

盐生植物萌发期对盐胁迫的适应研究进展

胡娟¹, 张洁¹, 盛洲¹, 周宸宇¹, 张旭萍¹, 拉本^{1,2,3*}

(1. 青海师范大学, 青海 西宁 810008;

2. 青海省青藏高原药用动植物资源重点实验室, 青海 西宁 810008;

3. 青海省青藏高原生物多样性形成机制与综合利用重点实验室, 青海 西宁 810008)

摘要:目前我国盐渍土地面积较大,尤其是青藏高原的盐渍地,常伴有干旱、半干旱的生境,导致植物不易生长,生态环境相对恶劣,这种生态现状亟待解决。盐生植物具有一定的耐盐性和耐旱性,是改善盐渍地的首选植物,种子的活力决定了种子萌发的情况,多数学者为改善严峻的生态环境开始了盐生植物引种的研究。测定种子活力有直接方法和间接方法,大多数学者采用的是直接方法,即在实验室模拟一定条件直接测定萌发率。简述了盐生植物的概况、制造胁迫的主要方法以及检测种子活力的指标,综述了近年来不同学者对盐爪爪、白刺等具有代表性的22种盐生植物在种子萌发期的耐盐性以及抗旱性的相关研究,为改善盐渍地的生态环境、提升盐渍地的生产量提供了理论基础。

关键词:盐生植物;种子;盐胁迫;干旱胁迫

中图分类号:S156

文献标识码:A

文章编号:1008-858X(2022)01-0095-06

全世界有25%土地是盐渍化土地,约有 $8 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的土地受盐渍化影响^[1],我国盐渍化土地面积达 $9\,913.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[2]。我国盐渍化土壤类型多种多样,有盐渍化土壤、残余盐渍化土壤、潜在盐渍化土壤等类型。迄今为止,约80%的盐渍土地尚未得到开发利用^[3]。

土地盐渍化严重制约着我国的生态环境建设与经济发展^[4]。研究表明,盐碱土溶液浓度的增高、渗透压的增大,会使植物的种皮细胞、胚细胞、胚乳细胞等受到土壤盐碱溶液的直接毒害,导致植物种子无法获得发育所需的水分及营养物质,使得植物无法正常萌发甚至无法萌发^[5]。所以,盐分在很大程度上降低了非盐生植物尤其是某些重要经济作物的生产量^[6],非盐生植物在盐浓度达到 50 mmol/L NaCl 的土壤中即表现出产量显著降低现象^[7]。然而,对于真盐生植物,适当的盐碱地生境会对盐生植物的生长发育产生促进作

用。因此,种植真盐生植物是改良盐渍土地的重要途径^[8-9],也是使我国盐渍土地使用价值提升的重要途径。

盐生植物在盐渍化土壤改良中发挥着积极的作用,盐生植物引种利用及抗逆性研究已成为植物学家关注的热点之一^[10]。国内外对盐生植物的种群格局、染色体核型、叶片形态结构、种子萌发、有效成分、功能基因克隆、饲用特性等进行了一系列研究与分析,但关于盐生植物种子萌发及苗期的耐盐性的综述较少。

种子是植物最重要的繁殖器官,植物的生活史开始于种子的萌发^[11]。盐生植物种子的萌发期是关系到其耐盐性、耐旱性的关键时期,也是关系到其能否在恶劣环境中生存下来的关键时期。然而土壤的含盐量达到一定程度会抑制种子的萌发,甚至使种子无法萌发^[12]。研究盐生植物种子萌发期的抗逆性是解决盐渍地产量低的关键步

收稿日期:2021-06-07;修回日期:2021-07-07

基金项目:青海省应用基础研究项目(2020-ZJ-750);青海省青藏高原药用动植物资源重点实验室项目(2020-ZJ-Y40);青海省自然地理与环境过程重点实验室项目(2020-ZJ-Y06)

