

网络出版时间:2016-12-26 11:05

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.02.025

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20161226.1105.050.html

光果甘草种子萌发的最适温度和最佳盐分条件研究

张建国¹,张阿凤¹,王永东²,常 青²

(1 西北农林科技大学 资源环境学院/农业部西北植物营养与农业环境重点实验室,陕西 杨凌 712100;

2 中国科学院 新疆生态与地理研究所,新疆 乌鲁木齐 830011)

【摘 要】 【目的】确定光果甘草种子萌发的最适温度和最佳盐分条件,为甘草资源的人工种植和盐碱地资源的开发利用提供理论依据。【方法】采用恒温培养箱+培养皿滤纸萌发法,研究了不同温度(15,20,25,30,35 ℃)及不同浓度(0(CK),50,100,150,200,250,300,350 mmol/L) NaCl 和 Na₂SO₄ 对光果甘草种子萌发的影响。【结果】(1)光果甘草种子萌发的最适温度为 30 ℃,亚适宜温度为 25 ℃,高于 30 ℃时,发芽率随着温度的升高而逐渐越低。(2)低浓度(50~100 mmol/L)2 种盐处理下,光果甘草种子发芽率、发芽势和发芽指数均高于对照,且盐害指数为负值;在高浓度(≥150 mmol/L)条件下,2 种盐处理光果甘草种子的发芽率、发芽势和发芽指数均低于对照,并随着浓度的增高而降低,盐害指数随之升高。(3)相同浓度下 NaCl 处理光果甘草种子发芽率、发芽势和发芽指数均高于 Na₂SO₄,盐害指数则相反;低浓度 NaCl 对光果甘草种子萌发的促进作用优于 Na₂SO₄,高浓度 Na₂SO₄ 胁迫对光果甘草种子萌发的抑制作用强于 NaCl。【结论】在人工种植或培养幼苗过程中,光果甘草种子萌发的最适温度为 25~30 ℃,最适盐分条件为 50~100 mmol/L NaCl 溶液处理。

【关键词】 光果甘草;温度;盐分胁迫;种子萌发

【中图分类号】 S351.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)02-0182-07

Optimal temperature and salt conditions for germination of *Glycyrrhiza glabra* L. seed

ZHANG Jianguo¹,ZHANG Afeng¹,WANG Yongdong²,CHANG Qing²

(1 College of Natural Resources and Environment/Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China,

Ministry of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: 【Objective】 This study determined the optimal temperature and salt condition for seed germination of *Glycyrrhiza glabra* L. to provide theoretical basis for the large-scale artificial plant of licorice resources and use of saline lands. 【Method】 Petri-dish and filter-paper in incubator methods were used to study the influence of different temperatures (15,20,25,30, and 35 ℃) and salt (NaCl and Na₂SO₄) concentrations (0 (CK),50,100,150,200,250,300, and 350 mmol/L) on seed germination of *Glycyrrhiza glabra* L. 【Result】 (1) The optimal temperature for seed germination was 30℃, the sub-optimal temperature was 25 ℃, and the germination rate decreased with increase of temperature when temperature was higher than 30 ℃. (2) Under the treatments of lower salts concentrations (50—100 mmol/L), the seed germination rate, germination potential and germination index were higher than control, and salt injury index was

【收稿日期】 2015-11-10

【基金项目】 国家自然科学基金项目(41471222,41271341);中国石油总公司塔里木油田公司外协科技项目(Y552031)

【作者简介】 张建国(1981—),男,山东菏泽人,博士,主要从事土壤水盐运移和荒漠化防治研究。

E-mail: zhangjianguo21@nwsuaf.edu.cn

negative. Under higher concentrations (≥ 150 mmol/L), seed germination rate, germination potential and germination index were lower than control and they decreased with the increase of salt concentration. Salt injury index was positive and increased with salt concentration. (3) Under same concentrations, the seed germination rate, germination potential and germination index of NaCl treatments were higher than those of Na_2SO_4 , while salt injury index was opposite. Low salt concentrations (50 and 100 mmol/L) were beneficial for seed germination, and the promoting effect of NaCl was better than Na_2SO_4 . High concentrations Na_2SO_4 had larger inhibitory effect than NaCl. 【Conclusion】 During the artificial cultivation or seedling cultivation of *Glycyrrhiza glabra* L., the optimal temperature was 25–30 °C and the best salt treatment was 50–100 mmol/L NaCl.

