

DOI: 10.5846/201802060323

刘有军, 刘世增, 康才周, 满多清. 两种云杉种子萌发和幼苗生长对环境因子的适应性. 生态学报, 2019, 39(2): - .

Liu Y J, Liu S Z, Kang C Z, Man D Q. Comparative adaptation of seed germination and seedling growth to environmental factors in two *Picea* plant species. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(2): - .

两种云杉种子萌发和幼苗生长对环境因子的适应性

刘有军, 刘世增*, 康才周, 满多清

甘肃省治沙研究所, 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室培育基地, 兰州 730070

摘要: 青海云杉是我国沙区通过种子育苗引种成功的物种。通过对不同储藏时间青海云杉和沙地云杉种子生活力测定、种子萌发对温度、光照、水盐胁迫以及幼苗生长对水盐胁迫和沙埋的响应实验, 比较两种种子萌发和幼苗生长对环境因子适应性, 为沙地云杉在我国沙区广泛引种提供参考。结果表明: 1) 在 2 年的储藏过程中, 沙地云杉和青海云杉种子生活力分别由 79% 和 72% 下降了 19% 和 5%; 2) 沙地云杉和青海云杉种子适宜萌发温度分别为 15—30℃ 和 10—30℃, 最适萌发温度分别为 25℃ (72%) 和 25/15℃ (69%), 除 10℃ 和 10/30℃ 外, 两种种子萌发率在各温度下没有显著差异; 3) 沙地云杉种子萌发光照条件为 14h 光照/8h 黑暗交替 (67%), 青海云杉为 24 h 光照 (61%) 或 24 h 黑暗 (61%); 4) 水势在 -2.7—0 MPa 时, 2 种云杉的 IGR (初始萌发率)、RGR (恢复萌发率)、ISL (初始幼苗长度) 和 RSL (恢复幼苗长度) 均没有显著差异; 5) NaCl 浓度在 200 mmol/L 和 250 mmol/L, 青海云杉种子 IGR 显著大于沙地云杉, NaCl 浓度在 0—450 mmol/L, 青海云杉和沙地云杉种子 RGR 没有显著差异, 当 NaCl 浓度为 50 mmol/L 和 100 mmol/L, 青海云杉 ISL 显著大于沙地云杉; 6) 在 0.5—2.0 cm 沙埋深度时, 青海云杉出苗率显著高于沙地云杉, 沙地云杉最适沙埋深度 0.5 cm, 青海云杉为 0.5—1.5 cm。因此, 青海云杉种子萌发和幼苗生长比沙地云杉有更强的环境适应性, 但只要采取合理的播种时间、播种深度和水分管理等措施, 沙地云杉会和青海云杉一样在我国沙区大面积引种育苗。

关键词: 沙地云杉; 青海云杉; 种子萌发; 幼苗生长; 环境因子; 适应性

Comparative adaptation of seed germination and seedling growth to environmental factors in two *Picea* plant species

LIU Youjun, LIU Shizeng*, KANG Caizhou, MAN Duoqing

Gansu Desert Control Research Institute, State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Lanzhou 730070, China

Abstract: *Picea crassifolia* is a species that has been successfully and widely introduced by raising seedlings in the desert areas of North China. This study was conducted to compare the adaptations between *P. crassifolia* and *P. mongolica* in seed germination to temperature, light conditions, water, and salt stress and seedling growth to water and salt stress and sand burial. Moreover, seed viability was also tested by TTC and compared in two plant species after being stored for two years in their habitats. The results showed that: (1) The seed viability of *P. mongolica* and *P. crassifolia* decreased from 79% and 72% to 19% and 5%, respectively, during the course of seed storage for two years in their habitats. (2) The temperatures for germination in *P. mongolica* and *P. crassifolia* were 15—30℃ and 10—30℃, respectively, and the optimal temperatures were 25℃ (72%) and 25/15℃ (69%), respectively. Instead of 10℃ and 10/30℃, there were no significant differences between the germination rate of the two species in other temperatures. (3) The optimal light conditions for germination were 14 h light/ 8 h dark (67%) in *P. mongolica*, whereas they were 24 h light or 24 h dark in *P. crassifolia*. (4) There were no significant differences in IGR (Initial Germination Rate), RGR (Recovery Germination

基金项目: 林业公益性行业专项 (201104036); 甘肃省基础研究创新群体 (1506RJIA155)

收稿日期: 2018-02-06; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shzliu@126.com

Rate), ISL (Initial Seedling Length), and RSL (Recovery Seedling Length) between *P. mongolica* and *P. crassifolia* at a water potential from -2.7 MPa to 0 MPa. (5) When the concentration of NaCl was 220 mmol/L and 250 mmol/L, the IGR of *P. crassifolia* was higher than that of *P. mongolica*, whereas the RGR was not significantly different at NaCl concentrations from 0 to 450 mmol/L. The ISL of *P. crassifolia* was significantly higher than that of *P. mongolica* at the NaCl concentration of 50 mmol/L and 100 mmol/L. (6) Seedling emergence in *P. crassifolia* was significantly higher than that of *P. mongolica* at sand burial depths from 0 to 2.0 cm. The optimal sand burial depth was 0.5 cm in *P. mongolica* and 0.5 — 1.5 cm in *P. crassifolia*. Therefore, *P. crassifolia* has stronger adaptations than *P. mongolica* in seed germination and seedling growth. If the effective measures (sowing time, sowing depth, and moisture management, etc.) in the course of raising seedlings are taken, then *P. mongolica* will be introduced widespread and raised from seedlings in the desert areas of North China.