作者简介:胡娟(1998-),女,硕士,主要研究方向植物学。Email:1439888249@qq.com。

通讯作者:拉本(1980-),男,副教授,主要从事植物学研究。Email:qhlaben@126.com。

骤。

1 盐生植物概述

1.1 盐生植物定义

盐生植物是生长在盐渍土壤上具有一定抗盐能力并能完成其生活史的一类植物,是一种盐碱土生物改良剂^[13]。关于盐生植物的概念,目前有着不同的定义,认可度最高的是 Greenway 在 1980 年根据耐受含盐量大小,将盐生植物定义为能在含盐量超过 0.33 Mpa(相当单价盐 70 mmol/L)的土壤中正常生长并完成生活史的植物^[14]。

1.2 盐生植物种类

按照植物耐盐机理的不同将盐生植物分为稀盐植物、泌盐植物和拒盐植物^[15]。一般所说的耐盐机理是指成株的植物对盐分的调控^[14]。1)稀盐植物,又名真盐生植物,可从外界吸收较多的盐分贮存在体内,并通过叶片、茎段肉质化提高含水量或离子区域化到液泡中的方式降低盐离子对细胞的伤害,主要是藜科的盐角草属、碱蓬属等^[10,13]。2)泌盐植物。分为向外泌盐和向内泌盐植物,前者本身具有特殊的泌盐结构—盐腺,可利用盐腺和分泌细胞将盐离子分泌到体外,后者其叶表面具有特殊的泌盐结构—盐囊泡,可将体内多余的盐分分泌至盐囊泡中暂时储存,最终通过盐囊泡的破裂而释放体内多余的盐分,从而避免盐胁迫对植物体本身的伤害。例如怪柳属和匙叶草属是向外泌盐的盐生植物;滨藜属和落地生根属中的一些植物是向内泌盐的盐生植物^[13,16]。3)拒盐植物,又称为假盐生植物。其可通过避免环境中的盐离子进入细胞或将进入体内的盐离子贮存于根茎结合部等安全部位来避免盐离子的毒害作用,这类植物主要有篇蓄、碱菀、盐芥等^[13,17]。

根据盐生植物的生态学特点也可将盐生植物分成旱生盐生植物、中生盐生植物、水生盐生植物三类。

1.3 盐生植物与非盐生植物

凡在盐渍土壤中不能正常生长、不能完成其

生活史的植物就是非盐生植物,也称甜土植物^[18]。盐生植物为了适应高浓度的土壤而特化了许多结构,使得其在根茎叶等结构上与非盐生植物有一定的差异。

1)根。盐生植物的根具较发达的中柱鞘,次生结构发达,周皮与次生韧皮部接壤处均具有明显的切向裂隙,次生木质部中也存在不规则的裂隙,共同组成了通气组织。2)茎。茎的角质层发达,皮层细胞特化为厚角组织,维管束散生在基本组织之中,髓部细胞所占茎的比例较大,细胞直径也大,壁相对较薄,髓腔较小。3)叶。盐生植物的叶在生长过程中形成了其独特的结构特点,叶片相对较小或退化为鳞片状,角质层较厚或具有蜡质,气孔下陷,具有发达的栅栏组织,含盐腺等特征结构;其中盐腺通过将盐分排出体外以维持植株体内盐分平衡^[13]。

2 主要实验方法与检测指标

2.1 制造盐胁迫的主要方法

配置不同浓度的 NaCl 溶液模拟不同程度的盐胁迫。根据不同的实验对象,设计不同浓度梯度的 NaCl 溶液,达到探究盐浓度对植物生长发育的促进与抑制作用的目的。例如,研究对象为临海地区的盐生植物大穗结缕草种子时,盐胁迫实验可以选用 0、50、100、200、300 mmol/L NaCl 5 个浓度梯度^[18]。研究对象为干旱荒漠区的盐生植物雾冰藜种子时,实验可以设 7 个 NaCl 溶液梯度,分别为 0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%、1.8% 和 2.1%^[19]。