Key words: *Glycyrrhiza glabra* L.; temperature; salt stress; seed germination

种子萌发是绝大多数高等植物完成其生活史和繁殖下一代的重要生理过程,研究植物种子萌发行为有助于探索植物的分布、进化、保护及合理利用。甘草属植物在全球约有 20 种,中国有 8 种,新疆有 4 种^[1],广泛分布于西北干旱半干旱的温带荒漠草原区域,是国家重点保护与管理的野生固沙植物,在保护草原生态环境和防治土地沙漠化方面发挥着重要作用^[2-3]。光果甘草 (*Glycyrrhiza glabra* L.) 为豆科 (Leguminosae) 甘草属 (*Glycyrrhiza* L.) 多年生草本,是载入《中国药典》最常用的大宗中草药之一,具有重要的药用价值^[4]。光果甘草是塔克拉玛干沙漠腹地引种成功的重要物种之一,在极端干旱的沙漠环境高矿化度咸水灌溉下表现良好^[5]。作为干旱半干旱地区重要的植物资源,光果甘草耐旱、耐寒、抗盐碱,作为一种常用中草药,人们对其需求量越来越大^[6]。

长期以来,土壤盐渍化一直是困扰世界农业发展的主要难题,也是当前我国尤其是西北干旱半干旱区经济社会发展所面临的重要生态环境问题^[7]。由土壤盐渍化而引起的草场退化、沙漠化等问题不但制约了区域经济和社会的可持续发展,而且对当地的生存环境造成很大威胁^[8]。在干旱区,由于降水量小蒸发量大,盐分影响的土地面积较其他区域更大,土壤盐分胁迫与植物的矛盾也更为突出^[9]。自然条件下,种子萌发所处的位置决定了此后成年植株的生长环境条件^[10],而在盐渍生境中,土壤表层温度、盐分等生态因子波动较大,且植物的种子主要位于地表或浅层土壤,面临比成年植物更为严酷的胁迫,种子萌发期死亡率较高^[11-12]。盐分对植物种子萌发的影响主要包括降低种子萌发率、减慢萌发速率、诱导种子休眠等^[13-14]。超过忍耐极限的盐分浓度还会引起已萌发幼苗的死亡^[15]。温度与盐分常存在交互作用,共同影响着盐生植物的种子萌发过程^[11]。

随着需求量的不断增加,野生甘草资源早已无法

满足需求,人们对野生甘草的过度采挖势必破坏原本就比较脆弱的区域生态环境。因此,甘草的规模化种植是发展的必然趋势。在种植过程中,光果甘草种子萌发的最适环境条件极为重要,对区域生态环境的保护和干旱区资源的充分利用具有重要现实意义。种子的耐盐机理涉及多方面因素,评价种子的耐盐性需要多指标的综合评判^[16]。对于植物种子逆境胁迫(盐分、温度、水分等)下的发芽状况,前人进行了许多有意义的研究,但以光果甘草为材料的研究报道较少。塔克拉玛干沙漠地区土壤和地下水的离子主要以 Na^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主,且地下水矿化度范围为 4~28 g/L^[17]。因此,本试验运用恒温培养箱,研究了不同温度对光果甘草种子萌发的影响,探讨光果甘草种子萌发的最适温度;测定不同浓度 NaCl 和 Na_2SO_4 处理下光果甘草种子发芽指数等指标的变化,以期为盐碱地甘草的规模化种植提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

2014 年 8 月在中国科学院塔克拉玛干沙漠研究站(塔中植物园,39°00' N,84°10' E,海拔 1 100 m)采集光果甘草种子,千粒质量为 9.917 g,采后贮藏在 4 °C 恒温箱中备用。盐处理所用 NaCl、 Na_2SO_4 均为分析纯。光果甘草母株灌溉方式为滴灌,灌溉水矿化度为 4.04 g/L,3–5 月份、9–10 月份每 15 d 灌水 1 次,6–8 月份每 10 d 灌水 1 次,每次灌水量为 30 kg/m²,11 月至次年 2 月免灌。

1.2 种子预处理

光果甘草种子较厚的种皮会抑制其萌发,为了提高其发芽率,在播种前通常需进行破皮预处理。本试验挑选大小均一、籽粒饱满的光果甘草种子,先用 10 g/L KMnO_4 溶液在室温条件下浸泡预处理 20 min,然后用流动清水冲洗 1 h,再用 50 g/L 的次

氯酸钠溶液浸种消毒 10 min,用蒸馏水冲洗干净后置于玻璃杯,再用蒸馏水浸泡 8 h 备用。

1.3 萌发及盐害指数测定

种子萌发以胚根的出现为标志。萌发过程中每 24 h 监测 1 次发芽状况,每天用称重法加蒸馏水以补充蒸发掉的水分,使各培养皿中盐分浓度基本保持不变。种子萌发试验每组 100 粒,先将种子置于直径为 50 mm 垫有脱脂棉和湿润滤纸的培养皿中,放入恒温培养箱,每处理设置 3 个重复,试验过程中每天早晨 08:00 定时加蒸馏水以保持滤纸湿润。

