中国特有植物沙地云杉的濒危机制

刘有军，刘世增，康才周，满多清

（甘肃省荒漠化与风沙灾害防治省部共建重点实验室培育基地 甘肃省治沙研究所，甘肃 兰州 730000）

摘　要：［目的］探索中国特有植物沙地云杉濒危的原因，为制定沙地云杉天然林保护措施提供理论依据。［方法］通过栖息地不同储藏时间种子质量测定，研究种子萌发对温度、光照和沙埋的响应以及种子萌发和幼苗生长对盐分胁迫耐受性。［结果］①种子成熟时生活力仅为 79%，其中 12%的种子遭受了冻害，其余 67%种子不同程度遭受了虫害和病害，且种子生活力随着栖息地埋藏每年以 9.5%速度下降。②种子在大于10 ℃温度范围内萌发率均大于 40%，且在黑暗/光照交替下萌发速度大于其他光照条件，而沙地云杉出苗最适沙埋深度为 0.5 cm，满足种子萌发温度和光照条件，这增加了在栖息地大量种子萌发后死亡的危险。③种子萌发和幼苗生长随着盐分胁迫浓度增加显著降低，当盐分浓度 0～100 mmol/L 时，种子初始萌发率(R_{IG})由 69%降到 49%，恢复萌发率(R_{GR})由 0 增加到 6%，初始幼苗长度(L_{IS})由 7.12 cm 降到 1.16 cm，恢复幼苗长度(L_{RS})仅由 0 cm 增加到 0.03 cm，当盐分浓度大于 100 mmol/L 时，种子萌发和幼苗生长受到严重抑制($R_{IG}<49\%$，$L_{IS}<1.16$ cm)且恢复能力极差($R_{GR}<10\%$，$L_{RG}<1$ cm)，但土壤含盐量大于 100 mmol/L 的沙地在沙地云杉的栖息地很容易找到。④出苗率随着沙埋深度增加显著降低。在 0.5 cm 时出苗率 69%，在 2 cm 时降为 8.50%，在沙地云杉栖息地沙埋厚度很容易超过 2 cm，因此，出苗率小于8.5%。而小于 8.5%幼苗出土后还要反复遭受虫害、病害、冻害、水盐胁迫和种间竞争等影响。［结论］栖息地自然土壤种子库中沙地云杉种子病虫害严重，生活力低和幼苗存活率低以及环境恶劣是导致沙地云杉濒危主要原因。

关键词：沙地云杉；种子生活力；种子萌发；幼苗生长；土壤种子库；濒危原因

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2018)03-0060-06　　**中图分类号**：S330.2，S789.7

文献参数：刘有军，刘世增，康才周，等. 中国特有植物沙地云杉的濒危机制[J]. 水土保持通报，2018，38(3)：60-65. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.03.010. Liu Youjun, Liu Shizeng, Kang Caizhou, et al. Endangered mechanism of *Picea mongolica*: An endemic and evergreen tree only found in desert areas of China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(3): 60-65.

Endangered Mechanism of *Picea Mongolica*: An Endemic and Evergreen Tree only Found in Desert Areas of China

LIU Youjun, LIU Shizeng, KANG Caizhou, MAN Duoqing

(*State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou, Gansu* 730000, *China*)

Abstract: [Objective] To explore the endangered reasons of *Picea mongolica* at the seed ecology level in order to provide theoretical references for making the conserve measures of *P. mongolica* natural forest. [Methods] Seed viability was tested with different habitat storage periods. The responses of seed germination to temperatures and lights were investigated. The tolerance of *P. mongolica* seed to salinity during seed germination and seedling growth and the responses of seedling emergence to sand burying were studies. [Results] ① The viability of matured *P. mongolica* seeds was 79%, of which, about 12% seeds suffered from freeze injury and the remaining 67% suffered from the pest nibble and disease harm. The buried seed viability was reduced

收稿日期：2018-04-24　　**修回日期**：2018-05-15

资助项目：林业公益性行业科研专项“干旱沙区沙地云杉引种繁育及造林技术研究与示范”(201104036)；甘肃省基础研究创新群体“基于植物生理生态适应分析的防风固沙体系优化研究”(1506RJIA155)

