

沙地云杉和青海云杉种子萌发和幼苗生长对干旱盐碱胁迫的响应

王 飞¹, 刘世增^{2*}, 刘有军², 李得禄²

(1 甘肃农业大学 林学院, 兰州 730070; 2 甘肃省治沙研究所, 兰州 730070)

摘 要: 利用控制实验研究了水分、盐分生态因子对沙地云杉和青海云杉种子萌发和幼苗生长的影响, 以探索沙地云杉和青海云杉种子对水分、盐分生态因子的适应性。结果表明: (1) 水分胁迫和盐分胁迫对沙地云杉和青海云杉种子萌发具有明显的抑制作用, 可显著的降低种子的发芽率, 两种云杉种子对水分胁迫的临界值和极限值分别是 -0.03 、 -0.15 MPa 和 -0.5 、 -0.58 MPa; 对盐分胁迫的临界值和极限值分别是 78 、 148 mmol/L 和 284 、 345 mmol/L; 其幼苗长度随着渗透势和 NaCl 浓度的增加而显著减小。(2) 沙地云杉和青海云杉种子恢复发芽率及恢复后的幼苗长度随着渗透势和 NaCl 浓度的增加先增加后减少。(3) 在相同的水势条件下, PEG 溶液比等渗的 NaCl 溶液对沙地云杉和青海云杉种子萌发具有更大的抑制作用, 种子萌发过程中渗透胁迫比离子毒害的抑制作用更大。研究发现, 沙地云杉和青海云杉种子对水分和盐分胁迫表现出不同程度的耐受性, 两者对盐分胁迫的忍耐能力超过对水分胁迫; 而且青海云杉种子比沙地云杉更耐旱、耐盐; 早期的低盐和充分的水分条件是沙地云杉和青海云杉存活的关键。

关键词: 沙地云杉; 青海云杉; 水分胁迫; 盐分胁迫; 发芽率

中图分类号: Q945.79

文献标志码: A

Response of *Picea mongolica* and *Picea crassifolia* Seed Germination and Seedling Growth to Drought and Salt Stress

WANG Fei¹, LIU Shizeng^{2*}, LIU Youjun², LI Delu²

(1 College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2 Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The adaptability of *Picea mongolica* and *Picea crassifolia* seeds to ecological factors was studied by the effects of water and salt stress on the germination characteristics and seedling growth. The results showed that: (1) The restriction of PEG-6000 and NaCl stress to seed germination and seedling growth of *P. mongolica* and *P. crassifolia* seeds were more significant ($P < 0.05$). The critical value and maximum value of water stress were -0.03 MPa, -0.15 MPa and -0.5 MPa, -0.58 MPa; the critical value and maximum value of salt stress were 78 mmol/L, 148 mmol/L and 284 mmol/L, 345 mmol/L. (2) After salt stress relieve, the recovery germination rate (RGR) decrease after increase first with the increase of osmotic potential and NaCl concentration. (3) At same water potential, the PEG-6000 solutions were inhibitorier than NaCl solutions to seed germination and seedling growth; the osmotic stress was the dominant restrain

收稿日期: 2014-06-11; 修改稿收到日期: 2014-09-25

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201104036); 甘肃省自然科学基金(1308RJYA091); 甘肃省科技基础条件平台荒漠植物种子标本室与冷藏库建设专项(12 07TTCA327)

作者简介: 王 飞(1987—), 女, 硕士, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: wangf660@126.com

* 通信作者: 刘世增, 男, 研究员, 博士, 主要从事荒漠化防治与沙区资源利用技术研究。E-mail: shzliu@126.com

factor and ionic toxic action was less than it. The research found that *P. mongolica* and *P. crassifolia* seeds showed certain tolerance to water and salt stress, their tolerant ability to salt stress was strong than to water stress. *P. crassifolia* seeds tolerant ability to salt and water stress was strong than that of *P. mongolica*; Low salinity and sufficient water supply are the most important for the survival of *P. mongolica* and *P. crassifolia* seeds.

Key words: *Picea mongolica*; *Picea crassifolia*; seed viability; water and salt stress; germination rate

沙地云杉(*Picea mongolica*)是松科云杉属常绿乔木,属中国的濒危植物,也是中国的特有树种之一^[1]。它的原始林在世界上仅分布于内蒙古森林草原的西线南段和浑善达克沙地东缘之间的白音敖包和白音格勒,分布范围较为狭窄(43°30′~43°36′N, 117°6′~117°16′E),形成了十分独特的森林草原景观。目前干旱半干旱区造林树种单一,对抗旱林种的筛选十分重要。由于沙地云杉耐寒、耐旱、耐瘠薄,且生长在沙地上,因此是中国西北干旱荒漠区防护林建设和防风固沙难得的优良树种,具有很高的开发利用价值,目前已经在中国“三北”防护林建设上应用,其发展前景广阔。

