

DOI:10.11937/bfyy.201510044

盐碱胁迫对植物种子萌发的影响及 生理生化机制研究进展

代明龙, 王平, 孙吉康, 周 韬

(中南林业科技大学 生命科学与技术学院, 湖南 长沙 410004)

摘 要:土壤盐渍化是影响农业生产和生态环境的重要非生物因素,也是目前制约着我国农业增产的两大土壤因素之一,土壤盐渍化由于其高盐且高碱环境对包括种子萌发在内的植物生长发育具有重要影响。现总结了盐胁迫和碱胁迫对种子萌发的影响规律,并初步分析了盐碱胁迫对种子萌发影响的生理生化机制,用以指导生产和进一步开展相关研究提供参考。

关键词:盐胁迫;碱胁迫;发芽率;发芽势

中图分类号:S 604⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)10-0176-04

随着全球环境的不断恶化,土壤盐碱化已成为全球性的环境问题,日益威胁着人类赖以生存的有限土地资源。据联合国教科文组织(UNESCO)和粮农组织(FAO)的不完全统计^[1],世界盐渍土面积约 9.5 亿 hm^2 ,占世界陆地面积的 7.6%。我国盐渍土面积大,约 $1 \times 10^8 \text{ hm}^2$,且分布范围广,类型多^[2]。通常土壤含盐量在 0.2%~0.5%即不利于植物的生长^[3],盐渍土由于其高盐环境且常常伴随着高 pH 值,对植物的生长发育产生较强的毒害作用^[4],耐盐性低的植物很难生存,土壤盐渍化已成为世界范围内影响农作物产量的最关键因素^[5]。植物种子萌发和幼苗生长是植物生活史中的 2 个关键阶段^[6],同时也是对盐碱胁迫较为敏感的时期,常常将植物种子萌发期的耐盐性作为该品种的耐盐性^[7]。因此,盐碱胁迫对种子萌发的影响引起全世界的广泛关注。目前,已经在盐生植物和农作物中开展了大量研究^[8],现在前人研究基础上,总结了盐碱胁迫对种子萌发的影

响规律,并初步分析了盐碱环境对种子萌发的影响机理,为耐盐植物品种的培育,盐碱地环境的改良以及荒漠植被的恢复与重建提供理论依据,以发挥盐碱地巨大的经济效益和生态效益。

土壤盐分过多对植物造成的危害称为盐害,也称盐胁迫^[9],自然界造成盐胁迫的盐分主要是 NaCl 、 Na_2SO_4 、 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 。 NaCl 、 Na_2SO_4 等中性盐造成的胁迫称为盐胁迫, Na_2CO_3 、 NaHCO_3 等碱性盐造成的胁迫称为碱胁迫。不同种类植物,同一植物的不同品种对盐分的敏感程度不同,耐盐性存在差异^[10-11];不同的盐由于毒害机理不同以及同一种盐的浓度不同对植物的危害程度不同^[12]。评价种子发芽情况的常用指标有发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数等^[13]。发芽势是指种子发芽初期在规定的时间内能正常发芽的种子数占种子总数的比例,体现了种子的发芽速度和整齐度,能在一定程度上反映种子抵御逆境胁迫的能力。发芽指数与活力指数是表征种子活力的指标,能较全面的反映种子的萌发率及幼芽的生长状况等。

1 盐碱胁迫对种子萌发的影响

1.1 中性盐胁迫对种子萌发的影响

通常,低浓度的中性盐对种子萌发无显著影响,高浓度的中性盐抑制种子萌发,且随着盐浓度的升高,抑

第一作者简介:代明龙(1989-),男,硕士研究生,研究方向为生物化学与分子生物学。E-mail:446058997@qq.com.

责任作者:王平(1964-),男,博士,教授,现主要从事生物技术方面的教学与科研工作。E-mail:csfuwp@163.com.

基金项目:国家林业公益性行业科研专项资助项目(201204606)。

收稿日期:2015-01-22

Abstract: Digital gene expression profiling (DGE) is a high-throughput sequencing technologies, which can comprehensively and quickly detect gene expression in a specific tissue under certain conditions of a species. The related information about gene transcription, gene regulation, signal transduction pathway and protein function can be obtained by the search, comparison and analysis on bioinformatics of gene expression profiling. This paper mainly described the principles of digital gene expression profiling and applications in biological, medicine and so on.