第一作者：刘有军(1977—)，男(汉族)，甘肃省平凉市人，硕士，副研究员，主要从事荒漠植物种子生态学研究。E-mail：lyjsmallgrass@163.com。

通讯作者：刘世增(1963—)，男(汉族)，甘肃省金昌市人，博士，研究员，主要从事荒漠化防治与沙区资源开发利用研究。E-mail：shzliu@126.com。

at a speed of 9.5% every year. ② Germination of *P. mongolica* seeds was very easy and the germination percentage was more than 40% when the temperature was more than 10 ℃. The seed germination rate at a dark-light alternation condition was higher than other light conditions, and the optimal sand burial depth for *P. mongolica* seedling emergence was 0.5 cm as it satisfied the light and temperature requirements of seed germination. The germination characteristics increased the morality as a lot of seeds germinated in desert habitat environments. ③ Seed germination and seedling growth were significant decreased with the increase of NaCl concentration. When NaCl concentration was around 0～100 mmol/L, the germination rate (R_{IG}) was decreased from 69% to 49%, recovery germination rate (R_{GR}) was increased from 0 to 6%, and the initial seedling length (L_{IS}) was reduced from 7.12 to 1.16 cm. The recovery seedling length (L_{RS}) was increased from 0 to 0.03 cm when the concentration of NaCl was more than 100 mmol/L, the seed germination and seedling growth were completely inhibited(IGR<49%, ISL<1.16 cm) and the ability to recover was poor (R_{GR}<10%, L_{RG}<1 cm). Unfortunately, soil salinity contents over 100 mmol/L were widely distributed in the natural habitat of *P. mongolica*. ④ Seedling emergence was significantly decreased with the increase of sand burial depths. The emergence rate reached 69% with the 0.5 cm sand burial depths and reduced to 8.5% with the 2.0 cm sand burial depths. The habitat of *P. mongolica* with sand burial depths over 2.0 cm was widely distributed, thus the seedling emergence was less than 8.5%. The *P. mongolica* seedling was continuously suffered from the pest nibble, disease harm, salinity and moisture stress, freeze injury and interspecific competition. [Conclusion] The main endangered causes of *P. mongolica* were the serious diseases and pests, low seed viability in habitat soil seed banks, the low survival rate of seedlings and badly environments in habitats.

Keywords: ***Picea mongolica***; **seed viability**; **seed germination**; **seedling growth**; **soil seed bank**; **endangered reasons.**

沙地云杉(*Picea mongolica*)为松科、云杉属常绿乔木，也是中国特有濒危树种之一[1]。它的原始体在世界上仅分布于内蒙古森林草原西线南段和洪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)，形成了个十分罕见的森林草原[2]。沙地云杉是防沙治沙优势树种，对抗旱树种基因筛选十分重要，现在已经并将继续在中国“三北”防护林建设上起到很好防护作用。这片沙地云杉林在中国北方形成了一个天然的保护屏障，对当地农业生产都有非常重要的促进作用，而且对保护距当地仅 300 km 的首都北京乃至华北地区生态环境都有重要的影响，近年来得到了国内外学者的广泛关注。可见，保护好这片云杉林，对研究和防治中国北方土地荒漠化，保护京津地区周边生态环境具有重要意义。

沙地云杉因为其独特的生物学特性及分布生长在干旱沙漠草原受到广泛关注。许多学者在个体生态学[3-5]、种群生态学[6-7]、群落生态学[8-9]、植物分类学[10-13]及引种育苗[14-15]等方面进行了研究。但是，关于沙地云杉天然林自然更新方面仅有环境条件恶劣，自然更新困难以及土壤种子库下降很快且趋于均匀化零星报道，关于为什么自然更新困难即濒危原因的研究较少。本文拟从种子生态学角度出发，通过沙地云杉种子在栖息地储藏过程中生活力变化，种子萌发对温度、光照，盐分胁迫和沙埋响应以及幼苗生长对盐胁迫忍耐程度并结合栖息地生态环境因子，探索沙地云杉濒危的初步原因，以期为沙地云杉天然林保护措施制定提供理论依据。