Key Words: *P. crassifolia*; *P. mongolica*; seed germination; seedling growth; environmental factors; adaptability

种子是植物抵抗不良环境能力最强的时期^[1],而种子萌发和幼苗生长是种子完成生活史过程中最脆弱时期^[2],也是植物体重建至关重要的阶段^[3-4],同时对植物的繁殖及种群持续、扩繁和恢复有着重要意义^[5]。种子萌发和幼苗生长也是植物引种和育苗的前提和主要环节,在此过程中,种子萌发和幼苗生长对引种区温度、光照、水盐胁迫和沙埋忍受能力对引种和育苗技术的制定具有重要指导意义。种子生活力和萌发能力直接影响着播种量大小。同属不同物种由于栖息地环境因子差异,种子萌发和幼苗生长对环境因子生态适应性不一样,这些差异使得对它们对引种区环境因子要求不同,从而可能会对育苗期间操作技术产生较大影响。

青海云杉(*Picea crassifolia*)和沙地云杉(*Picea mongolica*)为松科、云杉属 2 种主要物种,其天然分布区差别较大。青海云杉分布于我国的青海、甘肃、宁夏和内蒙古等省区($98^{\circ}40'$ — $112^{\circ}30'E$, $32^{\circ}40'$ — $41^{\circ}30'N$),集中于海拔 1600 — 3800 m 的阴坡、半阴坡,是我国西北主要的森林树种之一^[6]。青海云杉喜寒冷潮湿环境,能忍耐干冷气候,在涵养水源、水土保持等方面作用极强。因此,在我国西北干旱区被广泛引种和栽培,在荒漠化防治中起到了重要作用。沙地云杉是一种四季常绿濒危植物,也是我国特有树种之一^[7]。其天然林在世界上仅仅分布于内蒙古森林草原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($117^{\circ}6'$ — $117^{\circ}16'E$, $32^{\circ}40'$ — $41^{\circ}30'N$),形成了十分独特的森林草原景观。由于沙地云杉耐寒、耐旱、耐瘠薄且生长在固定沙地上,因此,在我国西北沙区引种和繁育具有很好的前景。

目前,沙地云杉仅在辽宁章古台和甘肃民勤等地引种成功。为了进一步扩大引种范围,使其在我国西北沙区防风固沙和水土保持等方面发挥更为广泛作用。以我国已经广泛引种栽培的同属植物青海云杉作为对照,采集沙地云杉和青海云杉天然分布区种子,通过种子生活力测定,影响引种和育苗关键环节因子如温度、光照、水盐胁迫和沙埋响应实验,比较两种云杉种子生活力以及种子萌发和幼苗生长对环境因子适应性差异,通过种子完成生活史过程中对环境因子耐受最弱时期(种子萌发和幼苗生长)对环境因子的要求,探索沙地云杉在我国沙区扩大引种范围可行性。

1 种子采集

2014 年 10 月,青海云杉种子采集于天柱县青海云杉自然保护站,在青海云杉的自然种群内选择 20 株成年株,当种子成熟时,分别从青海云杉的不同部位采集球果,在露天日晒脱粒,然后混合在一起,在自然条件下风干,取出杂质,一部分埋在原产地 1 — 2 cm 土层中,2016 年的 10 月取出带回实验室,另一部分直接带回实验室保存备用。

2014 年 9 月,在白音敖包国家自然保护区($43^{\circ}30'$ — $43^{\circ}36'N$, $117^{\circ}6'$ — $117^{\circ}16'E$)沙地云杉的自然群落内选择具有代表性植株 20 株,当种子成熟时,首先从所选植株的不同部位随机采集球果,在露天日晒脱粒,然后将种子混合在一起,在自然条件下风干并除杂,一部分埋在原产地 1 — 2 cm 土层中,2016 年的 10 月取出带

回实验室,另一部分直接带回实验室保存备用。

2 试验方法

2.1 两种云杉种子生活力测定

参照 TTC 法,随机地数取 2014 和 2016 年的青海云杉和沙地云杉种子各 400 粒,采用 4 次重复,每次重复 100 粒种子,首先将种子在 25℃ 的清水中浸泡 24 h,取出用刀片划破种皮(以不伤害胚为标准),然后将其浸泡在温度 35℃、浓度 0.1% 红四氮唑溶液 24 h,取出后进行种子解剖,种胚染成红色的视为有生活力,相反没有生活力。

2.2 两种种子萌发对温度和光照响应

温度实验在 24 h 黑暗的光照培养箱中进行,采用 4 次重复,每次实验种子数量为 50 粒。相对湿度为 50%。温度为恒温 5、10、15、20、25、30℃ 和变温 25℃/15℃、25℃/10℃、30℃/10℃(其中,高温为 8 h,低温为 16 h)。光照实验温度为 25℃,光照强度为 3000 lx,光照条件为 24 h 黑暗(D)、24 h 光照(L)和 16 h 光照/8 h 黑暗(B)。胚根突破种皮 1 mm 视为种子萌发^[8],每天统计种子萌发数量,连续 3 d 种子不萌发视为萌发结束,实验周期为 20 d。

2.3 两种种子萌发和幼苗生长对水盐胁迫的响应

实验采用 4 次重复,每次实验种子数量为 50 粒,在 24 h 黑暗的光照培养箱中进行,温度为 25℃,相对湿度 50%。水分胁迫和盐分胁迫实验分别采用等渗透势 PEG-6000 和 NaCl 作为模拟胁迫试剂,PEG-6000 水势为 0、-0.3、-0.6、-0.9、-1.2、-1.5、-1.8、-2.1、-2.4 MPa 和 -2.7 MPa。NaCl 浓度为 0、50、100、150、200、250、300、350、400 mmol/L 和 450 mmol/L。当种子萌发 14 d 时,取出种子进行种子萌发数统计和幼苗长度测量,统计后去掉萌发种子,将未萌发的种子用蒸馏水冲洗 3—5 次,同时清洗培养皿内残留试剂,洗干净后将未萌发的种子重新放回培养皿并继续培养 7 d,然后取出统计种子萌发数和测量幼苗长度。