2.2 种子发芽实验法

种子发芽实验常见的方法有沙培法、培养皿法、毛巾卷法等^[20],其中培养皿法是种子发芽实验常采用的快捷方便的方法^[21],其成本低、易操作、节约实验时间、减少发芽过程中种子的污染几率,是种子发芽实验常用方法^[22]。

2.3 检测指标

植物种子对于胁迫的适应主要通过其最后的种子活力来体现。种子活力是指种子具有的发芽

潜力、生长潜力和生产潜力,是检验种子质量优劣的最可靠的指标^[23-24]。

以下指标可以反应种子的活力。

萌发率 (Germination rate, GR) = $GN/SN \times 100\%$ 。式中, GN 为种子萌发总数; SN 为种子总数^[25]。

发芽势 (Germination potential, GP) = $n_1/N \times 100\%$ 。式中, n_1 为前 3d 内正常发芽种子粒数; N 为供试种子数^[25]。

发芽指数 (Germination index, GI) = $\sum Gt/Dt$ 。式中, Gt 为置床后 t 天的发芽数; Dt 为相应的发芽天数^[25]。

相对盐害率 (%) = (对照出芽率 - 处理出芽率) / 对照出芽率 $\times 100$ ^[26]。

可溶性蛋白 (Soluble protein, SP) 含量, 采用考马斯亮蓝法测定^[27]。

过氧化物酶 (POD) 活性, 采用愈创木酚比色法测定^[27]。

过氧化氢酶 (CAT) 活性, 采用紫外吸收法测定^[27]。

超氧化物歧化酶 (SOD) 活性, 采用氮蓝四唑光还原法测定^[27]。

3 盐生植物对盐胁迫的适应

根据前人的研究我们得知, 不同种盐生植物的种子对于同一程度的盐胁迫, 其适应性是有较大的差别的; 同种盐生植物的种子对于不同程度的盐胁迫, 其适应性同样具有较大差别, 但有一个普遍趋势是随着盐胁迫程度的加大, 种子的萌发率呈现先增加后降低的趋势^[19]。

3.1 不同种盐生植物的种子对于同一程度盐胁迫的适应

不同种的盐生植物对于盐胁迫的适应性也不同。王景瑞等在对一年生草本植物雾冰藜 (*Bassia dasyphylla*)、白茎盐生草 (*Halogeton arachnoides*)、沙米 (*Agriophyllum squarrosum*) 和画眉草 (*Eragrostis pilosa*) 的种子进行同等程度的盐胁迫处理后, 发现 NaCl 溶液浓度对白茎盐生草种子发芽率和发芽势影响较大, 画眉草次之, 其余两种较小; 对画眉草发芽指数和活力指数影响较大, 综合

各项指标来说四种植物的种子对于盐胁迫的适应性最好的是沙米, 其余依次是雾冰藜、画眉草、白茎盐生草^[19]。除了通过观察发芽这一宏观现象以外, 卡迪尔·阿布都热西提等在酶活性等微观方面对甘草属的两种盐生植物胀果甘草 (*Glycyrrhiza inflata* Bat.) 和光果甘草 (*Glycyrrhiza glabra* L.) 进行深入研究, 对这两种植物进行同等程度的高盐胁迫处理发现, 盐胁迫明显提高两种甘草的 POD 活性及光果甘草的 SOD 活性, 但使光果甘草 CAT 活性明显降低, 得出高盐胁迫会降低种子的萌发率。相比之下, 胀果甘草表现出比光果甘草更快的萌发速率, 也就是说胀果甘草更易适应高盐胁迫^[28]。