首先进行温度试验。共设 15,20,25,30 和 35 ℃ 5 个温度梯度,连续观察 7 d,记录各温度下种子的萌发数。为检测种子萌发的适宜温度范围,计算不同温度下的发芽指数(GI)和发芽率(GR),得出最适萌发温度。

在最适萌发温度基础上,将 NaCl 和 Na₂SO₄ 单盐分别配制成浓度为 50,100,150,200,250,300 和 350 mmol/L 的盐溶液。每个培养皿中加入 20 mL 不同浓度的盐溶液,蒸馏水作为空白对照(CK),在最适温度(30 ℃)条件下,连续观察至无种子萌发,每天记录各盐分浓度下光果甘草种子的萌发数。为确定盐胁迫对光果甘草种子萌发的影响,分别测定种子在不同浓度 NaCl 和 Na₂SO₄ 单盐溶液中的发芽高峰期、发芽率(GR)、发芽势(GT)、发芽指数(GI)及盐害指数(RSH)等指标^[18]。

根据观察记录的萌发种子数,计算种子发芽率、发芽势、发芽指数和盐害指数。所有结果均为 3 个重复的平均值。

$$GR = \frac{\text{种子发芽粒数}}{\text{供试种子数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$GT = \frac{\text{发芽高峰期发芽的种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100 \quad (2)$$

$$GI = \frac{\sum G_t}{D_t} \quad (G_t \text{ 为第 } t \text{ 日当天的发芽数}, D_t \text{ 为相应种子发芽天数}) \quad (3)$$

$$RSH = \frac{(\text{对照发芽率} - \text{盐处理发芽率})}{\text{对照发芽率}} \times 100 \quad (4)$$

1.4 数据处理

试验数据采用 SPSS 16.0 统计软件进行单因子方差分析。

2 结果与分析

2.1 温度对光果甘草种子萌发的影响

2.1.1 发芽率和发芽指数 不同温度条件下光果甘草种子的最终发芽率统计结果(图 1)表明,光果甘草种子发芽率和发芽指数在低于 30 ℃ 条件下均

随着温度的升高而逐渐升高,而在高于 30 ℃ 条件下呈快速降低趋势。说明萌发的最适温度为 30 ℃,发芽率达到 35%,发芽指数达到 15.40;亚适宜温度为 25 ℃,发芽率和发芽指数分别为 34%和 13.29,略低于 30 ℃。

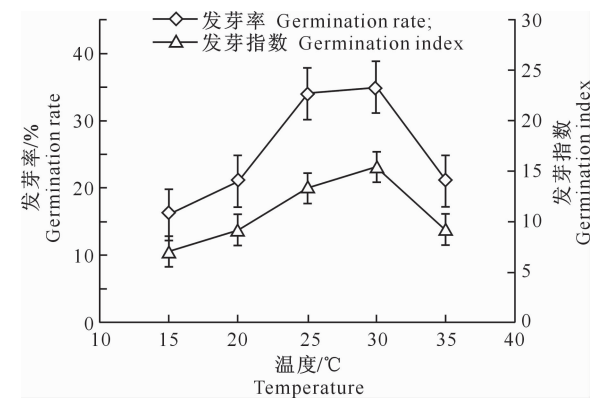


图 1 不同温度条件下光果甘草种子的发芽率和发芽指数

Fig. 1 Germination rate and germination index of *Glycyrrhiza glabra* L. under different temperatures

2.1.2 累积发芽率 由图 2 可以看出,光果甘草在不同温度下的累积发芽率随着时间的推进逐渐增加,且前 3 d 为种子快速萌发阶段,同时发芽高峰期基本上都出现在第 3 天,之后每天的发芽种子数量逐渐趋于平稳。30 ℃ 条件下,累积发芽率从试验初始阶段开始一直处于最高值,且明显高于其他处理,25 ℃ 次之,然后依次为 35,20 和 15 ℃。