1　研究区自然概况

白音敖包内蒙古自然保护区始建于 1978，1983 年设立独立机构，2000 年 4 月经国务院批准晋升为国家级自然保护区。位于内蒙古自治区赤峰市克什克腾旗西北部，距克什克腾旗政府所在地经棚镇 75 km，保护区其北、东及南部三面被白音敖包林场包围，西部与达来诺日毗邻，西距达里诺尔国家级自然保护区约 60 km，地理坐标为 43°30′—43°36′N, 117°6′—117°16′E，保护总面积为 13 862 hm^2，主要保护对象是世界仅存的珍稀的沙地云杉林生态系统。是中国沙地云杉占地面积最大，分布最集中，最具有代表的地区；该地区海拔在 1 300～1 500 m 之间；土壤类型以黑钙沙壤土和栗钙沙壤土为主，主要分布于丘陵、漫岗和沙地。森林土壤多为沙质灰色森林土，土层厚度 50～100 cm。白音敖包属大陆性温带草原

气候，冬季严寒漫长，春季风频干燥，夏季温和短促，秋季气温骤降。年平均气温-1.6 ℃。1月平均气温-21.6 ℃，年降水量在450 mm左右，降水主要集中在6—8月，占全年降水量的68%。年蒸发量1 526 mm，是年降水量的3.4倍。年无霜期90 d，生长期120 d。保护区内野生植物除沙地云杉外还有苍术（*Atractylodes lancea*）、祁洲漏芦（*Rhaponticum uniflorum*）、亚洲百里香（*Thymus mongolicus*）、细叶柴胡（*Bupleurum scorzonerifolium*）、细叶百合（*Lilium pumilum*）、蒙古黄芪（*Astragalus membranaceus*）、山杏（*Armeniaca sibirica*）、防风（*Saposhnikovia divaricate*）、沙参（*Adenophora stricta*）、黄花补血草（*Limonium aureum*）、二色补血草（*Limonium bicolor*）等。

2 材料与方法

2.1 种子采集

2010年9月12日，在白音敖包国家自然保护区（43°30′—43°36′N，117°6′—117°16′E）沙地云杉自然群落内选择具有代表性植株20株，植株高度20～25 m，胸径40—60 cm，树皮鳞片状，1年生枝淡橙黄色，有密毛，2，3年生枝淡黄色或灰黄色。叶螺旋状排列，四棱状锥形。当种子成熟时，首先从所选植株不同部位随机采集褐色球果，在露天日晒脱粒，然后将倒卵形，暗褐色种子混合在一起，在自然条件下风干并除杂，最后将获得的种子分成2个部分，一部分装入透水透气尼伦袋，然后埋入沙地云杉的栖息地，3次重复，覆沙厚度5 cm，另一部分带回实验室在室温下（13～30 ℃）保存。

2.2 种子生活力测定

2010年参照TTC法随机地数400粒沙地云杉种子，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。

第2 a和第3 a种子生活力的测定：将2010年埋藏在栖息地的种子分别于2011年11月8日和2012年11月18日取出，用筛子筛去沙土，进行种子生活力测定，方法同第一年。

种子冻害、坏死和空粒的判断标准：①冻害标准：解剖后胚以及胚乳发青，比正常种子颜色暗；②坏死标准：解剖后胚及胚乳发黑，干种子用手可以碾成粉末；③空粒标准：解剖后种子胚及胚乳很少或为空壳种子。

2.3 种子萌发对光照和温度的响应

种子萌发实验在光照培养箱内采用纸上萌发法，相对湿度50%。实验设置4次重复，每次重复50粒种子，种子萌发的标准胚根突破种皮[16]，连续3 d没有种子萌发视为实验结束，光照实验在25 ℃下进行，光照处理为24 h黑暗，24 h光照，14 h黑暗/10 h光照，光照强度为3 000 lx。温度实验在24 h黑暗的条件下进行，温度设置为5，10，15，20，25，30，25/15，25/10和30/10 ℃（14 /10 h）。