2.4 沙埋对两种云杉种子出苗率的影响

2014 年 5 月份在甘肃省治沙研究所的沙生植物园的苗圃内进行,均匀地将种子撒播在上口直径 25 cm,下口直径 20 cm,高 18 cm 的塑料花盆内,设置 0.5、1.0、1.5 cm 和 2.0 cm 4 个沙埋深度,每个深度 4 次重复,每次实验种子数量为 50 粒,在每个花盆里装入等量的沙壤土,土装到花盆 3/4 处即可;花盆放在长方形的土坑内,周围用沙土填平,花盆内外保持土面一致,每天浇水 200 mL 以保持发芽湿度,每 2 d 统计一次出苗数,实验持续 20 d,试验期间沙土面温度保持在 15—35℃。

2.5 数据处理与分析

本文观测和统计数据有不同温度和光照条件下 2 种云杉种子萌发率和萌发指数,水盐胁迫下 2 种云杉种子初始萌发率和恢复萌发率以及沙埋条件下出苗率。数据分析之前对萌发率和出苗率数据进行反正弦转换使其服从正态分布。采用单因素方差分析的方法分析不同温度、光照、水盐胁迫对 2 种云杉种子萌发率影响以及不同沙埋深度对出苗率的影响;在 95% 的水平上,采用新复极差法比较了不同温度、光照、水盐胁迫下 2 种云杉种子萌发率和不同沙埋深度下出苗率平均数差异;采用独立样本 T 测验,比较 2 种云杉在同一处理同一水平下平均数差异。所用参数计算公式如下:萌发率(Germination Rate, GR) = $(n/N) \times 100$ (式中, n 代表已萌发种子数, N 代表种子总数),萌发指数(Germination Rate Index, GRI) = $\sum G_x/x$ (式中, G_x 代表时间 x 日的发芽数, x 为相应的萌发天数)^[8],初始萌发率(Initial Germination Rate, IGR) = $A/C \times 100$ (式中, C 代表初始萌发种子数, A 代表种子总数),恢复萌发率(Recovery Germination Rate, RGR) = $B/C \times 100$ (式中, B 代表恢复萌发种子数, C 代表种子总数)^[9]。相应地,初始幼苗长度(Initial Seedling Length, ISL)代表测定 IGR 时的幼苗长度,恢复幼苗长度(Recovery Seedling Length, RSL)代表测定 RGR 时的幼苗长度,

3 结果与分析

3.1 两种云杉种子生活力比较

图 1 所示,青海云杉种子生活力为 72%,沙地云杉为 79%,且沙地云杉显著高于青海云杉($P<0.05$)。储藏 2 年后青海云杉种子生活力为 67%,沙地云杉为 60%,青海云杉下降 5%,沙地云杉下降 19%。

3.2 温度和光照对两种云杉种子萌发影响

图 2 所示,温度极显著地影响着两种云杉种子萌发率($P<0.01$),青海云杉种子能够萌发的恒温为 10—30℃,且在变温 25/15℃、25/10℃、30/10℃ 萌发率均高于恒温的萌发率,最适种子萌发温度为 25/15℃,萌发率为 72%,而在 25℃ 萌发速率最快,萌发率为 67%;沙地云杉种子能够萌发恒温为 15—30℃,最适萌发温度为 20℃ 和 25℃,萌发率均为 69%,而在 25℃ 萌发速率最快,萌发率为 67%;青海云杉和沙地云杉相比,除 20℃ 和 25℃ 外,青海云杉种子萌发率均高于沙地云杉,但仅在温度 10℃、30℃ 和 30/10℃ 差异显著($P<0.05$)。除了 5℃ 和 10℃ 外,青海云杉在各温度下种子萌发速度显著高于沙地云杉($P<0.05$)。

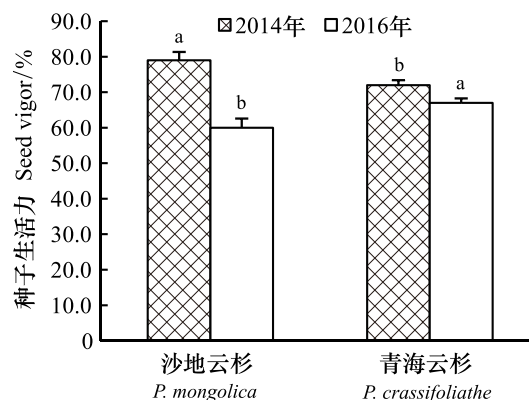


图 1 储藏 2 年后两种云杉种子种子生活力的变化

Fig. 1 Seed viability changes of two *Picea* after stored for two years

沙地云杉: *P. mongolica*; 青海云杉: *P. crassifoliathe*; 图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)

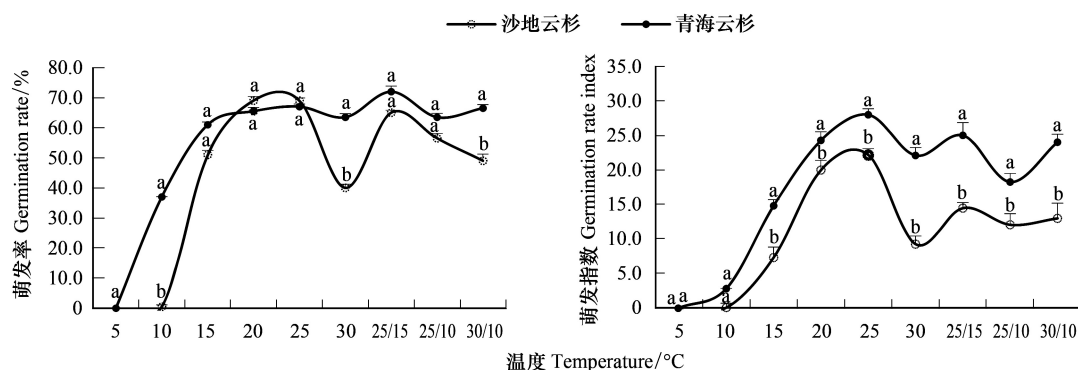


图 2 不同温度下两种云杉种子萌发

Fig. 2 Seed germination of two *Picea* at the different temperatures

图 3 所示,光照对青海云杉种子萌发率的影响显著($P<0.05$)而对种子萌发速率影响不显著($P>0.05$),光照对沙地云杉的种子萌发率影响不显著($P>0.05$)而对种子萌发速率的影响显著($P<0.05$),沙地云杉在光照/黑暗下种子萌发率极显著高于青海云杉($P<0.01$),而在全黑暗和全光照条件下萌发速率极显著低于青海云杉($P<0.01$)。