2.2 盐分类型和浓度对光果甘草种子萌发的影响

2.2.1 发芽率 图 3 显示,最适温度 30 ℃ 条件下,CK 光果甘草种子的发芽率为 36%;NaCl 和 Na₂SO₄ 2 种盐处理下,发芽率随着盐分浓度的增加呈先升后降趋势,2 种盐分处理下发芽率的峰值均出现在浓度为 100 mmol/L 时。在相同浓度条件下,50~350 mmol/L NaCl 溶液处理的光果甘草种子发芽率比同浓度的 Na₂SO₄ 溶液处理分别高出 3%,6%,3%,5%,6%,6%和 5%;50 mmol/L NaCl 和 Na₂SO₄ 处理的发芽率分别比对照高 4%和 1%,而 100 mmol/L 的 NaCl 和 Na₂SO₄ 处理分别比对照高 9%和 3%;在 ≥150 mmol/L NaCl 和 Na₂SO₄ 处理条件下,光果甘草种子的萌发率均低于对照,且盐浓度越大,萌发率越低。以上结果表明,低浓度(≤100 mmol/L)盐分处理对光果甘草种子萌发有促进作用,且 NaCl 对种子萌发的促进作用优于 Na₂SO₄;而高浓度(≥150 mmol/L)的盐分胁迫对光果甘草种子的萌发会产生抑制作用,且 Na₂SO₄

的抑制作用强于 NaCl。

2.2.2 发芽高峰期 由图 4 可知,CK,50 和 100 mmol/L Na₂SO₄ 处理光果甘草种子的发芽高峰期出现在第 3 天;发芽高峰期随着 2 种盐分浓度的增加呈逐渐延后的趋势。与对照相比,不同浓度(50~

350 mmol/L)NaCl 处理的发芽高峰期分别延后了 1,2,3,5,6,7 和 7 d,而 50 和 100 mmol/L Na₂SO₄ 处理无延迟,150~350 mmol/L Na₂SO₄ 处理分别延后了 5,7,7,7 和 8 d。说明盐分处理对光果甘草种子的发芽高峰期具有延迟效应。

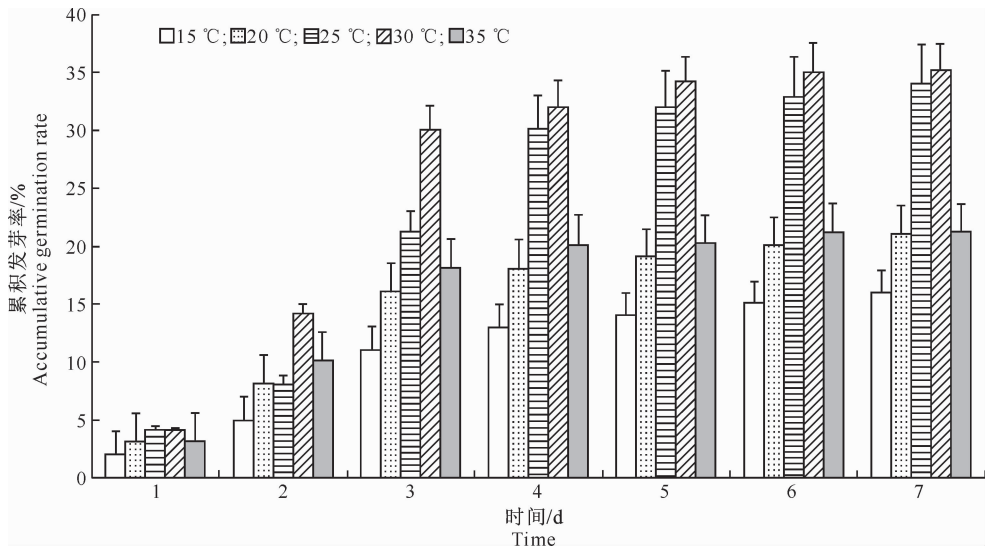


图 2 不同温度下光果甘草种子累积发芽率的动态变化

Fig. 2 Dynamics of accumulative germination rate of *Glycyrrhiza glabra* L. under different temperatures

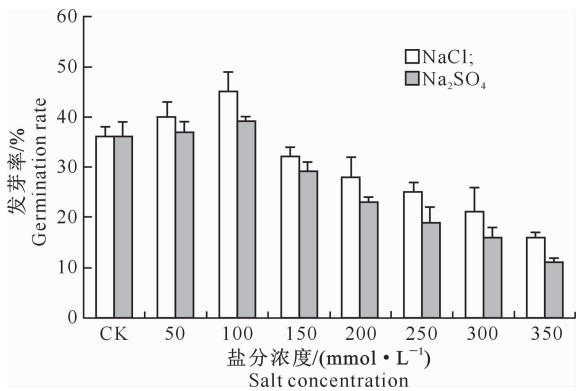


图 3 2 种不同浓度盐分下光果甘草种子的发芽率

Fig. 3 Germination rate of *Glycyrrhiza glabra* L. under different concentrations of NaCl and Na₂SO₄