关于盐生植物对盐胁迫的适应性研究, 对多种盐生植物进行的处理发现, 50 mmol/L NaCl 溶液对小果白刺 (*Nitraria sibirica* Pall.)^[29]、白花草木樨 (*Melilotus albus*)^[30]、香豌豆 (*Lathyrus odoratus*)^[31]、白蜡 (*Fraxinus chinensis* Roxb.)^[32]、杜梨 (*Pyrus betulaefolia* Bunge)^[33] 种子的萌发具有促进作用, 对沙枣 (*Elaeagnus angustifolia* L.)、紫穗槐 (*Amorpha fruticosa*) 和怪柳 (*Tamarix ramosissima* Ledeb.) 有轻度抑制作用^[8]。邹凯等对青海野决明 (*Thermopsis przewalskii*)、芒颖大麦草 (*Halogeton glomeratus*) 和盐生草 (*Hordeum jubatum*) 做了相似的研究, 得出青海野决明、芒颖大麦草和盐生草种子的最高萌发率依次为 97%、86% 和 76%, 萌发耐盐极限值分别出现在 -2.1、-2.1 和 -3.3 MPa 左右, 耐盐指数分别为 0.76、0.70 和 0.84^[34]。

以上小果白刺等 17 种盐生植物均生长在干旱、半干旱的盐渍土地上, 经历着降水稀少、高蒸发率、高温、高辐射等严酷环境, 大部分分布在西北、东北地区^[29-34]。对于这 17 种盐生植物的探究, 可以发现每种盐生植物对于盐胁迫的适宜程度不同, 在引种时不能一概而论, 不可随意选种。要想最大程度地改善盐渍地的生态环境, 必须对该地区盐渍地的土壤进行深入的了解, 掌握其具体的含盐量、碱性程度等指标, 然后再选择最适宜的盐生植物进行大面积的栽培。

3.2 同种盐生植物的种子对于不同程度盐胁迫的适应

同一植物种子发芽率和发芽势在不同浓度

NaCl 溶液中存在显著差异^[19]。王景瑞等对雾冰藜的种子做了 0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%、1.8% 和 2.1% 七个程度的盐胁迫处理,得知最适宜其萌发的 NaCl 浓度是 0% ~ 0.6%。运用同样的方法,他们对画眉草、白茎盐生草、沙米三种植物也分别做了处理,得知最适宜其萌发的 NaCl 浓度依次是 0% ~ 0.6%, 0% ~ 0.6%, 0% ~ 0.9%^[19]。当然,也不能单纯地只看一两个指标,要多个指标综合评估植物对于盐胁迫的适应。赵丽萍等对盐生植物大穗结缕草进行深入研究后发现,当 NaCl 浓度为 100 mmol/L 时,大穗结缕草种子最终萌发率与对照无显著差异,但种子发芽势和活力指数与对照有明显差异。当浓度为 150 ~ 200 mmol/L 时,显著抑制大穗结缕草种子的萌发。也就是说 NaCl 浓度在 100 ~ 150 mmol/L 时,更适宜种子的萌发。通过进一步的梯度设计可以得出种子耐盐临界浓度和极限浓度分别为 144.12、244.12 mmol/L^[35]。发芽率、发芽指数等宏观表象是最直接反应植物对于胁迫的适应程度,为了增加实验的权威性,对于相关酶活性的检测也是必不可少的。马彦军等通过实验得出,当盐浓度大于 100 mmol/L 时盐爪爪的萌发率开始下降,随着盐浓度增加盐爪爪体内可溶性蛋白含量呈上升趋势;POD、SOD 酶活性呈现出先上升后下降趋势;CAT 酶活性呈下降趋势。综合探究表明,盐爪爪种子在盐浓度小于 100 mmol/L 时能正常萌发出苗^[36]。王群的研究结论,低盐(100 mmol/L)时白刺的发芽率、发芽势、发芽指数均有升高,相对盐害率降低。NaCl 浓度 > 100 mmol/L 后发芽率、发芽势以及发芽指数开始下降,相对盐害率增大^[26]。