Keywords: digital gene expression profiling; high-throughput sequencing; differentially expressed gene

制作用增强,盐浓度过高时种子不能萌发。如,用 0~12 g/L 的 NaCl 溶液处理多花木兰种子,盐浓度为 2~

4 g/L 时,种子的发芽率与对照相比差异不显著,浓度为 8、12 g/L 时种子的发芽率与对照相比分别下降了 8.33、17.67 个百分点^[14]; 100 mmol/L 的 NaCl 和 Na₂SO₄ 混合溶液处理小麦种子,发芽率为 93%,与对照无显著差异,浓度为 300 mmol/L 时,发芽率降为 82.7%,浓度为 500 mmol/L 时,发芽率仅为 46.7%^[15]; 浓度低于 0.1 mol/L 的 NaCl 溶液处理白梭梭有翅种子,发芽率高于 76%,与对照相比差异不大,当浓度增大至 0.5 mol/L 时,发芽率为 20%,1 mol/L 的 NaCl 溶液完全抑制了种子的萌发,发芽率为 0^[16]。亦有很多研究显示,低浓度中性盐会促进某些种子的萌发,如 50 mmol/L NaCl 溶液可促进花柴种子的萌发^[17]; 0.4%~1.6% NaCl 溶液浓度范围内,“碧玉”大白菜种子的发芽率显著高于对照^[18]; 0.4% NaCl 混合盐处理柳枝稷种子,发芽指数显著高于对照^[19]; 0.4% NaCl 和 Na₂SO₄ 混合溶液对燕麦种子的萌发有促进作用^[20]。

盐胁迫还会影响种子的发芽速度、整齐度以及种子的活力,如在 0~12 g/L NaCl 溶液浓度范围内,随着浓度的升高,多花木兰种子的发芽势、发芽指数和活力指数均逐渐降低^[14]; 在 0~300 mmol/L NaCl 溶液和 0~150 mmol/L Na₂SO₄ 溶液浓度范围内,白三叶种子的发芽势、发芽指数和活力指数均呈随盐浓度升高而降低的趋势^[21],说明盐胁迫推迟种子的初始萌发时间,降低种子的萌发速度,延长平均萌发天数,以及降低种子萌发的整齐度。在盐胁迫时,种子虽然可以萌发,但生长会受到限制。但“碧玉”大白菜在 0.4%~1.6% NaCl 溶液下,发芽势显著高于对照,“秦白 2 号”白菜在 0.2%和 0.6%盐浓度下,发芽势有所提高^[18]; 0.4%盐浓度胁迫下,燕麦发芽指数,活力指数均显著高于对照^[20],亦说明了低浓度盐胁迫提高某些种子萌发速度和整齐度,有利于种子的萌发。

不同中性盐均能抑制种子萌发,但抑制程度不同,如用 9 g/L 的 NaCl 溶液处理“黑果”枸杞种子,种子不能萌发,而 18 g/L 的 MgSO₄ 溶液处理,发芽率为 18%,18 g/L 土壤溶液处理,发芽率达到 59%,说明对“黑果”枸杞种子的胁迫效应 NaCl>MgSO₄>土壤溶液^[22]; 在 1.5%的 NaCl 溶液、Na₂SO₄ 溶液和 NaCl、Na₂SO₄ 混合溶液胁迫下,二色补血草种子的发芽率分别为 20.67%、52.00%、68.00%,而且随着浓度增大,NaCl 溶液处理组发芽势下降最快,其次为混合盐,最后为 Na₂SO₄ 溶液,因此,对二色补血草抑制程度 NaCl>混合盐>Na₂SO₄^[23]。