2.2.3 发芽指数 在盐分浓度≤100 mmol/L 条件下,光果甘草种子发芽指数随着 2 种盐分浓度的增加而升高(表 1),且 NaCl 处理的增幅高于 Na₂SO₄,100 mmol/L 2 种盐分处理下的发芽指数均极显著高于对照和其他处理;在浓度为 150~350 mmol/L 条件下,2 种盐处理光果甘草种子发芽指数均极显著低于对照,且随着盐分浓度的升高而逐渐降低。表明低浓度(≤100 mmol/L)盐胁迫对光果甘草种子发芽有一定的促进作用,而高浓度(≥150

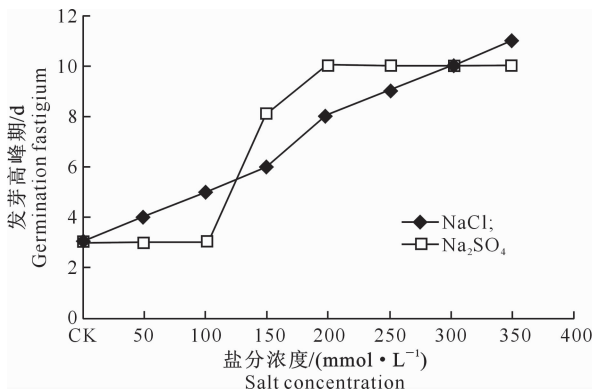


图 4 2 种不同浓度盐分下光果甘草种子的发芽高峰期

Fig. 4 Germination peaks of *Glycyrrhiza glabra* L. under different concentrations of NaCl and Na₂SO₄

mmol/L)盐胁迫则会抑制种子发芽。相同浓度条件下,NaCl 溶液处理的发芽指数均高于 Na₂SO₄,除 250,300 mmol/L 处理下两者的差异达到显著水平外,其余各处理两者的差异性都达到了极显著水平(表 1)。在低浓度(≤100 mmol/L)时 NaCl 处理对光果甘草种子萌发的促进作用强于 Na₂SO₄;而在高浓度(≥150 mmol/L)条件下,Na₂SO₄ 抑制种子发芽的作用强于 NaCl,且盐分浓度越高,在种子发芽时期内,发芽的种子数量越少。

表 1 不同浓度盐胁迫下光果甘草种子的发芽指数
Table 1 Germination index of *Glycyrrhiza glabra* L.
under different salt concentrations

盐分浓度/ (mmol · L ⁻¹) Concentration	发芽指数 Germination index	
	NaCl	Na ₂ SO ₄
0 (CK)	10.03 dD	10.03 dD
50	13.52 bB	12.58 cC
100	15.00 aA	13.52 bB
150	6.15 eE	3.79 fF
200	3.73 fF	2.87 iGH
250	3.46 gFG	3.14 hFG
300	2.36 jHI	2.02 kI
350	2.79 iGH	1.03 lJ

注:同列数据后所标不同大、小写字母分别代表差异极显著 ($P<0.01$)或显著 ($P<0.05$)。下表同。
Note: Capital and lowercase letters in each column represent significant differences at $P<0.01$ and $P<0.05$, respectively. The same below.

2.2.4 盐害指数 不同浓度盐胁迫下光果甘草种子的盐害指数见表 2。

表 2 不同浓度盐胁迫下光果甘草种子的盐害指数
Table 2 Salt-injury index of *Glycyrrhiza glabra* L.
under different salt concentrations

盐分浓度/ (mmol · L ⁻¹) Concentration	盐害指数/% Germination index	
	NaCl	Na ₂ SO ₄
50	-11.11 bB	-2.78 cB
100	-25.00 aA	-8.33 bB
150	11.11 dC	19.44 eCD
200	22.22 eDE	36.11 gFG
250	30.56 fEF	47.22 iGH
300	41.67 hG	55.56 jH
350	55.56 jH	69.44 kI

从表 2 可以看出,盐分浓度为 50 和 100 mmol/L 条件下,盐害指数均为负值,且浓度在 100 mmol/L 条件下盐害指数最小,这说明在这 2 种浓度条件下,盐分对种子萌发所表现出来的不是抑制作用,而是促进作用,尤以 100 mmol/L 盐分处理促进作用最佳。在盐浓度 ≥ 150 mmol/L 条件下,2 种盐处理的盐害指数均为正值且随着盐分浓度的增加而不断增大,且同一盐分不同浓度处理间盐害指数的差异性均达到了显著水平。NaCl 处理除 200 与 250 mmol/L、Na₂SO₄ 处理除 50 与 100 mmol/L、200 与 250 mmol/L、250 与 300 mmol/L 外,同一盐分其他不同浓度处理间盐害指数差异性均达到极显著水平。其中 Na₂SO₄ 处理种子的盐害指数随浓度的增加上升速度较快。相同浓度条件下,NaCl 处理的盐害指数均低于 Na₂SO₄,且两者之间差异性均达到了显著水平。除 50 与 150 mmol/L 处理外,其余