2.4 种子萌发与幼苗生长对盐分胁迫的响应

试验在光照培养箱内采用纸上萌发法，相对湿度为50%，试验设置4次重复，每次重复50粒种子，种子萌发和试验结束标准与以上试验相同，试验在24 h黑暗25 ℃条件下进行，盐分胁迫试剂为NaCl，浓度为0，50，100，150，200，250，300，350，400和450 mmol/L；14 d后对已萌发种子进行统计并进行幼苗长度测量，移走已萌发种子，将未萌发种子用蒸馏水反复冲洗3～5次，使得表面残留溶液清洗干净后，然后放入培养皿内继续培养，6 d后统计恢复萌发种子数和幼苗长度。

2.5 沙埋试验

试验于2011年5月在甘肃省治沙研究所沙生植物园苗圃内进行，设置0.5，1.0，1.5，2.0 cm 4个沙埋深度，每个深度4次重复，每次重复50粒种子，均匀地将种子撒播在上口直径25 cm，下口直径20 cm，高18 cm塑料花盆内，在每个花盆里装入等量沙壤土，土装到花盆3/4处即可；花盆放在长方形土坑内，周围用沙土填平，花盆内外保持土面一致，每天浇水100 ml以保持发芽湿度，每2 d统计1次出苗数，实验持续时间30 d，试验期间沙土表面温度保持在15～35 ℃。

2.6 数据处理

本文观测和统计的数据有沙地云杉在不同温度和光照下萌发率（germination rate，R_G）和萌发指数（germination rate index，I_{GR}）、盐分胁迫下初始萌发率（initial germination rate，R_{IG}）和恢复萌发率（recovery germination rate，R_{GR}）以及初始幼苗长度（initial seedling length，L_{IS}）以及恢复幼苗长度（recovery seedling length，L_{RS}）；在数据分析之前，对萌发率和幼苗长度进行反正弦转换，使其服从正态分布；采用了单因素方差分析（one-way ANNOVE）方法分析温度、光照和盐分胁迫对种子萌发和幼苗长度的影响，在95%水平上，采用新复极差法比较不同温度，光照和盐分胁迫下种子萌发率以及幼苗长度之

间差异。数据分析采用 DPS 3.0 软件，采用 Excel 2007 制图。试验中参数计算公式分别为：

$$R_G = n/N \times \%, \quad I_{GR} = \sum G_x / x \qquad (1)$$

式中：n——已萌发种子数；N——总种子数；G——时间 x 日的发芽数；x——相应的发芽天数(d)。

$$R_{IG} = A/C \times 100\%, \; R_{GR} = B/C \times 100\% \qquad (2)$$

式中：A——盐分胁迫下萌发种子数；B——胁迫解除后萌发种子数；C——种子总数。

3　结果与分析

3.1　种子生活力

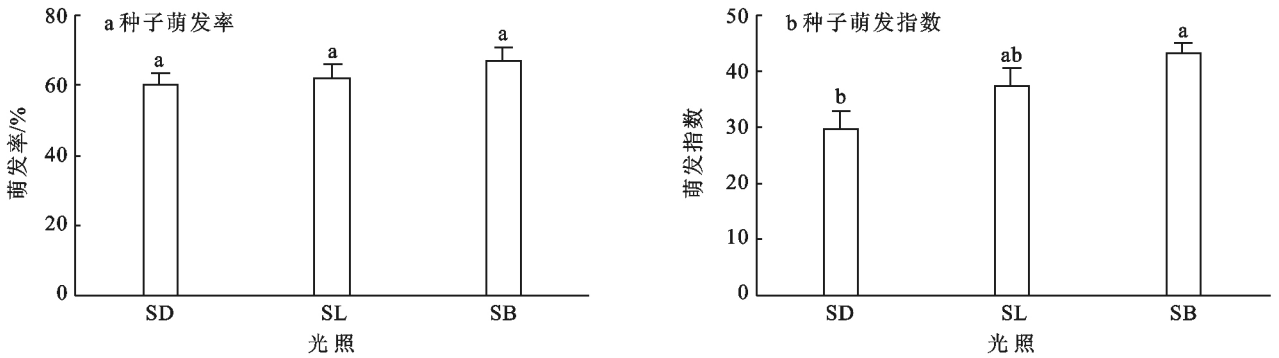
由表 1 可以看出，当年采集自然种群沙地云杉种子生活力仅为 79%，没有生活力种子主要表现为坏死、冻害和空粒。其中，坏死和空粒占 8%，冻害占 13%；有生活力种子中发生冻害的种子占 12%；随着栖息地储藏时间的延长，种子生活力迅速下降，每年接近 10%，冻害、坏死和空粒种子数量也会增加。