盐生植物对于盐胁迫的程度也是较为敏感的,程度适宜可以起到促进种子萌发的效果,当程度过大的时对于种子萌发是有抑制作用甚至会使种子死亡。

3.3 盐胁迫促进盐生植物种子萌发的作用因子

最新的研究发现,200 mmol/L NaCl 处理可显著促进真盐生植物盐地碱蓬的种子产量。通过对盐地碱蓬进行钠盐、氯盐两组处理后,李凯伦等发现钠盐处理显著促进盐地碱蓬的二级分枝和整株的开花数目,花粉败育率显著降低,进而增加了种

子产量。而氯盐处理下 Cl^- 含量显著增加后花粉败育率较高,显著降低了盐地碱蓬种子的产量。这些结果表明 NaCl 中 Na^+ 促进真盐生植物盐地碱蓬种子产量,而氯盐则具有抑制作用^[37]。

4 总结与展望

盐分是限制植物生长发育的重要环境因素^[38],改善盐渍地的生态环境必须从土壤含盐量方面入手,调研土壤的含盐量、盐生植物的耐盐程度等理化指标,最终选择出适应不同盐渍地的最佳盐生植物。盐生植物的种子在萌发期对于不同程度的盐胁迫存在不同的反应^[39],NaCl 的浓度只有积累到一定程度后才会对种子萌发产生盐害^[40],而一定浓度的 NaCl 溶液会促进种子的萌发。最新研究发现促进种子萌发的物质是盐溶液中的 Na^+ ^[37],种子的不同部位对 Na^+ 的敏感程度是不同的,目前尚未有文献指出种子中感知 Na^+ 的具体部位,并且不同部位的感知能力程度也有待研究。胚和子叶在萌发期对于外界胁迫的敏感程度也是需要我们再进一步探究的。

目前国内的学者对于盐生植物种子的研究大部分都集中于干旱、半干旱地区的植物,对于沿海的盐生植物研究较少,不同的植物对于盐胁迫的反应是不一样的^[41],所以对于滨海湿润地区的盐生植物有待做进一步的探索。

我们探索种子的萌发程度主要参考的指标是发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数和胚根胚芽生长长度^[42]等宏观表象,对于在细胞、分子等微观方面的研究较少,当我们对于盐生植物了解的更深入精细的时候,相信对生态环境的改善也会有更大的帮助。

参考文献:

- [1] Sergey S. Learning from halophytes: physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops [J]. Ann. Bot., 2013, 112(7): 1209 - 1221.
- [2] Yang Z, Wang Y, Wei X C, et al. Transcription profiles of genes related to hormonal regulations under salt stress in sweet sorghum [J]. Plant Mol. Biol. Rep., 2017, 35(6): 586 - 599.
- [3] 米文精,刘克东,赵勇刚. 大同盆地盐碱地生态修复利用植物的初步选择[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(1): 49 - 54.

