盐性成反比关系,即相对盐害率越小其耐盐性越强^[21]。由图2可以看出,随着 NaCl 浓度的增加,藜麦种子的相对盐害率也逐渐升高,说明种子受伤害的程度在逐渐加大。当盐浓度为

表1 盐胁迫对藜麦种子发芽的影响

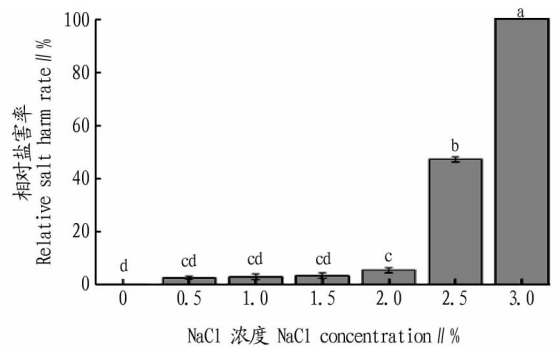
Table 1 Effect of salt stress on seed germination of quinoa

NaCl 浓度 NaCl concentration // %	发芽率 Germination rate // %	发芽势 Germination potential // %	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index
0	97.33 a	94.33 a	88.89 a	298.98 a
0.5	94.67 ab	90.33 a	80.73 b	314.84 a
1.0	94.33 ab	89.67 a	79.06 b	292.57 a
1.5	94.00 ab	89.67 a	78.99 b	191.84 b
2.0	92.00 b	78.33 b	39.04 c	22.12 c
2.5	51.33 c	26.67 c	15.75 d	3.15 c
3.0	0 d	0 d	0 e	0 c

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters within the same column mean significant differences ($P < 0.05$)

0.5%~1.5%时,种子的相对盐害率呈缓慢上升的趋势,均与对照差异不显著,说明种子对该浓度范围的盐溶液具有一定的适应性;当盐浓度为2.0%~3.0%时,其相对盐害率迅速升高,均显著高于对照,分别为5.47%、47.25%和100%,说明较高浓度盐溶液会使种子忍耐盐胁迫的能力变弱,受伤害程度增大,进而抑制种子的萌发。



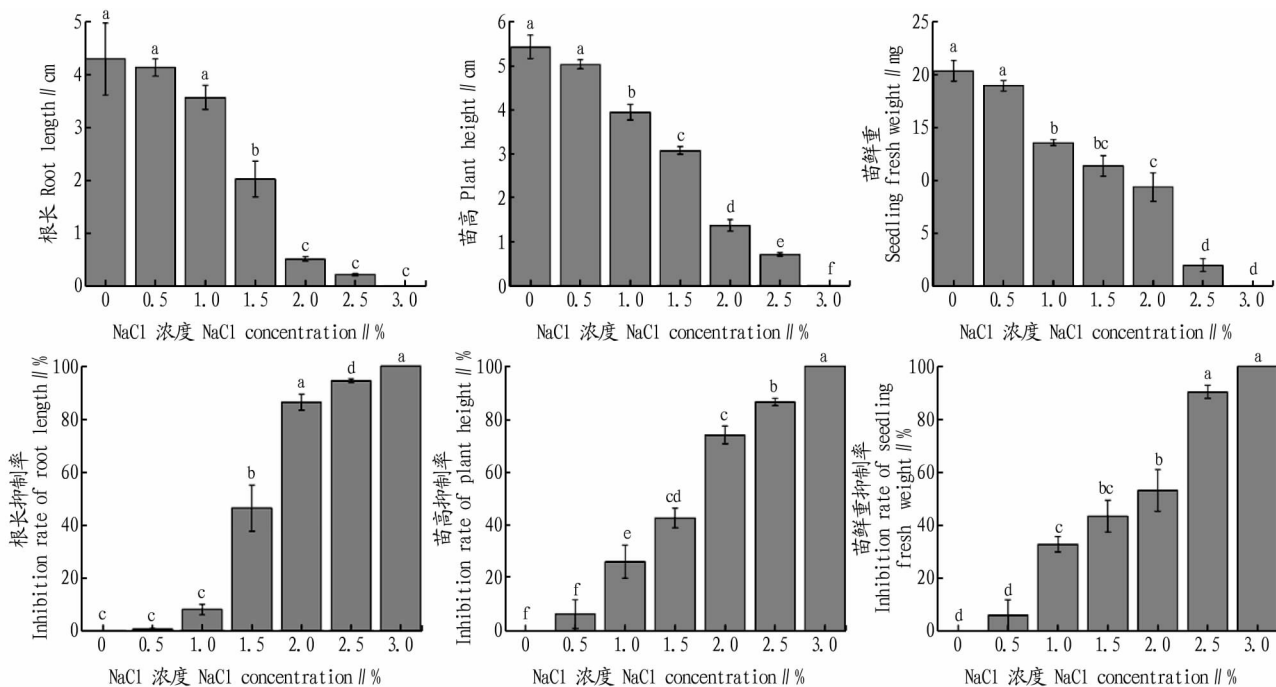
注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters mean significant differences ($P < 0.05$)