表 1　栖息地储藏过程中沙地云杉种子生活力变化　%

年份	有生活力种子		无生活力种子	
	无冻害	有冻害	冻害	坏死或空粒
2010	67	12	13	8
2011	61	9	18	12
2012	52	8	26	14

3.2　沙地云杉种子萌发对光照和温度的响应

由图 1 可知，在不同光照条件下沙地云杉种子萌发率没有显著差异而种子萌发速率有显著差异($F=0.671$，$p=0.535$；$F=5.650$，$p=0.025\ 7$)，且在 14 h 光照/10 h 黑暗萌发最快，在黑暗条件下萌发速度最慢。



注：不同小写字母表示平均值在 0.05 水平上差异显著，下同。SD 为完全黑暗，SL 为完全光照，SB 为 14 h 黑暗/10 h 光照交替。

图 1　沙地云杉在不同光照下种子萌发状况

由图 2 可知，温度对沙地云杉的种子萌发率和萌发速率具有显著影响($F=95.041$，$p=0.000\ 1$；$F=50.444$，$p=0.000\ 1$)，只要温度大于 10 ℃，沙地云杉种子都能很好萌发，在 20 和 25 ℃，达到最高萌发率为 69%；在 25 ℃下的萌发速度最快，20 ℃次之，10 ℃最慢，所以，沙地云杉最适萌发温度为 25 ℃。

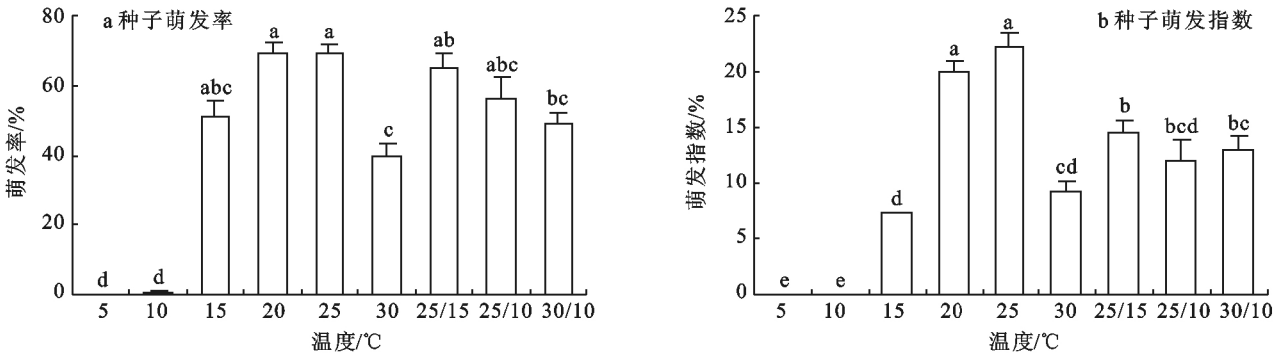


图 2　沙地云杉在不同温度下种子萌发状况

3.3　沙地云杉种子萌发和幼苗生长对盐分胁迫的响应

随着 NaCl 浓度增加，沙地云杉种子初始萌发率(R_{IG})显著减小而恢复萌发率(R_{GR})显著增加($F=25.903$，$p=0.000\ 1$；$F=11.212$，$p=0.000\ 1$)，在 0～450 mmol/L 范围内，I_{GR} 由 69% 下降到 6%，下降了 63%，在 0～100 mmol/L，初始萌发率由 69% 下