3.3 盐分胁迫对两种云杉种子萌发影响

图 4 所示,沙地云杉和青海云杉均随着 NaCl 浓度增加,IGR 极显著下降($P<0.01$),RGR 极显著增加($P<0.01$),且在 NaCl 浓度 0—450 mmol/L 时,沙地云杉和青海云杉种子都能萌发,盐分胁迫解除后也能不同程度的恢复。当 NaCl 浓度在 50—450 mmol/L 时,青海云杉 IGR 大于沙地云杉,但仅在 NaCl 浓度 200 mmol/L 和 250 mmol/L 时差异显著($P<0.05$),而在 NaCl 浓度 0—200 mmol/L 时,沙地云杉 RGR 大于青海云杉,当 NaCl 浓度大于 300 mmol/L 时,青海云杉 RGR 大于沙地云杉,但这些差异均不显著($P>0.05$),这表明青海云杉和沙地云杉种子萌发对盐分胁迫的耐受能力没有显著差异,同时,随着 NaCl 浓度的增加,青海云杉和沙地云杉

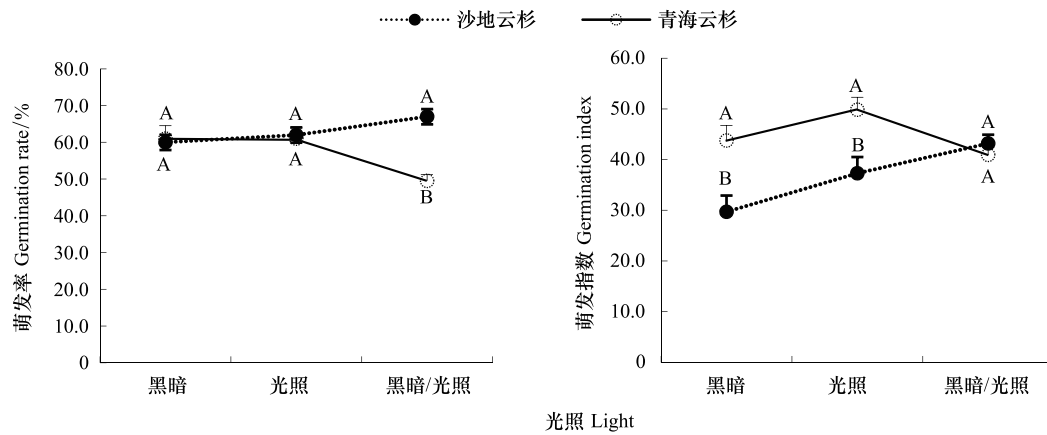


图3 不同光照下两种云杉种子萌发

Fig.3 Seed germination of two *Picea* at the different light conditions不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P < 0.01$)

ISL 极显著降低 ($P < 0.05$), RSL 极显著增加 ($P < 0.05$), 当 NaCl 浓度大于 150 mmol/L 和 200 mmol/L, 青海云杉和沙地云杉幼苗生长完全抑制。当 NaCl 浓度为 50 mmol/L 和 100 mmol/L, 青海云杉 ISL 极显著高于沙地云杉 ($P < 0.01$), 当 NaCl 浓度在 0—200 mmol/L, 青海云杉和沙地云杉 RSL 没有显著差异 ($P > 0.05$), 而当 NaCl 浓度大于 200 mmol/L 时, 青海云杉 RSL 显著大于沙地云杉 ($P < 0.05$), 但幼苗长度在 0.65—1.30 cm 之间, 恢复能力差。