处理间盐害指数差异性均达到极显著水平。这表明低浓度(≤ 100 mmol/L)盐分处理对光果甘草种子萌发具有一定的促进作用,且 NaCl 的促进作用强于 Na₂SO₄;而高浓度(≥ 150 mmol/L)的盐分胁迫会抑制种子萌发,且 Na₂SO₄ 的抑制作用强于 NaCl。

3 讨论

本研究结果表明,尽管选用的是发育相对完好且颗粒饱满的种子,但不同温度和盐分处理下最终发芽率最高只有 45%,远低于正常环境条件下光果甘草种子的发芽率^[19-20]。这主要是由于试验所用种子采集于塔克拉玛干沙漠研究站,该研究站地处极为干旱的塔克拉玛干沙漠腹地,且所有植物均采用高矿化度咸水灌溉。咸水灌溉再加上极端干旱的气候条件对绝大部分植物来说都是一个严重胁迫的环境,这样的环境条件势必对植株的生殖过程,特别是种子发育程度产生重要影响^[5]。甘草种子萌发和生长对于不同盐渍生境的响应差异性很大^[21],在甘草种植过程中需要考虑灌溉水和土壤的盐分含量及离子组成,根据离子特征选择适宜的甘草品种进行种植。而甘草种子对不同盐渍环境的响应及作用机制需做进一步研究,以指导甘草产业的规模化发展。

3.1 温度对光果甘草种子萌发的影响

温度是种子萌发的一个重要影响因素,适宜温度有利于种子的萌发。植物种子萌发过程需要一个最适温度,有些种子萌发的最佳温度是一个定值^[22-23],而有些种子则是一个固定的温度范围^[24-25]。本研究结果表明,光果甘草种子的萌发温度范围比较广,在 15~35 ℃ 条件下均可以萌发,其中 30 ℃ 为其最适温度,25 ℃ 为亚适宜温度。过低或过高的温度会延缓光果甘草种子的萌发进程,降低种子的发芽率,在非最适温度条件下种子虽然能够萌发,但其活力指数会受到很大影响,35 ℃ 下种子甚至出现了发霉腐烂的现象。在甘草种植过程中,若进行室内幼苗培育,需有效控制温度条件,尽量控制在 30 ℃ 这一最适温度。而在大田条件下,需综合考虑环境温度,选择适宜的温度条件进行播种,以提高其发芽率和出苗整齐度。

3.2 盐分对光果甘草种子萌发的影响

盐分胁迫是盐碱环境下限制植物生长发育的最主要逆境因素之一^[14],其对植物的主要危害方式是离子毒害、渗透胁迫和由此引起的养分亏缺^[26-27]。盐碱胁迫下,植物种子通过提高自身保护酶活性、增

加体内渗透调节物质等来抵抗逆境,降低盐碱胁迫对种子萌发及生长的伤害^[18,28]。刘广明等^[19]、陆嘉惠等^[29]对不同种类甘草种子以及胡生荣等^[12]对无芒雀麦种子的研究结果均表明,种子的发芽率随着盐分浓度的升高而逐渐降低,与本研究中光果甘草种子发芽率随盐分浓度的增加呈先增加后降低的结果不一致。而且胡生荣等^[12]的研究结果还表明,NaCl 对种子的毒害作用强于 Na₂SO₄,这与本研究结果相反。因此可知,不同种子对盐分胁迫的响应存在很大差异,光果甘草种子具有较强的抗盐性。在低浓度(≤100 mmol/L)NaCl 和 Na₂SO₄ 处理下,光果甘草种子的各发芽指数均明显优于对照,且 NaCl 的促进作用强于 Na₂SO₄;在高浓度(≥150 mmol/L)条件下,NaCl 溶液处理的种子发芽指数均高于 Na₂SO₄,表明高浓度 Na₂SO₄ 对种子萌发的抑制作用强于 NaCl。可能是由于同样浓度下 Na₂SO₄ 溶液中的 Na⁺ 浓度是 NaCl 的 2 倍所致。

综上所述,通过对不同温度和不同浓度 2 种中性盐处理下光果甘草种子各项萌发指标的研究表明,其最适萌发温度为 30 ℃,亚适宜温度为 25 ℃;光果甘草种子萌发过程中具有较强的耐盐性,低浓度的盐分处理有助于其萌发,其最适萌发盐分浓度为 100 mmol/L,且低浓度 NaCl 的促进作用优于 Na₂SO₄,≥150 mmol/L Na₂SO₄ 的抑制作用强于 NaCl。但对于光果甘草的耐盐机制,特别是盐分胁迫对其根系生长发育的影响,还有待于做进一步研究。光果甘草在种子萌发期具有一定的抗盐碱能力,但还有待于进一步的大田试验进行检验,使其在盐碱地区和应用咸水灌溉的区域进行大面积推广种植,以有效利用盐碱土地资源和保护区域生态环境。