图2 不同浓度 NaCl 胁迫下相对盐害率变化

Fig. 2 Variation of relative salt harm rate under different concentrations of NaCl stress

2.4 盐胁迫对藜麦幼苗根长、苗高及鲜重的影响 从图3可以看出,不同浓度 NaCl 处理严重抑制藜麦幼苗根和茎的伸长以及鲜重的增加,并且浓度愈大,抑制程度愈强。当 NaCl 浓度为1.0%时,幼苗的根长与对照相比差异不显著,说明藜麦根系能在0~1.0%的盐浓度范围内正常生长;NaCl 浓度不低于1.5%时,能显著抑制根的伸长,浓度达3.0%时,根的伸长完全受到抑制。除0.5% NaCl 胁迫下幼苗的苗高和鲜重与对照没有显著性差异外,其他盐浓度胁迫下幼苗的苗高和鲜重均显著低于对照;1.0% NaCl 处理下幼苗的苗高和鲜重分别为3.96 cm和13.6 mg,抑制率分别为26.3%和32.9%;当 NaCl 浓度为2.0%时,苗高和鲜重分别为1.38 cm和9.4 mg,抑制率分别达74.2%和53.2%;当盐浓度为3.0%时,苗高抑制率和鲜重抑制率均达100%。从图3还可以看出,在1.0%~2.5%的高浓度盐胁迫下,藜麦幼苗根长的下降幅度明显高于苗高和鲜重的下降幅度,说明高浓度盐胁迫对根的抑制作用大于茎。



注:小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters mean significant differences ($P < 0.05$)

图3 不同浓度 NaCl 胁迫下藜麦幼苗的根长、苗高、鲜重及其抑制率

Fig. 3 Root length, plant height, fresh weight and their inhibition rate of quinoa seedlings under different concentrations of NaCl stress

3 结论与讨论

种子萌发是高等植物生命周期中一个极其重要而又容易受到伤害的阶段,对植株形态建成及后期的生长发育起着决定性的作用^[22]。因此,植物群体正常的形态建成依赖于种子萌发对发芽环境各方面的适应性。发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数是评价种子发芽能力的常用指标,反映出种子发芽的快慢、整齐度和幼苗生长健壮潜能^[23]。

盐胁迫抑制种子萌发主要是因为高浓度 NaCl 溶液破坏了细胞质膜的完整性,使膜的选择透过性降低甚至完全丧失,大量的 Na^+ 、 Cl^- 积累在细胞中,降低了 K、Ca 等元素的比例,造成细胞内离子失衡,代谢紊乱,水势降低,种子吸水困难,不能正常萌发^[24-25]。该研究表明,与对照相比,不同浓度盐胁迫均降低了盐藜 1 号种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数以及幼苗的根长、苗高和鲜重,而增加了种子的相对盐害率;随着盐浓度逐渐增加,盐藜 1 号种子的初始萌发时间和萌发高峰期均往后延迟;2.5% NaCl 溶液胁迫下,2 d 后才有 3~4 粒种子开始萌发;NaCl 浓度达 3.0% 时,种子萌发完全受到抑制;0~1.5% NaCl 溶液处理的种子在第 2 天时达到萌发高峰期,萌发率均高于 85%;而 2.0%~2.5% NaCl 溶液处理的种子在第 4 天才达到高峰期,萌发率分别为 85% 和 48%,说明高浓度盐胁迫抑制盐藜 1 号种子的萌发;0.5%~1.0% 的 NaCl 胁迫对盐藜 1 号种子的发芽率、发芽势、活力指数、相对盐害率及根长影响较小,可能是因为在该盐浓度范围内,细胞通过渗透调节来加强根对水分的吸收;当 NaCl 浓度高于 2.0% 时,盐藜 1 号种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、根长、苗高及幼苗鲜重均显著低于