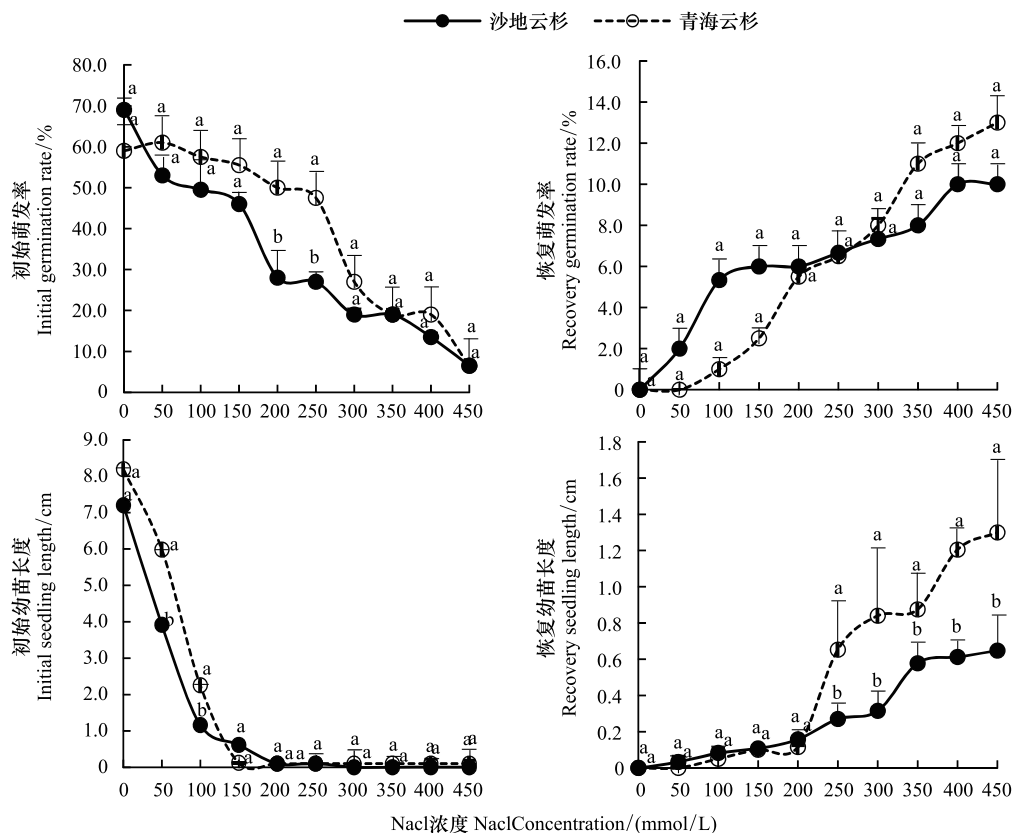


图4 不同盐分胁迫下两种云杉种子萌发和幼苗生长

Fig.4 Seed germination and seedling growth of two *Picea* at the different salt stress

3.4 水分胁迫对青海云杉和沙地云杉种子萌发影响

图 5 所示,两种云杉均随着 PEG-6000 浓度增加,IGR 极显著下降($P<0.05$),RGR 先极显著增加后下降($P<0.05$)。当 PEG-6000 浓度小于 -0.9 MPa,IGR 均为 0,当 PEG-6000 浓度大于 -0.9 MPa,青海云杉的 IGR 大于沙地云杉,但差异不显著($P>0.05$);RGR 随着 PEG-6000 浓度的增加而减小,当 PEG-6000 浓度小于 -0.9 MPa,RGR 随着 PEG-6000 浓度的减小而减小,青海云杉和沙地云杉 RGR 最大值为 40.5%和 35.5%。尽管 PEG-6000 浓度在 $-2.7—0$ MPa 的变化范围内青海云杉的 RGR 低于沙地云杉,但差异不显著($P>0.05$)。表明两种云杉种子萌发在忍受水分胁迫方面显著不差异。两种云杉在遭受 PEG-6000 胁迫后,ISL 随着胁迫浓度的增加均呈极显著下降趋势($P<0.05$),且沙地云杉在 -0.9 MPa 时,ISL 为 0 cm,青海云杉在 -1.2 MPa 时,ISL 为 0 cm,而 RSL 均随着 PEG-6000 胁迫浓度增加,呈现先增加后下降趋势,沙地云杉在 -0.9 MPa 时达到了最大长度 3.39 cm,青海云杉在 -0.6 MPa 时达到了最大长度 5.14 cm。虽然 PEG-6000 在 $-2.7—0$ MPa,青海云杉的 ISL 高于沙地云杉,但差异不显著($P>0.05$),它们的 RSL 在各 PRG-6000 浓度下不同,但差异不显著,因此,在遭受水分胁迫时,两种云杉对水分胁迫的响应没有差异。