青海云杉(*Picea crassifolia*)为松科、云杉属常绿针叶乔木植物,是中国西北地区主要的森林树种之一^[2],分布于甘肃、青海、内蒙古、宁夏等省,生长于海拔 1 600~3 800 m 的地区,一般生于山地阴坡和半阴坡及潮湿谷地。生长缓慢,适应性强,可耐-30℃低温,耐旱,耐瘠薄,喜中性土壤,忌水涝,幼树耐阴,为浅根性树种,抗风力差。长期以来,青海云杉不但是用材树种,同时以其为主体的水源涵养林在涵养水源、调节径流、保持水土、净化空气和维持干旱区生态平衡方面起着重要作用。

种子萌发是植物生活史中的重要阶段^[3-6],决定着一些植物能否成功在干旱、盐渍环境中定居,而在干旱与半干旱地区土壤盐渍化对种子萌发具有干旱和盐渍严重双重效应^[7]。此外,水分是影响种子萌发的关键生态因子之一,特别是对干旱及半干旱区植物的影响尤为重要^[8]。迄今国内有关沙地云杉和青海云杉种子方面的研究主要集中在种子播种育苗技术方面^[9-14],而有关干旱盐碱胁迫对沙地云杉和青海云杉种子萌发影响的研究较少。因此,本实验通过测定沙地云杉和青海云杉在 NaCl 和 PEG-6000 模拟干旱胁迫条件下的种子萌发特征以及对幼苗生长的影响,研究沙地云杉和青海云杉种子的耐旱、耐盐特性,从而进一步揭示逆境胁迫下渗透胁迫和离子毒害对两者种子萌发抑制作用的贡献大小,并探讨其对生境的适应策略,以期为沙地云杉和

青海云杉在干旱区的推广应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

实验用沙地云杉种子采集于内蒙古白音敖包自然保护区,青海云杉种子采集于祁连山东段天祝县乌鞘岭自然保护区。2013 年 12 月选取成熟健康的种子作为试验材料。用 0.5% 的高锰酸钾溶液浸种 0.5 h 进行种子消毒后待用。

1.2 实验方法

1.2.1 种子萌发对水盐胁迫的响应 在光照培养箱内垫有 2 层滤纸的培养皿内进行,实验设置 4 次重复,每次重复 50 粒种子。实验在连续黑暗 25℃ 条件下进行,水分胁迫的试剂为 PEG-6000 溶液,设置浓度梯度的渗透势依次为 0、-0.3、-0.6、-0.9、-1.2、-1.5、-1.8、-2.1、-2.4 和 -2.7 MPa;盐分胁迫为 NaCl 溶液,设置浓度梯度依次为 0、50、100、150、200、250、300、350、400、450 mmol/L。在试验期间,用称重法来补充因蒸发而散失的水分,保持每个处理浓度的相对稳定。每天进行观测和记录,以胚根顶出种皮作为发芽标准,第 14 天对已经发芽的种子进行统计,移走已发芽的种子,对没有发芽的种子用蒸馏水冲洗 3~5 次,使种子表面的溶液冲洗干净后,放入培养皿中继续培养,6 d 后统计恢复萌发种子数。

1.2.2 测定指标与计算公式 在发芽第 14 天,从各重复中随机取出发芽种子测量幼苗长度,每个重复测定 5 株,分别将不同处理未发芽的种子用蒸馏水冲洗 3~5 次,然后放入培养皿中继续培养,6 d 后统计恢复发芽种子数及幼苗长度,计算相关的试验指标,包括发芽率(GR)、初始发芽率(IGR)、恢复发芽率(RGR),其计算公式如下:

$$\text{发芽率(GR)} = (n/N) \times 100\%$$

$$\text{初始发芽率(IGR)} = A/C \times 100\%$$

$$\text{恢复发芽率(RGR)} = B/C \times 100\%^{[15]}$$

$$\text{相对发芽率(RGR)} = D/E \times 100\%$$

式中, n 为供试种子发芽粒数, N 为供试种子总粒

数; C 为种子总数, A 为已经萌发的种子数, B 为恢复萌发种子数, D 为某处理的发芽率, E 为对照 0% (CK) 溶液下的发芽率。

1.3 数据处理

分别用 Excel 和 SPSS 11.5 统计分析软件对数据进行相应的回归分析、相关性分析、单因素显著性检验, 用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对沙地云杉和青海云杉种子萌发和幼苗生长的影响

2.1.1 初始发芽率 由表 1 可知, 不同的水分胁迫对沙地云杉和青海云杉种子萌发均有不同程度的抑制作用, 随着模拟干旱程度的加剧, 沙地云杉和青海云杉初始发芽率几乎都呈直线降低的趋势, 并均在渗透势为 -0.9 MPa 时降为 0%。经方差分析, 同浓度下沙地云杉和青海云杉的初始发芽率差异不显著 ($P>0.05$), 但两者的不同浓度处理之间差异极显著 ($P<0.01$)。两者初始发芽率都以对照最大, 分别为 59.0% 和 66.0%, 各个浓度处理的发芽率与