1.2 碱性盐胁迫对种子萌发的影响

碱性盐胁迫对种子萌发的影响与中性盐类似,低浓度对种子萌发影响不大,高浓度抑制萌发,且与浓度呈

正相关,但碱性盐的抑制作用比中性盐更强烈。如 Na₂CO₃ 在 0~150 mmol/L 浓度范围内,随着浓度升高,罗布麻种子的发芽率、发芽势、发芽指数均逐渐降低,浓度为 10 mmol/L 时即能显著抑制种子萌发,当浓度达到 150 mmol/L 时,种子不能萌发,而 200 mmol/L NaCl 溶液和 150 mmol/L Na₂SO₄ 处理组,罗布麻种子的发芽率分别为 62.22%和 52.00%,说明 Na₂CO₃ 对罗布麻的抑制作用明显强于中性盐 NaCl 和 Na₂SO₄^[24]; 浓度≤0.6%的 Na₂CO₃ 溶液处理新麦草种子,发芽率与对照没有显著差异,高于 0.9%时显著抑制种子萌发,当浓度达到 1.8%时,种子几乎不能萌发,而 1.8%NaCl 处理组,种子发芽率为 25%,因此,对新麦草种子的抑制作用 Na₂CO₃>NaCl^[25]。

2 盐碱胁迫对种子萌发影响的生理生化机理

盐分对种子萌发的影响可归于 2 种效应:离子毒害和渗透胁迫^[26-27],如 Bal 等^[28]认为 NaCl 胁迫影响水稻种子萌发和幼苗生长的主要原因是离子毒害,Foolad 等^[29]认为渗透胁迫是影响土豆种子萌发的主要因素。通常认为种子子叶和胚轴的水合作用是种子萌发的第一步^[30],盐胁迫时产生的渗透胁迫导致种子吸水困难^[31],抑制初生根的发生^[32],进而影响种子萌发。种子萌发时需要吸收大量水分,当种子暴露在高盐环境下,在大量吸水的同时伴随着过量离子的吸收^[33],导致 Na⁺和 Cl⁻在细胞中的积累,Na⁺跨膜运输时和 K⁺竞争转运蛋白,Na⁺竞争性抑制 K⁺的吸收^[34],导致细胞中 Na⁺浓度较高,K⁺浓度较低,Na⁺/K⁺比例失衡。Na⁺/K⁺平衡是维持细胞质中酶促反应正常进行的必要条件^[35],是植物在盐胁迫环境下存活的关键,另外,液泡中适宜浓度的 K⁺(10~200 mmol/L)对维持细胞的膨压起着重要作用^[36],是植物生长发育至关重要的元素,严重缺少会导致细胞死亡^[37]。

盐胁迫引起细胞产生大量的活性氧^[38],如超氧阴离子自由基(O₂⁻)、羟自由基(·OH)和过氧化氢(H₂O₂),活性氧会引起细胞结构成分如蛋白质、脂质和 DNA 的氧化损伤,破坏细胞完整性^[39],干扰细胞的正常生理功能,进而抑制了种子的萌发和幼苗的生长发育^[40]。

种子在萌发过程中,内部储藏物质如淀粉、蛋白质等为种子的萌发提供养分和能量,这些物质分解成简单的物质,运输到生长部位,为幼苗形态建成提供原料^[41]。有研究表明,盐胁迫可能会影响细胞中某些酶的活性,如杨秀玲等^[42]发现盐胁迫下 α-淀粉酶的活性降低,崔玮等^[12]发现盐胁迫影响黄瓜种子中蛋白酶活性,导致黄瓜种子中可溶性蛋白质含量低于对照,因此,盐胁迫抑制种子中储藏物质的分解和转化可能是盐胁迫抑制种子萌发原因之一^[43]。

干燥的种子失去了膜结构的完整性和质膜的选择透过性,盐胁迫下膜结构修复困难,甚至加剧了生物膜结构的破坏^[44],引起细胞内容物的外流,营养物质和水分吸收障碍^[45]。同时,高渗环境抑制生物膜电子传递链上电子的传递,影响细胞的呼吸作用和光合作用,阻碍能量的产生和运输,影响了细胞正常生理代谢,抑制种子的萌发^[46]。

低浓度盐胁迫对种子萌发有一定的促进作用,一方面,低浓度盐溶液促进细胞膜的渗透调节,使离子进入细胞,降低细胞的水势,从而促进细胞吸水^[47-48];另一方面,可能是微量的盐离子如 Na^+ 对呼吸酶有促进作用,从而促进种子萌发^[49]。