志 谢:中国科学院塔克拉玛干沙漠研究站全体工作人员在种子采集过程中提供了帮助,在此表示感谢。

[参考文献]

[1] 米吉提·胡达拜尔地,徐建国. 新疆高等植物检索表 [M]. 乌鲁木齐:新疆大学出版社,2000:246-266.
Mijiti H,Xu J G. Keys of higher plants in Xinjiang [M]. Urumqi:Xinjiang University Press,2000:246-266.

[2] 张 继,姚 健,丁 兰,等. 甘草的利用研究进展 [J]. 草原与草坪,2000(2):12-17.
Zhang J,Yao J,Ding L,et al. Advancement of research on the utilization of *Glycyrrhiza* [J]. Grassland and Turf,2000(2):12-17.

[3] 李学斌,陈 林,李国旗,等. 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响 [J]. 生态学报,2013,33(13):

3995-4001.

Li X B,Chen L,Li G Q,et al. Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas [J]. Acta Ecologica Sinica,2013,33(13):3995-4001.

[4] 中华人民共和国药典委员会. 中华人民共和国药典(一部) [M]. 北京:人民卫生出版社,1990:71.
Pharmacopoeia Commission of People's Republic of China. Pharmacopoeia of People's Republic of China; I [M]. Beijing: People's Health Publishing House,1990:71.

[5] 张建国,徐新文,雷加强,等. 塔克拉玛干沙漠腹地引种植物适应性评价指标体系的构建与应用 [J]. 自然资源学报,2009,24(5):849-858.
Zhang J G,Xu X W,Lei J Q,et al. Research on construction and application of adaptability evaluation indicator system of introduced plants in the hinterland of Taklimakan Desert [J]. Journal of Natural Resources,2009,24(5):849-858.

[6] 史 薇,徐海量,赵新风,等. 胀果甘草种子萌发对干旱胁迫的生理响应 [J]. 生态学报,2010,30(8):2112-2117.
Shi W,Xu H L,Zhao X F,et al. Physiological and biochemical responses to drought stress during seed germination of *Glycyrrhiza inflata* [J]. Acta Ecologica Sinica,2010,30(8):2112-2117.

[7] 田长彦,周宏飞,刘国庆. 21 世纪新疆土壤盐渍化调控与农业持续发展研究建议 [J]. 干旱区地理,2000,23(2):177-181.
Tian C Y,Zhou H F,Liu G Q. The proposal on control of soil salinizing and agricultural sustaining development in 21's century in Xinjiang [J]. Arid Land Geography,2000,23(2):177-181.

[8] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望 [J]. 土壤学报,2008,45(5):837-840.
Yang J S. Development and prospect of the research on salt affected soils in China [J]. Acta Pedologica Sinica,2008,45(5):837-840.

[9] Niknam S R,McComb J. Salt tolerance screening of selected Australian woody species-a review [J]. Forest Ecology and Management,2000,139:1-19.

[10] Pujol J A,Calvo J F,Ramírez-Díaz L. Recovery of germination from different osmotic conditions by four Halophytes from Southeastern Spain [J]. Annals of Botany,2000,85:279-286.

[11] Dodd G L,Donovan L A. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs [J]. American Journal of Botany,1999,86(8):1146-1153.

[12] 胡生荣,高 永,武 飞,等. 盐胁迫对两种无芒雀麦种子萌发的影响 [J]. 植物生态学报,2007,31(3):513-520.
Hu S R,Gao Y,Wu F,et al. Effect of salt stress on germination of *Bromus stamineus* and *Bromus inermis* CV. Xilinguole [J]. Journal of Plant Ecology,2007,31(3):513-520.

[13] Shannon M C,Grieve C M. Tolerance of vegetable crops to salinity [J]. Scientia Horticulturae,1999,78:5-38.

[14] 赵可夫,范 海. 盐生植物及其对盐渍生境的适应生理 [M]. 北京:科学出版社,2005:35-50.