对照相比差异显著 ($P<0.05$)。进一步的回归分析表明, PEG-6000 渗透势与沙地云杉和青海云杉种子初始发芽率显著正相关 ($r=0.955, P<0.01; r=0.957, P<0.01$), 说明沙地云杉和青海云杉种子萌发与环境中的水分状况密切相关。令相对发芽率为 50% 和 25%, 分别计算出种子发芽水分胁迫浓度的临界值和极限值^[16]。由表 2 可知, 青海云杉的临界值和极限值都高于沙地云杉, 青海云杉耐旱性较强。

2.1.2 恢复发芽率 由表 1 知, 水分胁迫解除后, 沙地云杉和青海云杉种子的恢复发芽率随着渗透势的降低先增加后减少, 在 -0.9 MPa 时最高, 分别为 40.5% 和 35.5%; 沙地云杉种子的恢复发芽率高于青海云杉。在 PEG 溶液渗透胁迫条件下, 沙地云杉总的发芽率(初始发芽率和恢复发芽率之和) 在 $0\sim-0.9\text{ MPa}$ 之间时与对照相比差异不显著 ($P>0.05$), 而其他的渗透势下总的萌发与对照相比显著降低 ($P<0.05$), 说明沙地云杉种子在遭受轻度的水分胁迫时会停止萌发, 当胁迫解除后能很快的恢复萌发, 表现出一定适应干旱胁迫的能力; 虽然青海

表 1 PEG-6000 处理及复水对沙地云杉和青海云杉萌发的影响

Table 1 The effect of PEG-6000 treatment and covering water on seed germination of *P. mongolica* and *P. crassifolia*

渗透势 Osmotic potential/MPa	初始发芽率 Initial germination rate/%		恢复发芽率 Recovery germination rate/%		总发芽率 Total germination rate/%	
	沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	青海云杉 <i>P. crassifolia</i>	沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	青海云杉 <i>P. crassifolia</i>	沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	青海云杉 <i>P. crassifolia</i>
0	59.0±5.69a	66±1.41a	0.5±0.5d	0±0d	59.5±6.08a	66.0±1.44a
-0.3	37.0±7.94b	45±5.32b	14.5±4.57c	0.5±0.5d	51.5±10.18ab	45.5±5.56b
-0.6	11.5±1.71c	14±0.82c	29.0±5.45b	14.5±4.35c	40.5±5.5bc	28.5±4.99cd
-0.9	0d	0d	40.5±3.86a	35.5±5.12a	40.5±3.86bc	35.5±5.12bc
-1.2	0d	0d	28.5±1.71b	28.5±3.5ab	28.5±1.71cd	28.5±3.5cd
-1.5	0d	0d	28.5±6.08b	23.0±5.07bc	28.5±6.08cd	23.0±5.07cde
-1.8	0d	0d	20.0±3.56bc	19.0±4.12bc	20.0±3.56de	19.0±4.12de
-2.1	0d	0d	18.5±0.96bc	15.0±4.80c	18.5±0.96de	15.0±4.80de
-2.4	0d	0d	15.0±3.32c	15.0±4.65c	15.0±3.32de	15.0±4.65de
-2.7	0d	0d	11.0±1.73cd	11.0±4.51cd	11.0±1.73e	11.0±4.51e

注: 同列标有不同字母者表示处理间在 0.05 水平差异显著; 下同。
Notes: values within each column followed by different letters are significantly different at 0.05 level; The same as below.

表 2 沙地云杉和青海云杉种子初始发芽率(y)和 PEG-6000 浓度(x)关系分析结果

Table 2 The relationship between germination percentage of *P. mongolica* and *P. crassifolia* seeds and PEG-6000 concentration

植物 Species	相关系数 r	回归方程 Regression equation	PEG-6000 渗透势 PEG-6000 osmotic potential/MPa	
			临界值 Critical value	极限值 Maximum value
沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	0.955	$y=17.529x^2+64.451x+52.795(-2.7<x<0)$	-0.03	-0.50
青海云杉 <i>P. crassifolia</i>	0.957	$y=19.865x^2+73.414x+60.655(-2.7<x<0)$	-0.15	-0.58

云杉种子在胁迫解除后也能恢复萌发,但是其不同渗透势胁迫处理的总发芽率均显著低于对照($P<0.05$)。

2.1.3 幼苗长度 表 3 显示,随着水分胁迫的加重,沙地云杉和青海云杉种子的幼苗长度均呈下降的趋势,且各浓度处理与对照相比均差异显著($P<0.05$),说明各水分胁迫处理对幼苗生长造成了不同程度的抑制。水分胁迫解除后,沙地云杉和青海云杉幼苗长度随着渗透势的降低先增加后减少,并分别在 -0.9 MPa 和 -0.6 MPa 时达到最大,但是与对照相比均差异显著($P<0.05$),说明种子在遭受一定时间的水分胁迫后,条件改善后能够促进苗木快速生长,但是浓度高于 -1.2 Mpa 时又会逐渐降低。经方差分析,不管是在 PEG-6000 处理还是在复水后,青海云杉种子幼苗长度都显著大于沙地云杉($P<0.05$),说明青海云杉种子幼苗对水分胁迫的适应力比沙地云杉强。