等浓度的碱性盐胁迫强度高于中性盐,可能原因是除了盐离子本身对种子的胁迫外,碱性盐增加了溶液的 pH 值,较高的 pH 值不仅抑制了根的吸水能力,而且直接破坏了根细胞的结构和功能,说明盐碱胁迫存在协同作用^[50]。碱性盐较中性盐对 K^+ 的吸收抑制更明显,细胞中 Na^+/K^+ 比例更高,而且低浓度的碱性盐(NaHCO_3)即可引起细胞产生大量的活性氧,而只有较高浓度的中性盐(NaCl)才会导致 H_2O_2 含量的显著增加^[51]。因此,碱性盐处理更容易对种胚造成伤害,引起种子活力降低,如盐胁迫解除后,罗布麻种子的恢复萌发率中, Na_2CO_3 处理组显著低于 NaCl 和 Na_2SO_4 处理^[24]。

种子受到盐胁迫时会发生休眠^[52],休眠是种子抵抗盐碱胁迫等不良环境的策略^[53],如高 NaCl 胁迫下未萌发的二色补血草种子,复水后均能萌发,说明盐胁迫并未破坏二色补血草种子的活力,种子只是处于暂不萌发的休眠状态^[23],当有充足水分时,渗透胁迫解除,种子即可恢复萌发^[54]。亦有研究表明,盐胁迫会影响某些种子的活性,如不同浓度 MgSO_4 胁迫黑果枸杞种子,种子复水后的累积萌发率显著低于对照,且盐浓度越高,累积萌发率越低^[22];250 mmol/L NaCl 溶液处理的小麦-黑麦 5A/5R 二体代换系种子的恢复和累积萌发率显著低于较低浓度处理组^[55]。可见,不同种子耐盐性不同,且种子的耐盐能力有一定限度,盐浓度过高会对种胚造成一定伤害,降低种子活力。

3 结论与讨论

为了便于操作,方便研究,目前关于盐碱对种子的胁迫作用较多采用单一或 2 种盐溶液进行,不能反映盐渍土的实际情况,盐渍土通常含有多种盐,既有中性盐也有碱性盐,对种子萌发的影响也更加复杂,因此,应采用接近盐渍土实际成分的盐溶液开展研究。在盐碱胁迫对种子萌发的影响多集中在发芽率、发芽势、发芽指数等,对萌发过程中的生理生化变化研究较少,不能从代谢的角度解释盐碱胁迫对种子的影响。

植物的耐盐性是由多基因决定的数量性状,同时受多种环境因素的影响,是多种耐盐生理性状的综合体现^[56],因此,筛选与耐盐性状有关的基因将是一个艰巨的任务。目前,植物耐盐性的分子机制研究还处于初级阶段,仅在模式植物拟南芥等几种植物中发现了与耐盐性相关的信号通路和基因^[57],关于其分子机制研究还有大量工作要做。