- [4] 张剑云,陈水红,魏萍. 塔里木河流域4种野生豆科植物种子耐盐性研究[J]. 草业科学,2009,26(6):116-120.
- [5] 王继和. 甘肃盐碱地治理[M]. 兰州:兰州大学出版社,2000:5-8.
- [6] Yadav S, Irfan M, Ahmad A, et al. Causes of salinity and plant manifestations to salt stress; a review[J]. Environ. Biol., 2011,32(5):667-685.
- [7] Galvan-Ampudia C S, Testerink C. Salt stress signals shape the plant root[J]. Curr. Opin. Plant. Biol., 2011,14(3):296-302.
- [8] 曾广娟,彭红丽,赵美微,等. 8种盐生植物种子萌芽期的耐盐性差异比较[J]. 现代农业科技,2015,(20):118-121.
- [9] 王计平,蔚奴平,常卓,等. 我国耐盐碱植物种质资源收集保存和利用:进展与展望[J]. 林业科技通讯,2020,(5):3-6.
- [10] 赵可夫,李法曾,樊守金,等. 中国的盐生植物[J]. 植物学通报,1999,16(3):201-207.
- [11] 中国科学院内蒙古宁夏植被综合考察队. 内蒙古植被[M]. 北京:科学出版社,1985,25-28.
- [12] Ungar I A. Effect of salinity on seed germination, growth, and ion accumulation of *Atriplex patula* (*Chenopodiaceae*) [J]. Am. J. Bot. 1996,83(5):604-607.
- [13] 苗莉云. 盐生植物对盐渍化土壤适应的研究进展[J]. 安徽农学通报,2007,(7):52-53,159.
- [14] 赵珍珍,荣钱钱,柳海宁,等. 典型盐生植物北美海蓬子耐盐机理研究进展[J]. 滨州学院学报,2013,29(3):42-46.
- [15] 赵可夫. 盐生植物[J]. 植物学通报,1997,14(4):1-12.
- [16] 李贵玲. 盐生植物耐盐机制概要及其在改良土壤中的作用[J]. 生物学通报,2020,55(9):7-10.
- [17] 葛瑶,栾明鉴,张雪楠,等. 中国盐生植物分布与盐碱地类型的关系[J]. 齐鲁工业大学学报,2021,35(2):14-20.
- [18] 赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京:中国科学技术出版社,1993,12-15.
- [19] 赵丽萍,姚志刚,谢文军,等. 盐生植物大穗结缕草种子萌发特性及其对盐旱胁迫的响应[J]. 北方园艺,2017,(19):98-103.
- [20] 王景瑞,王立,徐先英,等. 干旱荒漠区4种一年生植物种子萌发期耐盐性[J]. 草业科学,2020,37(2):237-244.
- [21] 赵英男. 如何做好玉米培养皿法发芽试验[J]. 现代化农业,2016,(5):29-30.
- [22] 常梅. 玉米种子培养皿法发芽试验误差分析[J]. 中国农学通报,2006,(4):134-137.
- [23] 李扬汉. 南京农业大学. 植物学[M]. 上海:上海科技出版,1984,6-14.
- [24] 刘毓侠,王铁固. 种子活力研究进展[J]. 玉米科学,2012,20(4):90-94.
- [25] 孙群,王建华,孙宝启. 种子活力的生理和遗传机理研究进展[J]. 中国农业科学,2007,40(1):48-53.
- [26] 马彦军,段慧荣,曹致中,等. 沙冬青种子萌发期抗逆性研究[J]. 中国沙漠,2011,31(4):963-967.
- [27] 王群. 盐胁迫对不同基质下白刺种子萌发及实生苗生理指标影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019:1-52.
- [28] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 第3版. 北京:高等教育出版社,2003,121-124,268.
- [29] 卡迪尔·阿布都热西提,刘晓,任坚毅,等. 盐生植物胀果甘草和光果甘草对UV-B以及盐胁迫的不同响应[J]. 基因组学与应用生物学,2018,37(6):2527-2536.
- [30] 李焕勇,杨秀艳,唐晓倩,等. NaCl处理对小果白刺叶片主要渗透调节物质和激素水平的影响[J]. 东北林业大学学报,2019,47(5):30-35.
- [31] 吴兴旺, Bowatte S, 张吉宇,等. 白花草木樨半同胞家系的生物固氮性状评价[J]. 草业科学,2020,37(4):728-735.
- [32] 刘巧玲,周斌,盛玮. 英国切花香豌豆引种试验[J]. 北方园艺,2016,(8):70-72.
- [33] 李和. 浅谈白蜡窄吉丁病虫害的防治[J]. 南方农机,2019,50(23):76.
- [34] 缪李飞,于晓晶,张秋悦,等. 沿海地区4个杜梨半同胞家系耐盐性分析[J/OL]. 南京林业大学学报(自然科学版):1-17[2021-07-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1161.S.20200727.1413.004.html>.
- [35] 邹凯,王绿菁,王嘉茜,等. 青海野决明、芒颖大麦草和盐生草种子萌发对盐分和干旱胁迫的响应特征[J]. 草业科学,2018,35(12):2883-2892.
- [36] 马彦军,祝小娟,何瑞雪. 盐爪爪种子萌发期抗盐性研究[J]. 草地学报,2019,27(5):1237-1242.
- [37] 李凯伦,李艳迪,郭建荣,等. Na⁺促进真盐生植物盐地碱蓬种子产量初探[J]. 植物生理学报,2020,56(1):49-56.
- [38] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants; a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005,60:324-349.
- [39] 罗小燕,李欣勇,张瑜,等. 8种山蚂蝗种子萌发期耐盐耐旱性差异分析[J]. 草地学报,2020,28(5):1329-1336.
- [40] 金美芳,朱晓清. NaCl胁迫对油菜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子,2009,28(9):76-79.
- [41] 杨林. NaCl胁迫对5种豆科牧草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子,2013,32(12):79-80.
- [42] 司马义·巴拉提. 3种盐胁迫对苦豆子种子萌发的影响研究[J]. 种子,2016,35(10):47-50.