降到49%；下降了20%，当浓度为300 mmol/L，萌发率为19.00%；恢复萌发率在450，300和100 mmol/L分别为10%，7.33%和6%。这说明沙地云杉种子萌发受盐分胁迫后恢复能力差（图3a）。

随着NaCl盐浓度增加，沙地云杉种子初始幼苗长度（L_{IS}）显著减小而恢复幼苗长度（L_{RS}）显著增加（$F=408.22$，$p=0.000\ 1$；$F=7.273\ 0$，$p=0.000\ 1$），在0～50 mmol/L，沙地云杉幼苗长度由7.21 cm减少到3.22 cm，在100 mmol/L，幼苗长度1.16 cm，当胁迫浓度大于150 mmol/L，幼苗长度均小于1.00 cm，胁迫解除后，幼苗长度均小于0.7 cm，当盐分浓度大于300 mmol/L，幼苗生长完全受到抑制（图3b），在这说明沙地云杉幼苗长度受盐分胁迫后恢复能力较差。

沙地云杉遭受盐分胁迫后，种子萌发和幼苗生长受到抑制，抑制程度随盐分浓度增加而增强，而且幼苗生长比种子萌发受抑制性更大；当胁迫浓度为300 mmol/L，种子萌发率仅为19.00%，当胁迫浓度大于300 mmol/L，幼苗停止生长，当胁迫解除后，种子萌发和幼苗生长恢复能力差，在0～450 mmol/L胁迫范围内，R_{GR}小于10%，L_{RG}小于0.67 cm。

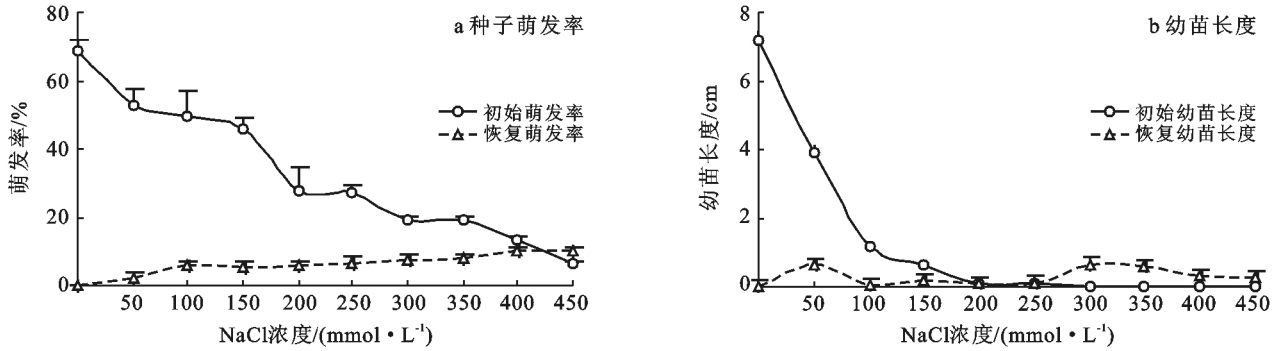


图3 沙地云杉在不同盐分胁迫下种子萌发和幼苗生长

3.4 沙地云杉出苗对沙埋的响应

如图4所示，沙埋对沙地云杉出苗率具有显著影响（$F=129.697$，$p=0.000$），而且随着沙埋深度增加，出苗率显著降低。在0.5～2.0 cm沙埋深度均可以出苗，在0.5 cm沙埋深度时，出苗率69%，但是当沙埋深度大于0.5 cm时，出苗率迅速下降；沙埋深度从0.5 cm增加到1.0 cm时出苗率下降30%，当沙埋深度从1.0 cm增加到2,0 cm时，出苗率下降30.5%。这说明沙埋深度对沙地云杉出苗影响较大，沙地云杉最适沙埋深度为0.5 cm。