参考文献

- [1] 刘祖祺. 植物抗性生理学[M]. 北京:中国农业出版社,1994:222.
- [2] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:303.
- [3] 曾洪学,王俊. 盐害生理与植物抗盐性[J]. 生物学通报,2005,40(9):1-3.
- [4] 王春裕. 盐渍土壤盐渍化的生态防治[J]. 生态学杂志,1997,16(6):67-71.
- [5] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance[J]. Annual Review of Plant Biology,2008,59:651-681.
- [6] Khan M A, Guhar S. Germination responses of *Sporobolus ioclados*: a saline desert grass[J]. Journal of Arid Environments,2003,53:387-394.
- [7] Singh J, Sastry E V, Singh V. Effect of salinity on tomato during seed germination stage[J]. Physiol Mol Biol Plants,2012,18(1):45-50.
- [8] 杨景宁,王彦荣. NaCl 胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响[J]. 草业学报,2012,21(5):32-38.
- [9] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,2008:299.
- [10] 张舟,陈志成,吴文强,等. 盐胁迫对 4 个品种豇豆种子萌发的影响[J]. 种子,2014,33(3):19-24.
- [11] Pang Q, Chen S, Dai S. Comparative proteomics of salt tolerance in *Arabidopsis thaliana* and *Thlunigiella halophila* [J]. Journal of Proteome Research,2010,9(5):2584-2599.
- [12] 崔玮,张芬琴,李玉兰,等. 中性盐和碱性盐胁迫对黄瓜种子萌发的影响[J]. 种子,2006,25(4):67-69.
- [13] 闫兴富,李静,方苏,等. 复合钠盐对侧柏种子萌发的胁迫效应[J]. 东北林业大学学报,2010,38(6):21-23.
- [14] 王文恩,李颖,苏农,等. 盐胁迫对多花木兰种子萌发的影响[J]. 湖北农业科学,2011,50(2):321-324.
- [15] 蔺吉祥,李晓宇,唐佳红,等. 盐碱胁迫对小麦种子萌发、早期幼苗生长及 Na^+ 、 K^+ 代谢的影响[J]. 麦类作物学报,2011,31(6):1148-1152.
- [16] 周平,黄俊华. 果翅、盐分及干旱胁迫对白梭梭种子萌发的影响[J]. 防护林科技,2012(3):9-13.
- [17] 王志才,张富春,王艳,等. 水盐胁迫对花花柴种子萌发的影响[J]. 中国沙漠,2012,32(3):750-755.
- [18] 崔辉梅,陈曾. 盐胁迫对白菜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学,2006,34(18):4680-4682.
- [19] 于晓丹,杜菲,张蕴薇. 盐胁迫对柳枝稷种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报,2010,18(6):810-815.
- [20] 武俊英,刘景辉,李倩,等. 盐胁迫对燕麦种子萌发、幼苗生长及叶片质膜透性的影响[J]. 麦类作物学报,2009,29(2):341-345.
- [21] 卢艳敏,苏长青,李会芬. 不同盐胁迫对白三叶种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草业学报,2013,22(4):123-129.
- [22] 王桔红,陈文. 黑果枸杞种子萌发及幼苗生长对盐胁迫的响应[J]. 生态学杂志,2012,31(4):804-810.
- [23] 刘玉艳,王辉,于凤鸣,等. 盐胁迫对二色补血草种子萌发的影响[J]. 生态学杂志,2009,28(9):1794-1800.
- [24] 张秀玲,李瑞利,石福臣. 盐胁迫对罗布麻种子萌发的影响[J]. 南开