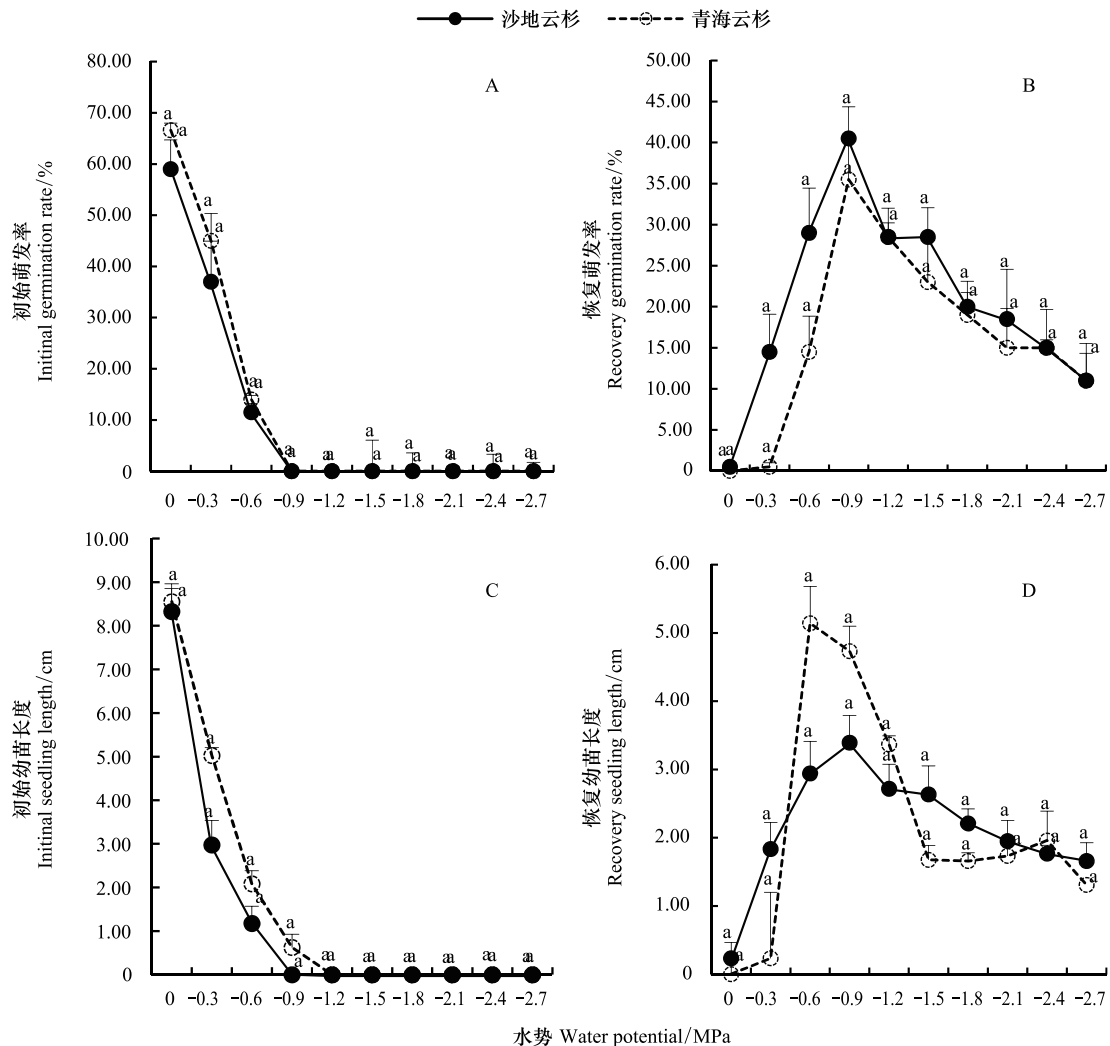


图 5 不同水分胁迫下两种云杉种子萌发和幼苗生长

Fig.5 Seed germination and seedling growth of two *Picea* at the different water stress

3.5 沙埋对两种云杉幼苗生长影响

图 6 可知,沙埋深度在 0—2.0 cm 时,随着沙埋深度增加两种云杉出苗率均呈显著减小的趋势($P<0.01$);

在各沙埋深度下,青海云杉出苗率均高于沙地云杉,但当沙埋深度大于 0.5 cm 时,这种差异变得显著 ($P < 0.01$)。沙地云杉最适沙埋深度为 0.5 cm,出苗率为 69%;而青海云杉最适沙埋深度为 0.5—1.0 cm,出苗率在 56%—67%之间。当沙埋深度由 0.5 cm 变为 2.0 cm 时,沙地云杉出苗率由 69%将为 8%,下降 61%,而青海云杉则由 67%降为 28.5%,下降 36.5%。

4 讨论

4.1 两种云杉种子生活力变化与栖息地环境因子的关系

种子生活力是衡量种子萌发的潜在能力。在适宜萌发条件下,有生活力的种子都能够萌发。种子成熟进入土壤种子库后,种子生活力变化直接影响着种子对栖息地环境的适应性。在自然种群中,种子成熟时生活力越高,在土壤种子库中生活力下降越慢,种子寿命越长,种子对环境的适应性就越强。通过对采集于自然种群种子成熟时 2 种云杉种子生活力测定,发现青海云杉种子生活力低于沙地云杉(图 1),而在各自栖息地储藏 2 年后发现沙地云杉种子生活力低于青海云杉(图 1)。这表明沙地云杉比青海云杉种子生活力下降速度快,即青海云杉种子比沙地云杉种子有更强的环境适应性。这与它们栖息地环境因子相一致。沙地云杉仅分布在小腾格里沙漠固定沙地上,种子成熟时光照充足,有利

于种子发育,因此,种子成熟时生活力比青海云杉高。成熟种子进入土壤种子库后,种子不断遭受极端荒漠环境危害,特别是 1 月份-39℃冻害。另外,在沙地云杉自然分布区,由于种群所在群落结构单一,造成土壤及种群病虫害严重,致使种子生活力下降较快。而青海云杉生态幅度较宽,天然分布区的生态环境没有沙地云杉那么恶劣,种子成熟进入土壤种子库后受到不良环境危害较少,因此,在储藏后种子生活力下降较慢。

4.2 两种云杉种子萌发和幼苗生长对环境因子变化的响应

种子萌发是植物完成生活史过程中最为敏感的时期^[10-11],直接影响物种繁衍和种群持续。温度和光照是植物种子萌发关键因素。不同植物种子萌发对温度和光照适应性不同,种子能够萌发最适温度光照要求也不同。研究发现,青海云杉种子能够萌发的温度范围较沙地云杉宽,萌发速率高于沙地云杉(图 2)。且青海云杉在全黑暗和全光照下萌发率显著高于光照/黑暗交替,但各光照条件下萌发速率没有差异,而沙地云杉在各光照下萌发率没有差异,只是在光照/黑暗交替条件下的萌发速率较快(图 3)。这些种子萌发对光照的响应,说明青海云杉种子在土壤表层或不透光沙土中均能快速萌发,而沙地云杉仅在白天感受光照,晚上感受黑暗的土层中萌发,这表明青海云杉种子萌发对温度和光照适应性强于沙地云杉。这也是两种云杉种子在长期适应各自栖息地环境结果。

植物在完成生活史过程中,经常遭受水盐胁迫,特别是生长在沙区的植物。水分是影响其种子萌发和幼苗生长的限制因子^[12-16]。外界环境渗透势的大小决定着种子细胞吸水能力,当外界环境水势大于种子内部,种子渗透势降低,从环境中可吸收的水分减少。当溶液渗透势降低到一定程度,种子开始失水,从而影响种子萌发和幼苗生长^[17-18]。青海云杉和沙地云杉随着 PEG-6000 胁迫程度增加,种子萌发率逐渐下降,当 PEG-6000 胁迫水势达到-0.9 MPa 时,沙地云杉和青海云杉 IGR 为 0%,而 RGR 均呈现先增加后减少的趋势,在 PEG-6000 浓度达到-0.9 MPa 时,RGR 均达到最大值 35.5%和 40.5%。尽管随着水分胁迫浓度的增加,青海云杉 IGR 均高于沙地云杉,当解除水分胁迫后,沙地云杉的 RGR 高于青海云杉,但这些差异均不显著。表明两种云杉种子萌发对水分胁迫适应性没有差异。同样,青海云杉和沙地云杉幼苗生长在遭受水分胁迫后也表现