2.2 盐分胁迫对沙地云杉和青海云杉种子萌发和幼苗生长的影响

2.2.1 初始发芽率 由表 4 可知,经过不同浓度的盐处理后,沙地云杉和青海云杉种子的初始发芽率均受到不同程度的抑制,且随着盐浓度的升高抑制程度逐渐加剧。经方差分析,沙地云杉和青海云杉初始发芽率在不同盐浓度处理间差异显著($P<0.05$)。沙地云杉和青海云杉初始发芽率分别在 200 mmol/L 和 300 mmol/L 盐浓度下急剧下降为 28% 和 27% ,说明青海云杉比沙地云杉耐盐性较强。与沙地云杉不同的是,青海云杉种子发芽率在 50 mmol/L NaCl 胁迫下最高,而在 NaCl 浓度高于 50 mmol/L 后急剧下降,即低盐浓度促进种子萌发,高盐浓度抑制种子萌发;在 50 mmol/L NaCl 胁迫下的发芽率与对照相比差异不显著($P>0.05$),高于 50 mmol/L NaCl 胁迫下的发芽率与对照相比差异显著($P<0.05$)。

表 3 PEG-6000 处理及复水对沙地云杉和青海云杉幼苗长度的影响
Table 3 The effect of PEG-6000 treatment and covering water on seedling length of *P. mongolica* and *P. crassifolia*

渗透势 Osmotic potential /MPa	幼苗长度 Seedling length/cm		恢复后幼苗长度 Recovery seedling length/cm	
	沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	青海云杉 <i>P. crassifolia</i>	沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	青海云杉 <i>P. crassifolia</i>
0	8.33±0.53a	8.55±0.41a	0.23±0.23c	0d
-0.3	2.98±0.56b	5.03±0.18b	1.83±0.39b	0.23±0.23d
-0.6	1.18±0.4c	2.08±0.3c	2.94±0.47a	5.14±0.97a
-0.9	0d	0d	3.39±0.40a	4.73±0.54a
-1.2	0d	0d	2.72±0.36a	3.37±0.37b
-1.5	0d	0d	2.63±0.42a	1.68±0.12c
-1.8	0d	0d	2.21±0.21b	1.66±0.21c
-2.1	0d	0d	1.95±0.3b	1.73±0.12c
-2.4	0d	0d	1.77±0.12b	1.96±0.24c
-2.7	0d	0d	1.66±0.27b	1.31±0.43cd

表 4 NaCl 处理及复水对沙地云杉和青海云杉萌发的影响
Table 4 The effect of NaCl treatment and covering water on seed germination of *P. mongolica* and *P. crassifolia*

渗透势 Osmotic potential/MPa	初始发芽率 Initial germination rate/%		恢复发芽率 Recovery germination rate/%		总发芽率 Total germination rate/%	
	沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	青海云杉 <i>P. crassifolia</i>	沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	青海云杉 <i>P. crassifolia</i>	沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	青海云杉 <i>P. crassifolia</i>
0	60.5±3.77a	59±5ab	0.67±0.5e	0d	61.17±3.88a	59±5a
50	53.0±4.8ab	61±3.11a	2±1.5e	0d	55±3.5a	61±3.11a
100	49.5±7.37ab	57.5±2.75abc	6±0.95bcd	1±0.58d	55.5±7.88a	58.5±2.87a
150	46±2.83b	55.5±4.27abc	5.33±1.29d	2.5±0.5d	51.33±2.89a	58±3.92a
200	28±6.68c	50±0.82bc	6±0.81cd	6.5±1.26cb	34±6.98b	56.5±1.26a
250	27±2.38c	47.5±2.36c	6.67±1.29abcd	5.5±0.5c	33.67±1.42b	53±2.38a
300	19±1.29cd	27±4.04d	7.33±1.25abcd	8±0.82b	26.33±1.5bc	35±4.44b
350	19±1.29cd	19±4.8d	8±0.96abc	12±0.82a	31±0.5bc	31±5.26b
400	13.5±0.96de	19±3.42d	10±0.81a	13±1.29a	26.5±1.26bc	32±2.52bc
450	6.5±0.5e	6.5±0.5e	10±0.96ab	11±1a	16.5±0.82c	17.5±0.96c

进一步回归分析表明,沙地云杉($r=-0.982$, $P<0.01$)和青海云杉($r=-0.950$, $P<0.01$)初始发芽率(y)与盐浓度(x)存在显著的负相关关系(表 5)。令相对发芽率为 50.0%和 25.0%,分别得到种子发芽率对盐胁迫浓度响应的临界值和极限值^[16],从中可知青海云杉的临界值和极限值都高于沙地云杉,从而进一步证明青海云杉耐盐性较强。