- Zhao K F, Fan H. Halophytes and their physiological adaptation to saline habitats [M]. Beijing: Science Press, 2005: 35-50.
- [15] Li L, Zhang X, Runge M, et al. Responses of germination and radicle growth of two *Populus* species to water potential and salinity [J]. Forestry Studies in China, 2006, 8(1): 10-15.
- [16] 周璐璐, 伏兵哲, 许冬梅, 等. 盐胁迫对沙芦草萌发特性影响及耐盐性评价 [J]. 草业科学, 2015, 32(8): 1252-1259.
- Zhou L L, Fu B Z, Xu D M, et al. Effects of salt stress on germination characteristics of *Agropyron mongolicum* and salt-tolerance evaluation [J]. Pratacultural Science, 2015, 32(8): 1252-1259.
- [17] 张建国, 徐新文, 雷加强, 等. 咸水滴灌对沙漠公路防护林土壤环境的影响 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 34-39.
- Zhang J G, Xu X W, Lei J Q, et al. Effect of drip-irrigation with salinity water on soil environment of the Tarim Desert highway shelterbelt [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(10): 34-39.
- [18] 李志萍, 张文辉, 崔豫川. NaCl 和 Na₂CO₃ 胁迫对栓皮栎种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35(3): 742-751.
- Li Z P, Zhang W H, Cui Y C. Effects of NaCl and Na₂CO₃ stresses on seed germination and seedling growth of *Quercus variabilis* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 742-751.
- [19] 刘广明, 塔依尔, 杨劲松, 等. 中性盐胁迫对乌拉尔甘草种子萌发的影响研究 [J]. 土壤, 2011, 43(1): 135-139.
- Liu G M, Tayir, Yang J S, et al. Neutral salt stress impacts on seed germination of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch [J]. Soils, 2011, 43(1): 135-139.
- [20] 司马义·巴拉提, 伊力哈木·艾合买提, 马刘峰. NaCl 胁迫对光果甘草和苦豆子种子萌发的影响 [J]. 种子, 2012(3): 23-26.
- Ismayil B, Ilham A, Ma L F. Effect of NaCl press on seed germination of *Glycyrrhiza glabra* and *Sophora alopecuroides* [J]. Seed, 2012(3): 23-26.
- [21] 陆嘉惠, 吕新, 吴玲, 等. 三种药用甘草种子对盐渍环境的萌发响应及适宜生态种植区 [J]. 草业学报, 2013, 22(2): 195-202.
- Lu J H, Lü X, Wu L, et al. Germination responses of three medicinal licorices to saline environments and their suitable ecological regions [J]. Acta Pratacultuae Sinica, 2013, 22(2): 195-202.
- [22] Flannigan M, Woodward F. A laboratory study of the effect of temperature on red pine seed germination [J]. Forest Ecology and Management, 1993, 62(1): 145-156.
- [23] Grimstad S O, Frimanslund E. Effect of different day and night temperature regimes on greenhouse cucumber young plant production, flower bud formation and early yield [J]. Scientia Horticulturae, 1993, 53(3): 191-204.
- [24] Cony M A, Trione S O. Germination with respect to temperature of two *Argentinian prosopis* species [J]. Journal of Arid Environments, 1996, 33(2): 225-236.
- [25] Orozco-Almanza M S, León-García L P, Grether R, et al. Germination of four species of the genus *Mimosa* (Leguminosae) in semi-arid zone of central Mexico [J]. Journal of Arid Environments, 2003, 55(1): 75-92.
- [26] 赵可夫, 范海. 盐胁迫下真盐生植物与泌盐植物的渗透调节物质及其贡献的比较研究 [J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(2): 99-105.
- Zhao K F, Fan H. Comparative study on osmotic substances and their contributions to osmotic adjustment in eu-halophytes and recretohalophytes [J]. Chinese Journal of Applied Environmental Biology, 2000, 6(2): 99-105.
- [27] 郑青松, 刘玲, 刘友良, 等. 盐分和水分胁迫对芦荟幼苗渗透调节和渗透物质积累的影响 [J]. 植物生理与分子生物学报, 2003, 29(6): 585-588.
- Zheng Q S, Liu L, Liu Y L, et al. Effects of salt and water stress on osmotic adjustment and osmotic accumulation in *Al-oe vera* seedlings [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2003, 29(6): 585-588.
- [28] 王娟, 李德全. 逆境条件下植物体内渗透调节物质的积累与活性氧代谢 [J]. 植物学通报, 2001, 18(4): 459-465.
- Wang J, Li D Q. The accumulation of plant osmoticum and activated oxygen mentalism under stress [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2001, 18(4): 459-465.
- [29] 陆嘉惠, 吕新, 梁永超, 等. 新疆胀果甘草幼苗耐盐性及对 NaCl 胁迫的离子响应 [J]. 植物生态学报, 2013, 37(9): 839-850.
- Lu J H, Lü X, Liang Y C, et al. Salt tolerance of *Glycyrrhiza inflata* seedlings in Xinjiang and its ion response to salt stress [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2013, 37(9): 839-850.