- 大学学报,2007,40(4):13-18.
- [25] 杜丽霞,董宽虎,夏方山,等. 盐胁迫对新麦草种子萌发特性和生理特性的影响[J]. 草地学报,2009,17(6):789-794.
- [26] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, 60(3): 324-249.
- [27] Machado N N B, Saturnino S M, Bomfim D C, et al. Water stress induced by mannitol and sodium chloride in soybean cultivars[J]. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2004, 47(4): 521-529.
- [28] Bal A R, Chattopadhyay N C. Effects of NaCl and PEG-6000 on germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Biol Plant*, 1985, 27: 65-69.
- [29] Foolad M R, Lin G Y. Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species[J]. *Hortscience*, 1997, 32: 296-300.
- [30] Promila K, Kumar S. *Vigna radiata* seed germination under salinity[J]. *Biol Plantarum*, 2000, 43(3): 423-426.
- [31] Murillo-Amador B, Lopez-Aguilar R, Kaya C, et al. Comparative effect of NaCl and PEG on germination emergence and seedling growth of cowpea [J]. *J Agron Crop Sci*, 2002, 188: 235-247.
- [32] Eneas F J, Oliveira N O B, Prisco J T, et al. Effects of salinity *in vivo* and *in vitro* on cotyledonary galactosidases from *Vigna unguiculata* (L.) Walp. during seed germination and seedling establishment[J]. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 1995, 7(2): 135-142.
- [33] Ibrahim D, Kazim M. Effect of salt and osmotic stresses on the germination of pepper seeds of different maturation stages[J]. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2008, 51(5): 897-902.
- [34] Sairam R K, Tyagi A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants[J]. *Current Science*, 2004, 86(3): 407-421.
- [35] James R A, Munns R, Caemmerer S, et al. Photosynthetic capacity is related to the cellular and subcellular partitioning of Na⁺, K⁺ and Cl⁻ barley and durum wheat[J]. *Plant Cell Environ*, 2006, 29: 2185-2197.
- [36] Bhaskar G, Bingru H. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization[J]. *International Journal of Genomics*, 2014: 1-18.
- [37] James R A, Blake C, Byrt C S, et al. Major genes for Na⁺ exclusion, Nax1 and Nax2 (wheat HKT1;4 and HKT1;5), decrease Na⁺ accumulation in bread wheat leaves under saline and waterlogged conditions[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2011, 62(8): 2939-2947.
- [38] Ahmad P, Prasad M N. *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability*[M]. Springer, New York, NY, USA, 2012.
- [39] Groß F, Durner J, Gaupels F. Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence responses[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2013(4): 419.
- [40] Ahmad P, Umar S. *Oxidative stress: role of antioxidants in plants*[M]. Studium Press, New Delhi, India, 2011.
- [41] 赵可夫. 作物抗性生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990: 249-313.
- [42] 杨秀玲, 郁继华, 李雅佳, 等. NaCl 胁迫对黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(1): 6-9.
- [43] Mallik S, Nayak M, Sahu B, et al. Response of antioxidant enzymes to high NaCl concentration in different salt-tolerant plants[J]. *Biologia Plantarum*, 2011, 55(1): 191-195.
- [44] 傅家瑞. 种子生理[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [45] 努力帕提曼·买买提热依木, 齐曼·尤努斯, 谭敦炎. 盐胁迫对 4 种短命植物种子萌发及植株生长的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(8): 1618-1627.
- [46] Krishna K, Naik G R. Seed germination rate as a phenotypical marker for the selection of NaCl tolerant cultivars in pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) millsp.) [J]. *World Journal of Science and Technology*, 2011, 1(2): 1-8.
- [47] 王娅, 李利, 钱翌, 等. 盐分与水分胁迫对两种猪毛菜种子萌发的影响[J]. 干旱区地理, 2007, 30(2): 217-222.
- [48] 王丽敏, 张霞, 张富春. 水盐胁迫对盐穗木种子萌发的影响[J]. 种子, 2013, 32(12): 6-10.
- [49] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, 990: 87-92.
- [50] Shi D C, Sheng Y. Effect of various salt-alkaline mixed stress conditions on sunflower seedlings and analysis of their stress factors[J]. *Environ Exp Bot*, 2005, 54: 8-21.
- [51] Shasha C, Jiajia X, Haiyan L. Comparative effects of neutral salt and alkaline salt stress on seed germination, early seedling growth and physiological response of a halophyte species *Chenopodium glaucum* [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2012, 11(40): 9572-9581.
- [52] Waisel Y. *Biology of halophytes*[M]. New York: Academic press, 1972.
- [53] 渠晓霞, 黄振英. 盐生植物种子萌发对环境的适应策略[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2389-2398.
- [54] Ungar I A. *Seed germination and seed-bank ecology in halophytes*[M]. New York: Marcel Dekker, 1995.
- [55] 苑泽宁, 徐鑫成, 彭一良, 等. 盐胁迫对小麦-黑麦 5A/5R 二体代换系种子萌发的影响[J]. 哈尔滨师范大学(自然科学学报), 2012, 27(2): 72-75.
- [56] 林栖凤. 耐盐植物研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [57] 陆玉建, 高春明, 郑香峰, 等. 盐胁迫对拟南芥种子萌发的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(22): 5099-5104.

Research Progress of Saline-alkali Stress Effect on Seeds' Germination and Its Physiological and Biochemical Mechanism

DAI Ming-long, WANG Ping, SUN Ji-kang, ZHOU Tao

(College of Life Science and Technology, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004)

Abstract: Salinization of soil is an important abiotic factor affecting agricultural production and ecological environment, and also one of the two major factors restricting agricultural production in China at present. Soil salinization is crucial to the growing of plants including seed germination due to its high salt and alkali environment. This paper summarized the influence of the salt and alkali stress on seed germination, and analysed its physiological and biochemical mechanism preliminarily, in order to instruct production and provided a reference for further research work.

Keywords: salt stress; alkali stress; germination rate; germination potential