2.2.2 恢复发芽率 表 4 显示,盐胁迫解除后,沙地云杉种子恢复发芽率(RGR)随着盐处理浓度的增加而增大,最大值为 10%,而青海云杉种子恢复发芽率(RGR)随着盐分胁迫浓度的增加先增加后减少,并在 400 mmol/L NaCl 时达到最大值(13%)。沙地云杉和青海云杉种子恢复发芽率都比较低,这说明,盐胁迫对于种子造成较大伤害。在 NaCl 溶液渗透胁迫条件下,沙地云杉和青海云杉总的发芽率分别在 0~150、0~250 mmol/L 之间时与对照相比差异不显著($P>0.05$),而其他的渗透势下总的萌发与对照相比显著降低($P<0.05$),进一步说明青海云杉比沙地云杉种子的耐盐性强。

另外,与模拟干旱胁迫(表 4)相比,沙地云杉和青海云杉种子发芽率在遭受干旱胁迫后较盐胁迫更易恢复。可见,沙地云杉和青海云杉在进行引种驯化时,应尽可能避免盐分胁迫,否则将很难恢复。

2.2.3 幼苗长度 表 6 显示,沙地云杉和青海云杉的幼苗长度随着盐浓度的增加而减少,而盐胁迫解除后表现出随着盐浓度的增加先增加后减少的趋势,与 PEG-6000 处理及复水对其幼苗长度的影响的变化趋势相似。沙地云杉和青海云杉恢复后的幼苗长度最大值分别为 0.65 cm 和 1.30 cm,比水分胁迫解除后的更短。种子恢复后的活力是决定是否建植成功的因素之一,盐胁迫接触后沙地云杉和青海云杉种子虽然可以恢复萌发,但其形成的幼苗长度比水分胁迫短,生命力相对较弱。

2.3 沙地云杉和青海云杉种子萌发及幼苗生长在等渗透势水盐胁迫下比较

溶液的渗透势分别根据 PEG-6000 浓度与其渗透势的关系^[17]和 NaCl 浓度与其渗透势的关系^[18]确定,其中,200、250、400、450 mmol/L NaCl 分别与-0.9、-1.2、-1.8、-2.1 MPa 等渗。在渗透势为-0.9、-1.2、-1.8、-2.1 MPa 的 PEG-6000 和 NaCl 等渗溶液处理下,沙地云杉和青海云杉种子的初始发芽率、幼苗长度、恢复发芽率和恢复后的幼苗长度等发芽指标在两种溶液间差异显著($P<0.05$,表 7)。其中,在低于-0.9 MPa 渗透势的 NaCl 溶液中,沙地云杉和青海云杉种子仍能萌发而且幼苗长度为 0.1 cm,而在等渗的 PEG 溶液中,发

表 5 沙地云杉和青海云杉种子初始发芽率(y)和盐浓度(x)关系分析结果

植物 Species	相关系数 r	回归方程 Regression equation	盐浓度 Salt concentration/(mmol/L)	
			临界值 Critical value	极限值 Maximum value
沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	-0.982	$y=-0.121x+59.391(0<x<450)$	78	284
青海云杉 <i>P. crassifolia</i>	-0.950	$y=-0.127x+68.755(0<x<450)$	148	345

表 6 NaCl 处理及复水对沙地云杉和青海云杉幼苗长度的影响

Table 6 The effect of NaCl treatment and covering water on seedling length of *P. mongolica* and *P. crassifolia*

NaCl 浓度 NaCl concentration /(mmol/L)	幼苗长度 Seedling length/cm		恢复后幼苗长度 Recovery seedling length/cm	
	沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	青海云杉 <i>P. crassifolia</i>	沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	青海云杉 <i>P. crassifolia</i>
0	7.21±0.24a	8.20±0.69a	0.03±0.03c	0c
50	3.92±0.22b	5.99±0.33b	0.61±0.09a	0c
100	1.16±0.17c	2.26±0.17c	0.03±0.03c	0.05±0.03bc
150	0.62±0.08d	0.12±0.01d	0.16±0.05bc	1.30±0.41a
200	0.1±0e	0.1±0e	0.08±0.03c	1.21±0.12ab
250	0.1±0e	0.1±0e	0.11±0.01bc	0.88±0.20ab
300	0e	0.1±0e	0.65±0.20a	0.84±0.38ab
350	0e	0.1±0e	0.58±0.11a	0.65±0.27b
400	0e	0.1±0e	0.32±0.11b	0.12±0.01bc
450	0e	0.1±0e	0.27±0.08bc	0.10±0bc