对照,而相对盐害率显著高于对照,说明种子受 Na^+ 或 Cl^- 毒害的程度更加严重。

综合分析表明,盐浓度为 1.0% 时,盐藜 1 号种子的各项发芽指标,如发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数及幼苗根长、苗高和鲜重均较高,相对盐害率偏低,因此可认为盐藜 1 号种子能在 0~1.0% 的盐浓度范围内生长良好,盐藜 1 号是一个高耐盐品种。该研究结果可为藜麦在沿海滩涂盐碱地的开发利用和耐盐作物新品种选育提供参考。

参考文献

- [1] FIALLOS-JURADO J, POLLIER J, MOSES T, et al. Saponin determination, expression analysis and functional characterization of saponin biosynthetic genes in *Chenopodium quinoa* leaves [J]. *Plant Sci*, 2016, 250: 188-197.
- [2] ABUGOCH JAMES L E. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties [J]. *Adv Food Nutr Res*, 2009, 58: 1-31.
- [3] VEGA-GÁLVEZ A, MIRANDA M, VERGARA J, et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: A review [J]. *J. Sci Food Agric*, 2010, 90(15): 2541-2547.
- [4] OGUNGBENLE H N. Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour [J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2003, 54(2): 153-158.
- [5] HARIADI Y, MARANDON K, TIAN Y, et al. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels [J]. *J Exp Bot*, 2011, 62(1): 185-193.
- [6] RUIZ K B, BIONDI S, MARTÍNEZ E A, et al. Quinoa—a model crop for understanding salt-tolerance mechanisms in halophytes [J]. *Plant Biosyst*, 2015, 150(2): 357-371.
- [7] PETERSON A, MURPHY K. Tolerance of lowland quinoa cultivars to sodium chloride and sodium sulfate salinity [J]. *Crop Sci*, 2015, 55(1): 331-338.
- [8] RAZZAGHI F, AHMADI S H, ADOLF V I, et al. Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying [J]. *J Agron Crop Sci*, 2011, 197(5): 348-360.

(下转第 65 页)

表 5 2011—2015 年张公湖富营养化评价结果

Table 5 Eutrophication assessment results of Zhanggong Lake during 2011 – 2015

年份 Year	总磷 Total phosphorus // mg/L	总氮 Total nitrogen // mg/L	透明度 Transparency // m	高锰酸盐指数 Permanganate index // mg/L	营养状态指数 Permanganate index	营养状态 Nutritional status
2011	0.58	4.76	0.32	7.08	73.20	重度富营养
2012	0.25	3.93	0.29	7.38	69.70	中度富营养
2013	0.33	2.52	0.22	7.54	70.50	重度富营养
2014	0.33	4.72	0.24	6.14	71.30	重度富营养
2015	0.30	3.65	0.23	6.59	70.50	重度富营养

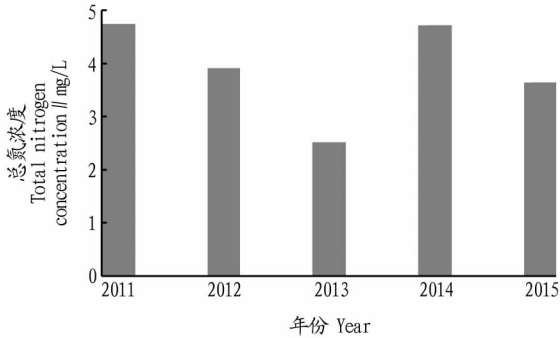


图 1 2011—2015 年张公湖总氮浓度变化趋势

Fig. 1 Variation trend of total nitrogen concentration of Zhanggong Lake during 2011 – 2015

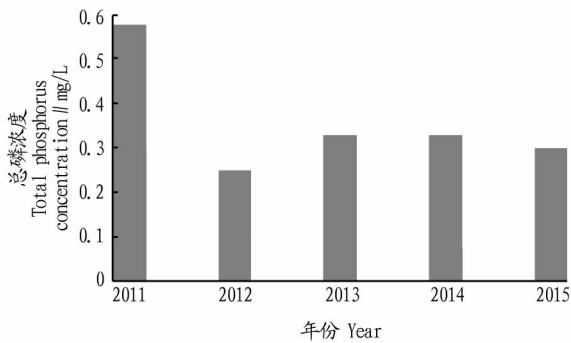


图 2 2011—2015 年张公湖总磷浓度变化趋势

Fig. 2 Variation trend of total phosphorus concentration of Zhanggong Lake during 2011 – 2015