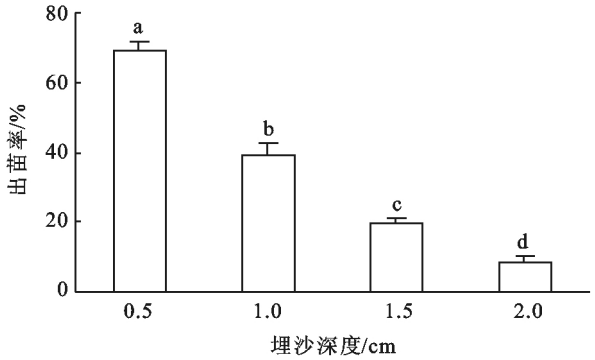


图4 不同沙埋深度下沙地云杉的出苗率

4 讨论与结论

4.1 讨论

从采自沙地云杉栖息地种子来看，种子质量较差，生活力仅为79%，而它们中有12%种子发生冻害、剩余67%种子中有部分发生虫害（种子表面有啃食痕迹）和病害（种子萌发过程中出现发霉）现象。种子冻害主要是由土壤种子库中种子遭受原产地冬季降雪和1月－21.6 ℃冻害所致，当然也有部分种子是由在母株上遭受霜冻等偶尔不正常天气。虫害主要来自于种子成熟过程中遭受母株虫害和种子落入土壤种子库遭受土壤小动物啃食等危害，病害主要由于沙地云杉林过于单一，为病害发生和大量繁殖创造了条件以及土壤种子库中细菌和微生物危害。另外，在栖息地沙埋条件下，随着埋藏时间延长，种子生活力在下降，2 a之内种子生活力下降19%。在白音敖包地区天然种子库中，存在着不同沙埋深度、不同年份的沙地云杉种子，随着储藏时间不断延长，种子生活力在不断下降和被土壤小动物不断啃食掉。在白音敖包地区降雨量主要集中在6—8月，在此期间，种子开始萌发和幼苗生长，虫卵和生理病害也开始活动并在6—8月大量繁殖，从而对种子和幼苗产生危害；最后，自然条件下种子要遭受1月－21.6 ℃冻害，因此，在沙地云杉自然种群土壤种子库中，种子经常遭受生理病害、动物啃食、冻害以及种子成熟时质量较差等各种因素影响、而且沙地云杉自然种群土壤种子库中包含不同年份种子。所以，土壤种子库中种子生活力远远低于79%。

在沙地云杉自然种群土壤种子库中，不仅种子生活力低，幼苗存活也存在问题。沙地云杉自然栖息地白音敖包位于小腾格里沙漠东部边缘固定沙地上，这里生态环境十分恶劣，生长在这里沙地云杉要经常遭受干旱、高温、盐胁迫、病害和冻害威胁。

(1) 沙地云杉生长期 120 d，主要集中在 6—9 月，夏季温和短促，秋季气温骤降，年均平均气温 −1.6 ℃。从种子萌发对温度的要求可以看出，沙地云杉种子萌发对温度的要求不高，当地温大于 10 ℃就可以萌发(图 1)，这使得大量种子萌发后，如果遭遇不可预测极端气候危害，就会大量死亡(沙地云杉在种子萌发期和幼苗生长期对恶劣环境的抵抗力最差，而且种子和幼苗要遭受虫害的威胁)。