表 7 等渗透势 PEG-6000 和 NaCl 胁迫对沙地云杉和青海云杉种子萌发及幼苗生长的影响

Table 7 The effect of same osmotic potential PEG-6000 and NaCl stress on *P. mongolica* and *P. crassifolia* seed and seedling growth

植物 Species	渗透势 Osmotic potential /MPa	初始发芽率 Initial germination rate/%	幼苗长度 Seedling length /cm	恢复发芽率 Recovery germination rate/%	恢复幼苗长度 Recovery seedling length/cm	
沙地云杉 <i>P. mongolica</i>	0	PEG	59.00±5.69a	8.33±0.53a	0.50±0.50e	0.23±0.23d
		NaCl	60.50±3.77a	7.21±0.24b	0.67±0.50e	0.03±0.03d
	-0.9	PEG	0d	0c	40.5±3.68a	3.39±0.40a
		NaCl	28.00±6.68b	0.1±0c	6.00±0.81d	0.08±0.03d
	-1.2	PEG	0d	0c	28.50±1.71b	2.72±0.36b
		NaCl	27.00±2.38b	0.1±0c	6.67±1.29d	0.11±0.01d
	-1.8	PEG	0d	0c	20.00±3.56c	1.95±0.30c
		NaCl	13.50±0.96c	0c	10.00±0.81d	0.32±0.11d
	-2.1	PEG	0d	0c	18.50±0.96c	2.21±0.21b
		NaCl	6.50±0.50cd	0c	10.00±0.96d	0.27±0.08d
青海云杉 <i>P. crassifolia</i>	0	PEG	66.00±1.41a	8.55±0.41a	0c	0e
		NaCl	59.00±5.00b	8.20±0.69a	0c	0e
	-0.9	PEG	0e	0b	35.50±5.12a	4.73±0.54a
		NaCl	50.00±0.82c	0.10±0b	6.50±1.26c	1.21±0.21cd
	-1.2	PEG	0e	0b	28.50±1.71a	3.37±0.37b
		NaCl	47.50±2.36c	0.10±0b	5.50±0.50c	0.88±0.2d
	-1.8	PEG	0e	0b	19.00±4.12b	1.66±0.21c
		NaCl	19.00±3.42d	0.10±0b	13.00±1.29bc	0.12±0.01e
	-2.1	PEG	0e	0b	15±4.80bc	1.73±0.12c
		NaCl	6.50±0.50e	0.10±0b	11±1.00bc	0.1±0e

芽率为 0。可见,在相同的水势条件下,PEG 溶液比等渗的 NaCl 溶液对种子萌发具有更大的抑制作用;同时,沙地云杉和青海云杉种子萌发过程中渗透胁迫比离子毒害的抑制作用更大。

3 讨 论

3.1 种子萌发对水分和盐分胁迫条件的反应

水分胁迫和盐分胁迫对植物种子的萌发具有明显的抑制作用,表现在降低种子的发芽率,推迟种子的初始萌发时间、延长种子的萌发时间等^[19-20]。本实验表明沙地云杉和青海云杉种子在水分胁迫和盐分胁迫下萌发均受到抑制,其抑制程度随着渗透压的增大而提高,说明溶液的低水势(即渗透效应)阻碍了种子的萌发,这与已有的其他盐生植物的报道是一致的^[21]。从研究结果来看,沙地云杉和青海云杉种子在低浓度盐 NaCl 溶液中的萌发状况明显好于低渗透势的 PEG-6000 溶液,尤其是在 50 mmol/L 盐溶液中,青海云杉种子发芽率高于对照,说明低浓度 NaCl 胁迫对于青海云杉种子萌发具有一定的促进作用,这与 Karimi^[22]研究结果相同。其主要原因可能是当种子刚接触到水分时,由于干种子细胞

膜系统不完整,细胞内的一些分子如可溶性糖、有机酸、氨基酸及无机离子会发生渗漏现象,随着吸涨种子细胞膜的修复,内部物质外渗逐渐减少,因此,低浓度盐溶液可以减轻蛋白含量较高、吸水能力较强的种子萌发过程中的吸涨损伤,促进种子萌发;此外,离子在低盐环境中渗入种子,使其内部渗透势降低,有助于加速水分的吸收。

水分胁迫和盐分胁迫解除后,沙地云杉和青海云杉种子的恢复发芽率都很低,仅沙地云杉在轻度水分胁迫后恢复发芽率较高而且与对照相比差异不显著($P>0.05$)。两云杉种子在 PEG 溶液中的恢复发芽率高于在 NaCl 溶液中的恢复发芽率。因此,在遭受盐分胁迫后,如果有强降雨,两者种子很难恢复。因此,对引种地的环境条件应特别注意,要采取人为措施避免沙地云杉和青海云杉在种子萌发期和幼苗生长期遭受盐分胁迫,否则会因环境条件不稳定而导致大量的死苗现象。