重度富营养化。造成张公湖水体重度富营养化的主要原因，首先是张公湖周边市政管网建设滞后，生产、生活废水无排放通道，致使高浓度氨氮污水进入迎河水体污染张公湖，另外，张公湖周边的施徐村、陶店村、安平村等城中村环境基础设施落后，生活垃圾无暂存处，沿河散倒垃圾现象非常普遍，对张公湖水体有较大影响。最后，张公湖水体周边还有大量小型的畜禽养殖户，所排出的污水直接流入张公湖，从而影响水体质量。为改善张公湖水体质量，笔者提出以下治理对策：①建设部门要加快沿迎河周边的市政管网的建设步伐，切实解决排污单位和群众的生产及生活排水出路。②地区政府要想方设法加快施徐村、陶店村、安平村等地方的农村环境基础设施建设，有效处置生产和生活废水，设置垃圾暂存场所，实现有效的垃圾分类收集工作。③取缔“十五小”和小规模的养殖场，水利部门应对河道进行整治，河道岸边硬化、美化，实行规范管理。

参考文献

- [1] 赵永宏, 邓祥征, 战金艳, 等. 我国湖泊富营养化防治与控制策略研究进展[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(3): 92 – 98.
- [2] 陈小锋, 揣小明, 杨柳燕. 中国典型湖区湖泊富营养化现状、历史演变趋势及成因分析[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(4): 438 – 443.
- [3] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [4] 罗毅. 地表水环境质量监测实用分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [5] 中国环境监测总站《环境水质监测质量保证手册》编写组. 环境水质监测质量保证手册[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 1994.
- [6] 樊树红. 水体富营养化的探究[J]. 黑龙江科技信息, 2010(28): 8.

(上接第 31 页)

- [9] GARCIA M, RAES D, JACOBSEN S E. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands[J]. Agric Water Manage, 2003, 60(2): 119 – 134.
- [10] JACOBSEN S E, MONTEROS C, CHRISTIANSEN J L, et al. Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages[J]. Eur J Agron, 2005, 22(2): 131 – 139.
- [11] DEINLEIN U, STEPHAN A B, HORIE T, et al. Plant salt-tolerance mechanisms[J]. Trends Plant Sci, 2014, 19(6): 371 – 379.
- [12] SZABOLCS I. Soils and salinisation[M]//PESSARAKALI M. Handbook of Plant and Crop Stress. New York: Marcel Dekker, 1994: 3 – 11.
- [13] 项玉英, 杨祥田, 张光华. 设施栽培土壤次生盐渍化的调查及防治对策[J]. 浙江农业科学, 2006, 1(1): 17 – 19.
- [14] 王遵亲, 黎力群. 中国盐渍土地资源分布图及其说明[M]//中国自然地图集. 北京: 科技出版社, 1992.
- [15] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [16] SONG J, FAN H, ZHAO Y Y, et al. Effect of salinity on germination, seedling emergence, seedling growth and ion accumulation of a euhalophyte *Suaeda salsa* in an intertidal zone and on saline inland[J]. Aquatic Bot, 2008, 88(4): 331 – 337.

- [17] 肖鑫辉, 李向华, 王克晶. 渤海湾津唐沿海野生大豆 (*Glycine soja*) 种群高盐胁迫反应[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(3): 290 – 297.
- [18] 秦娟, 王勇军, 张云奉, 等. 盐胁迫对宇航四号朝天椒种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(9): 41 – 45.
- [19] 张琴, 周萍萍, 朱松, 等. KCl 胁迫对黑麦种子萌发特性的影响[J]. 种子, 2012, 31(8): 89 – 92.
- [20] 姜云天, 张丽娜, 顾地周, 等. 盐胁迫对茶花凤仙种子萌发的影响[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(3): 37 – 41.
- [21] 韩德复, 周艳辉, 张丽辉, 等. Na₂CO₃ 和 NaHCO₃ 混合胁迫对益母草种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 222 – 223.
- [22] SILVA P O, MEDINA E F, BARROS R S, et al. Germination of salt-stressed seeds as related to the ethylene biosynthesis ability in three *Stylosanthes* species[J]. J Plant Physiol, 2014, 171(1): 14 – 22.
- [23] 何欢乐, 蔡润, 潘俊松, 等. 盐胁迫对黄瓜种子萌发特性的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2005, 23(2): 157 – 162.
- [24] BAJJI M, KINET J M, LUTTS S. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (*Chenopodiaceae*) [J]. Can J Bot, 2002, 80(3): 297 – 304.
- [25] ZHANG H X, IRVING L J, MCGILL C, et al. The effects of salinity and osmotic stress on barley germination rate; Sodium as an osmotic regulator[J]. Ann Bot, 2010, 106(6): 1027 – 1035.