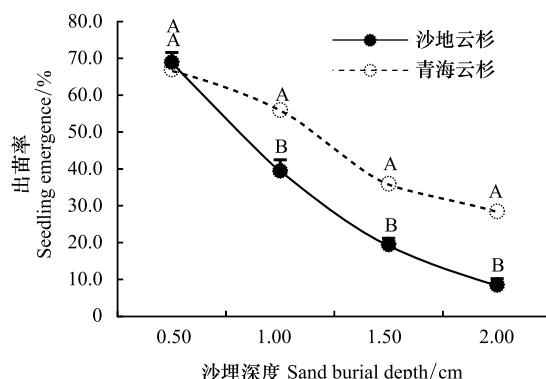


图 6 不同沙埋深度下两种云杉出苗率

Fig. 6 Seedling emergence of two *Picea* at the different sand burial depths

与种子萌发相同的趋势,表明 2 种云杉种子萌发和幼苗生长对水分胁迫的适应性没有差异。

盐胁迫对种子萌发和幼苗生长的影响有渗透效应和离子效应^[19]。对种子萌发和幼苗生长影响主要表现在降低种子萌发率和延缓幼苗生长^[20],延缓种子萌发速度,危害严重时致使种子失去活力或抑制幼苗生长^[21-23],当解除胁迫后,种子萌发和幼苗生长得到部分恢复或不恢复。甚至对幼苗产生盐分毒害而导致死亡。研究表明,青海云杉和沙地云杉在 50—450 mmol/L 盐分胁迫下种子萌发率逐步降低,青海云杉由 69% 和 59% 降为 6.5%,沙地云杉由 59% 降为 6.5%,且青海云杉萌发率高于沙地云杉,但是这种差异仅在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 和 250 mmol/L 差异显著,其他浓度下不显著。胁迫解除后,两种云杉 RGR 随着胁迫浓度增加逐步增加,最高可达 10% 和 13%,NaCl 浓度在 0—200 mmol/L,沙地云杉 RGR 高于青海云杉,而在 200—450 mmol/L,青海云杉高于沙地云杉,但这些均差异不显著。另外,随着 NaCl 胁迫浓度增加,两种云杉的 ISL 不断减小,这表明随着 NaCl 胁迫浓度的增加,盐胁迫对幼苗生长抑制性在增强,当浓度大于 200 mmol/L 时,幼苗生长完全抑制。而在 50—150 mmol/L,青海云杉 ISL 显著大于沙地云杉,表明青海云杉幼苗生长忍受盐分胁迫能力强于沙地云杉,而盐胁迫解除后,两种云杉随胁迫浓度增加 RSL 逐步增加,在 NaCl 浓度 450 mmol/L,分别达到最大值 0.65 cm 和 1.30 cm。尽管当 NaCl 浓度大于 200 mmol/L,RSL 差异显著,但幼苗长度均小于 1.30 cm,表明两种云杉遭受盐分胁迫后,幼苗生长恢复能力较差。因此,2 种云杉遭受盐分胁迫后,青海云杉幼苗生长忍受盐分胁迫能力强于沙地云杉。

沙埋干扰是沙区植物生存繁殖的必要条件^[24-25],沙埋可以改变植物生存的微环境,如光照、温度、湿度、根部氧气含量、土壤有机质、微生物和盐分含量等^[26-28]。因此,沙埋成为沙区植物种子萌发和幼苗生长、存活和建植的关键因子和重要选择压力之一。也是控制沙区植物分布和组成的重要因素^[29-30]。从其他分布区引种到沙区,沙埋也是主要影响因素。研究表明,在 0—2.0 cm 的沙埋深度范围内,两种云杉出苗率均随沙埋深度增加呈下降趋势,且青海云杉对沙埋适应性强于沙地云杉(图 6)。这与它们种子萌发特性有关,随着沙埋深度增加,土壤温度和光照发生了变化,土壤表层 0.5 cm 温度和光照响应外界环境变化较为敏感,随着外界环境温度的变化而迅速变化,容易满足沙地云杉 15—30℃ 的萌发温度和光照/黑暗交替光照条件,随着沙埋深度增加,光照条件变为黑暗,深层土壤温度变化受外界环境温度变化的幅度减小,满足沙地云杉种子萌发机会也减小;所以,随着沙埋深度增加沙地云杉出苗率下降较快。而青海云杉种子萌发温度范围较宽,在全光照或全黑暗条件下均具有较高萌发率;因此,随着沙埋深度增加,出苗率降低程度较小。这与它们栖息地环境条件相一致。在栖息地,沙地云杉仅仅分布在固定沙地上,表层沙土颗粒较大,沙土比热较小,温度变化较快,容易满足沙地云杉种子萌发条件;而青海云杉分布区较广,沙土、壤土都生长,所以,它具有萌发温度范围较宽和光照要求不严格特点,这是它在种子萌发水平上对栖息地环境的适应。

5 结论

从储藏期间种子生活力变化可以看出,沙地云杉虽然种子成熟时青海云杉种子生活力高,但是沙地云杉在储藏过程中种子生活力下降的速度比青海云杉快,两年就下降了 19%。从种子萌发对温度和光照要求发现,青海云杉比沙地云杉种子萌发温度范围要宽,但只是在萌发温度范围边缘(10℃ 和 30℃)以及温差较大的变温(10℃/30℃)萌发率差异显著,萌发速度显著快于沙地云杉。沙地云杉种子萌发对光照要求仅为光照黑暗交替,而青海云杉光照、黑暗均可以。从种子萌发和幼苗生长对水盐胁迫响应来看,两种云杉在水分胁迫下耐受性没有差异,在盐分胁迫下,青海云杉种子萌发率在某些浓度下(200 mmol/L 和 250 mmol/L)的耐受性强于沙地云杉,胁迫解除后,当 NaCl 浓度为 50 mmol/L 和 100 mmol/L 时,青海云杉的幼苗生长显著强于沙地云杉,其余温度下没有显著差异。当 NaCl 浓度大于 200 mmol/L 时,幼苗生长的恢复能力强于沙地云杉。从出苗对沙埋的响应实验可以发现,青海云杉在大于 0.5 cm 沙埋深度下出苗率显著高于沙地云杉,在 0,5 cm 时,二者没有显著差异。由此可见,青海云杉比沙地云杉有较强的环境适应性,这与它们各自栖息地环境相一致。尽管青海云杉比沙地云杉适应性强,但是,只要采取合理的技术措施,就可以将沙地云杉在我国沙区进行