3.2 等渗透势条件下 PEG-6000 和 NaCl 溶液对种子萌发的影响

等渗透势 PEG-6000 和 NaCl 胁迫对植物种子的萌发有着不同的影响,PEG 溶液处理对种子萌发

的影响仅仅表现为渗透效应,而盐溶液的影响除了渗透效应还有离子效应,并且起主要抑制作用的是渗透效应,而不是离子效应^[23-24]。本试验中等渗的 NaCl 溶液处理的沙地云杉和青海云杉种子发芽率显著高于 PEG-6000 溶液处理,并且在低盐溶液中发芽率高于高盐溶液中的发芽率,这可能是因为盐溶液中,植物种子可能通过吸收溶液中的无机离子来调节细胞内溶液的浓度,以降低细胞水势和减少细胞质中的盐分,使其在盐胁迫中吸收水分和避免盐离子的毒害,从而有效地进行渗透调节以抵抗外界环境的盐胁迫,并且植物种子的这种渗透调节能力随着盐溶液浓度的增加而提高^[25]。而在 PEG-6000 溶液中的沙地云杉和青海云杉种子则难以实现上述目的,结果因失去渗透调节能力而遭受渗透胁迫的伤害。

综上所述,在干旱盐碱胁迫下,沙地云杉和青海云杉种子萌发和幼苗长度均受到伤害,但受到伤害的程度和耐旱耐盐的阈值不同,恢复发芽率及恢复后的幼苗长度对干旱盐碱胁迫的响应也有差异,本

研究仅从发芽率及幼苗长度等方面讨论两种云杉种子的抗旱耐盐特性,而关于沙地云杉和青海云杉抗旱耐盐机制仍需要进一步深入研究。

4 结 论

(1)沙地云杉和青海云杉种子在水分胁迫和盐分胁迫下萌发和幼苗长度均受到抑制,其抑制程度随着渗透压的增大而提高。两种云杉种子对水分胁迫的临界值和极限值分别是 -0.03 、 -0.15 MPa 和 -0.5 、 -0.58 MPa;对盐分胁迫的临界值和极限值分别是 78 、 148 mmol/L 和 284 、 345 mmol/L,相比较而言,青海云杉种子比沙地云杉更耐旱、耐盐。

(2)胁迫解除后,沙地云杉和青海云杉种子恢复发芽率及恢复后的幼苗长度随着渗透势和 NaCl 浓度的增加先增加后减少,两者在 PEG 溶液中的恢复发芽率高于在 NaCl 溶液中的恢复发芽率。

(3)在相同水势条件下,PEG 溶液比等渗的 NaCl 溶液对沙地云杉和青海种子萌发的抑制作用更大,起主要抑制作用的是渗透效应,而不是离子效应。

参考文献:

- [1] XU W D(徐文铎). *Picea mongolica* and *Picea mongolica* forest of Neimenggu[J]. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), 1983, 7(1): 1-7(in Chinese).
- [2] TOBE K, LI X, OITLASA I T. Seed germination and growth of a halophyte, *Kalidium capsicum* (Chenopodiaceae)[J]. *Annals of Botany*, 2000, 85: 391-396.
- [3] UNGAR I A. Seed Germination and Seed-bank Ecology in Halophytes[M]//KIGEL J, GALILI G. Seed Development and Germination. New York: Marcel Dekker, 1995: 599-628.
- [4] KHAN M A, SHEITH K H. Effects of different levels of salinity on seed germination and growth of *Capsicum annum*[J]. *Biologia*, 1996, 22: 15-16.
- [5] XIE D Y(谢德意), WANG H P(王惠萍), WANG F X(王付欣), et al. Cotton seed germination and seedling growth response to salt stress[J]. *Seed*(种子), 2000, 19(3): 10-13(in Chinese).
- [6] HAN D L(韩德梁), HAN L B(韩烈保), ZHOU X J(周晓静). The salt resistance research of alfalfa[J]. *Seed*(种子), 2008, 27(6): 1-4(in Chinese).
- [7] UNGARIA. Ecophysiology of Vascular Halophytes[M]. Boca Raton: CRC Press, 1991: 9-48.
- [8] LI X R(李新荣), ZHANG X SH(张新时). Biodiversity of shrub community in desert steppe and steppe desert on Erdos Plateau[J]. *Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1990, 10(6): 665-669(in Chinese).
- [9] LIU R F(刘瑞芬). The introduction test of *Picea mongolica*[J]. *Inner Mongolia Forestry Survey Design* (内蒙古林业调查设计), 2008, 31(6): 75-77(in Chinese).
- [10] ZHU G Q(朱国庆), LIU SH Z(刘世增), LI D L(李得禄), et al. Seed germination and seedling technique of *Picea mongolica*[J]. *Chinese Agriculture Science Bulletin* (中国农学通报), 2011, 27(6): 22-26(in Chinese).
- [11] BAI CH G(白长国), LI X D(李旭东), DUAN P SH(段佩山), et al. The research of afforestation technology of *Picea mongolica*[J]. *Inner Mongolia Forestry Science and Technology* (内蒙古林业科技), 2009, 35(2): 26-28(in Chinese).
- [12] HAI H(海虹), YAO W ZH(姚文章). The container seedling technique of *Picea crassifolia*[J]. *Anhui Agriculture Science Bulletin* (安徽农学通报), 2010, 16(10): 201-205(in Chinese).
- [13] GUO Y C(郭英措). Seedling technique of *Picea crassifolia*[J]. *Modern Agricultural Science and Technology* (现代农业科技), 2009, (18): 192-193(in Chinese).