Research Progress on the Adaptation of Halophytes to Salt Stress in Germination Stage

HU Juan¹, ZHANG Jie¹, SHENG Zhou¹, ZHOU Chen-yu¹, ZHANG Xu-ping¹, LA Ben^{1,2,3*}

(1. Qinghai Normal University, Xining, 810008, China;

2. Key Laboratory of Medicinal Animal and Plant Resources in Qinghai-Tibet Plateau, Xining, 810008, China;

3. Qinghai Provincial Key Laboratory of Biodiversity Formation Mechanism and Comprehensive Utilization of Qinghai-Tibet Plateau, Xining, 810008, China)

Abstract: At present, the area of saline land in our country is relatively large, especially on the Qinghai-Tibet Plateau, which is often accompanied by arid and semi-arid habitats, making it difficult for plants to grow and the ecological environment is getting worse. This ecological status quo needs to be resolved urgently. Halophytes have a certain degree of salt tolerance and drought tolerance. They are the preferred plants to improve saline soil. The vigor of seeds determines the germination of seeds. Most researchers studied on introduction of halophytes in order to improve the severe ecological environment. There are direct methods and indirect methods to determine seed vigor. Most researchers use direct methods, that is, simulating certain conditions in the laboratory to directly determine the germination rate. This paper briefly describes the general situation of halophytes, the main methods for producing stress, and the indicators for detecting seed vigor, and summarizes the opinions on 22 typical halophytes such as salt claw and *Nitraria* during seed germination. The study on salt tolerance and drought resistance provides a theoretical basis for improving the ecological environment of saline land and increasing the production of saline land.

Key words: Halophytes; Seed; Salt stress; Drought stress

(上接第 6 页)

五水合五硼酸钠溶解热测定及其热力学性质

肖 举^{1,2,3}, 袁 菲^{1,2,3}, 李 琰¹, 郭亚飞^{1,2,3*}, 王士强^{1,2}, 邓天龙^{1,2,3*}

(1. 海洋资源化学与食品技术教育部重点实验室, 天津 300457; 2. 天津市卤水化工与资源生态化利用重点实验室, 天津 300457; 3. 天津科技大学化工与材料学院, 天津 300457)

摘 要: 不同形态硼酸盐焓、熵、吉布斯自由能等热力学参数极为缺乏, 其准确测定对丰富和发展盐湖硼酸盐化学理论至关重要。采用微量热计测定了五水合五硼酸钠($\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)溶解热。根据设计的热化学循环和热力学基本公式, 获得了 $\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 在 298.15 K 下标准生成焓($\Delta H_{f,\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}^\theta$, $-5\,189.482\,0\,\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)、标准生成熵($\Delta S_{f,\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}^\theta$, $701.272\,8\,\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)、标准生成吉布斯自由能($\Delta G_{f,\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}^\theta$, $-5\,398.566\,5\,\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)等热力学参数。这些基础热力学参数的获得对丰富无机盐热力学数据和促进盐湖资源综合利用具有重要意义。

关键词: 溶解焓; 硼酸钠; 标准生成焓; 标准生成熵; 标准吉布斯自由能