大面积引种育苗。例如,在民勤沙区育苗时,育苗种子可以选择上一年 10 月份采集新种子,播种时间选择在 4 月中旬(此时土壤温度为 15—30℃),土壤类型为含盐量小于 200 mmol/L 沙土,育苗期间不断浇水并经常疏松表层土壤等育苗措施,从而为沙地云杉通过种子育苗方式在民勤地区引种过程中的关键技术的制定提供理论依据。

参考文献(References):

- [1] 郑光华. 种子生理研究. 北京: 科学出版社, 2014: 15.
- [2] Gutterman Y. Strategies of seed dispersal and germination in plants inhabiting deserts. *The Botanical Review*, 1994, 60(4): 373-425.
- [3] Dürst C, Dickie J B, Yang X Y, Pritchard H W. Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: contribution to a seed trait database. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2015, 200: 222-232.
- [4] Geraldine L D, Donovan L. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *American Journal of Botany*, 1999, 86(6): 1146-1153.
- [5] Schütz W, Milberg P, Lamont B B. Germination requirements and seedling responses to water availability and soil type in four eucalypt species. *Acta Oecologica*, 2002, 23(1): 23-30.
- [6] 刘建全, 丁国民, 郝虎, 彭吉庭, 刘兴明, 王多尧, 王零. 青海云杉群落特征和动态的研究. *西北林学院学报*, 2008, 23(1): 14-17, 22-22.
- [7] 徐文铎. 内蒙古沙地的白桦与白桦林. *植物生态学报*, 1983, 7(1): 1-7.
- [8] Núñez M R, Calvo L. Effect of high temperatures on seed germination of *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis*. *Forest Ecology and Management*, 2000.
- [9] Khan M A, Ungar I A. Seed polymorphism and germination responses to salinity stress in *Atriplex triangularis* Willd. *Botanical Gazette*, 1984, 145(4): 487-494.
- [10] 刘青青, 马祥庆, 李艳娟, 庄正, 杜子龙, 邢先双, 刘博. 杉木种子萌发及幼苗生长对光强的响应. *应用生态学报*, 2016, 27(12): 3845-3852.
- [11] Du X J, Guo Q F, Gao X M, Ma K P. Seed rain, soil seed bank, seed loss and regeneration of *Castanopsis fargesii* (Fagaceae) in a subtropical evergreen broad-leaved forest. *Forest Ecology and Management*, 2007, 212-219.
- [12] 任珺, 余方可, 陶玲. 荒漠植物种子逆境萌发研究进展. *植物研究*, 2011, 31(1): 121-128.
- [13] 张勇, 薛贵林, 高天鹏, 晋玲, 安黎哲. 荒漠植物种子萌发研究进展. *中国沙漠*, 2005, 25(1): 106-112.
- [14] 李有志, 黄维山, 朱杰辉. 光照和温度对小叶章种子萌发及其幼苗生长的影响. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2007, 33(2): 187-190.
- [15] 张肖, 王旭, 焦培培, 李志军. 胡杨(*Populus euphratica*)种子萌发及胚生长对盐旱胁迫的响应. *中国沙漠*, 2016, 36(6): 1597-1605.
- [16] 裴伟, 吴建国, 刘艳红. 荒漠木本植物种子萌发研究进展. *应用生态学报*, 2007, 18(2): 436-444.
- [17] 于军, 焦培培. 聚乙二醇(PEG6000)模拟干旱胁迫抑制矮沙冬青种子的萌发. *基因组学与应用生物学*, 2010, 29(2): 355-360.
- [18] 杨景宁, 王彦荣. PEG 模拟干旱胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响. *草业学报*, 2012, 21(6): 23-29.
- [19] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 2002, 25(2): 239-250.
- [20] 高茜, 李毅, 苏世平, Жигунов А В, 单立山, 种培芳. 盐胁迫对红砂(*Reaumuria soongorica*)种子吸水过程中生理特性的影响. *中国沙漠*, 2014, 34(1): 83-87.
- [21] 高瑞如, 赵瑞华, 张双凤, 邸丽珍, 黄培祐. 盐分和温度对盐节木种子萌发的影响. *西北植物学报*, 2007, 27(11): 2281-2285.
- [22] 黄振英, 张新时, Gutterman Y, 郑光华. 光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响. *植物生理学报*, 2001, 27(3): 275-280.
- [23] 杨帆, 曹德昌, 杨学军, 高瑞如, 黄振英. 盐生植物角果碱蓬种子二型性对环境的适应策略. *植物生态学报*, 2013, 36(8): 781-790.
- [24] Brown J F. Effects of experimental burial on survival, growth, and resource allocation of three species of dune plants. *Journal of Ecology*, 1997, 85(2): 151-158.
- [25] 陈文, 王桔红, 朱慧, 齐威. 沙埋对河西走廊 4 种旱生植物种子萌发和幼苗生长的影响. *中国沙漠*, 2015, 35(6): 1532-1537.
- [26] Zhang J H, Manu M A. Effects of sand burial on seed germination, seedling emergence, survival and growth of *Agropyron psammophilum*. *Canadian Journal of Botany*, 1990, 68(2): 304-310.
- [27] Gutterman Y. *Seed Germination in Desert Plants (Adaptations of Desert Organisms)*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1993.
- [28] Baskin C C, Baskin J M. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of dormancy and Germination*. San Diego, California USA: Academic Press, 1998.
- [29] Miller T E. Effects of emergence time on survival and growth in an early old-field plant community. *Oecologia*, 1987, 72(2): 272-278.
- [30] Omami E N, Haigh A M, Medd R M, Nicol H I. Changes in germinability, dormancy and viability of *Amaranthus retroflexus* as affected by depth and duration of burial. *Weed Research*, 1999, 39(5): 345-354.