- [14] ZHAO SH P(赵守平). The characteristics and seedling technique of the *Picea crassifolia* [J]. *Modern Agricultural Science and Technology* (现代农业科技), 2012, (6): 216—216 (in Chinese).
- [15] KHAN M A, UNGAR I A. Seed polymorphism germination response to Salinity stress *trianignlaris wild* [J]. *Botanical Gazette*, 1984, 145: 487—494.
- [16] LIU CH H(刘春华), SU J K(苏加楷), HUANG W H(黄文慧), *et al.* The salt resistance research of gramineae grass [J]. *China Grass* (中国草地), 1992, (6): 12—17 (in Chinese).
- [17] MICHEL B E, KAUFNANN M R. The osmotic potential of polyethy lene glycol 6000 [J]. *Plant Physiology*, 1973, 51: 914—916.
- [18] MICHEL B E, DAVID R. A computer program relating solute potential to solution composition for five solutes [J]. *Agronomy Journal*, 1995, 87: 126—130.
- [19] ZHANG J G(张景光), LI X R(李欣荣), WANG X P(王新平), *et al.* The dynamics research of 1a Gramineae species in fixed sand dunes of Shapotou [J]. *China Desert* (中国沙漠), 2001, 21(3): 232—235 (in Chinese).
- [20] SHEN Y Y(沈颖禹), WANG S M(王锁民), CHEN Y M(陈亚明). The effect of grass seed germination and restore response to salt stress [J]. *Journal of Grass Industry* (草业学报), 1999, 8(3): 54—60 (in Chinese).
- [21] ZHAO K F(赵可夫), FENG L T(冯立田), FAN H(范海). Seed dormancy, dormancy breaking and germination of hallophites [J]. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 1999, 16(6): 667—685 (in Chinese).
- [22] KARIMI G, GHORHANLI M, HEIDARI H, *et al.* The effects of NaCl on growth, water relations, osmolytes and ion content in *Kochia* [J]. *Biologia Plantarum*, 2005, 49: 301—304.
- [23] LI H Y(李海云), ZHAO K F(赵可夫), WANG X F(王秀峰). The inhibition of salinity on the germination of halophyte seeds [J]. *Journal of Shandong Agricultural University* (Nat. Sci. Edi.) (山东农业大学学报·自然科学版), 2002, 33(2): 170—173 (in Chinese).
- [24] HOU X G(侯旭光), ZHAO K F(赵可夫). Studies of mechanism of salt injuries in non-halophyte cotton and halophyte saltbush [J]. *Journal of Shandong Agricultural University* (Nat. Sci. Edi.) (山东农业大学学报·自然科学版), 1999, 34(2): 230—235 (in Chinese).
- [25] ZHANG H Y(张海燕), ZHAO K F(赵可夫). The osmotic regulation effect of *Suaeda* seedling response to water and salt stress [J]. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1998, 40(1): 56—61 (in Chinese).

新版《汉语拼音正词法基本规则》中人名地名的拼写规范

经国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会批准,新修订的《汉语拼音正词法基本规则》于2011年10月1日起实施。如何拼写汉语的人名地名,如何拼写汉语的数词、量词、连接词、形容词等,都有了“法定”规范。

1. 新版的《汉语拼音正词法基本规则》明确规定,姓名必须姓在前、名在后,复姓连写,姓和名首字母大写,双姓两个字的首字母都大写。如:Li Huá(李华)、Dōngfāng Shuò(东方朔)、Zhāng-Wáng Shūfāng(张王淑芳)。但人名与职务合写时,职务不得大写。如:Wáng bùzhǎng(王部长)、Lǐ xiānshēng(李先生)。

2. 地名中的专名和通名要分写,且首字母要大写。如:Běijīng Shì(北京市)。已专名化的地名和不需区分专名和通名的地名都应当连写。如:Heilóngjiāng(黑龙江)、Sāntányīnyuè(三潭印月)。

3. 与原先的《汉语拼音正词法基本规则》相比,新修订的规则增加了在某些场合专有名词的所有字母均可大写且不标声调的规定。如:WANGFUJINGDAJIE(王府井大街)。还比如,补充了“汉字数字用汉语拼音拼写、阿拉伯数字则仍保留阿拉伯数字写法”的规定。如:èr líng líng bā nián(二〇〇八年)、635 fēnjī(635分机)。

(南红梅 供稿)