(2) 在生长期内，沙地云杉种子萌发和幼苗生长要反复长期地遭受盐分胁迫，当盐分胁迫浓度大于 50 mmol/L，种子萌发和幼苗生长开始受到抑制，特别是幼苗生长，当盐分浓度大于 150 mmol/L，幼苗长度小于 1 cm，胁迫解除后，幼苗长度小于 0.70 cm。沙地云杉栖息地为小腾格里沙漠固定沙地，年蒸发量是降水量的 3.4 倍，所以，在土壤表层 0—5 cm 的土壤盐分远大于 50 mmol/L 轻度胁迫，大部分土壤盐分在 150～300 mmol/L 之间，也有部分土壤盐分大于 300 mmol/L。这使得大量种子萌发后，幼苗遭受不同盐分胁迫生长缓慢或停止生长。埋藏在厚度 0—1.0 cm 沙层种子，在盐分小于 100 mmol/L，萌发后幼苗可勉强出土，出苗率仅仅为小于 39%(图 2 和图 3)，当盐分大于 100 mmol/L，全部被焖死在土壤中。埋藏在 1—2 cm 沙层种子，当土壤盐分小于 50 mmol/L，萌发出土后可勉强出土，当土壤盐分大于 50 mmol/L，全部被焖死。而盐分小于 50 mmol/L 沙土在沙地云杉栖息地很少，即使在这很少土壤中，出苗率小于 8.5%(图 2 和图 3)。

(3) 高温干旱为寄生在种子里虫卵生存创造了发病条件，沙地云杉栖息地由于树种单一，长期植物根系与土壤相互作用(相当于农作物连作)为病虫害大量繁殖和传播提供了土壤环境，使得种子在没有成熟之前就已经遭受危其害，少量能够长出沙面的幼苗，再次遭受病虫害威胁，导致部分幼苗死亡。

(4) 沙地云杉种子萌发或者幼苗生长受到盐分胁迫后，很难恢复，且当胁迫浓度大于 200 mM(在半干旱区容易满足)，种子只能萌发而不能生长。

(5) 即使在这样生长期内有部分幼苗存活，在其他 8 个月要遭受冻害的影响。

(6) 在沙地云杉的天然土壤种子库中，只有埋藏深度小于 1.0 cm 有生活力种子才有可能萌发出苗，出苗后还要遭受不良环境的迫害。尽管沙地云杉抗冻能力较强，但是幼苗期抗冻性较差，这使得幼苗成活率很低。这一点与黄三祥等[15]关于沙地云杉更新研究结果相一致。所以，一棵幼苗或者幼树要想成为成年株，要连续不断地遭受高温、病害、虫害、冻害、盐害、旱害，沙埋等影响，这使得沙地云杉成活率变得非常低。

4.2　结 论

沙地云杉是中国特有的濒危植物之一，仅分布在内蒙古分布于内蒙古森林草原西线南段和洪善达克沙地东缘之间的白音敖包和白音格勒。关于其濒危原因，仅有环境条件恶劣、土壤种子库下降快且均匀化报道。本文通过沙地云杉种子在土壤种子库储藏过程中种子生活力的变化，发现沙地云杉成熟时种子生活力仅为 79%，较沙区其他植物低。例如，沙米和碟果虫实种子成熟时种子生活力在 95%以上。且种子生活力随着储存时间的增加下降较快，2 a 下降 19%。按照这种速度，5 a 之后，种子生活力就下降到 30%～40%，而碟果虫实(*Corispermum patelliforme*)种子生活力仍然在 95%以上。而这 30%～40%有生活力的种子携有病害和虫害，所以，种子质量较差。其次，沙地云杉种子在光照/黑暗交替下萌发速度最快，而且在 20 ℃和 15 ℃的萌发率和萌发速率高于其他温度，且凡是有生活力的种子都能够萌发，这个温度在沙地云杉栖息地的 4—5 月份容易满足这个条件，大量的种子萌发后会遭遇不可预测的极端气候影响，导致大量幼苗死亡。然后，当极少部分种子萌发后，它们中的部分幼苗要遭遇种子自身病害的危害和土壤微生物和小动物的危害而导致幼苗死亡，幸存下来的幼苗还要遭受沙埋和盐分胁迫的危害，沙地云杉最佳出苗沙埋深度为 0.5 cm，当沙埋胜读大于 0.5 cm 时，出苗率迅速下降，在 2.0 cm 时，出苗率仅为小于 10%；当土壤盐分大于 100 mmol/L 时，种子萌发和幼苗生长受到抑制。沙埋深度大于 2.0 cm 和土壤盐分含量大于 100 mmol/L 在沙地云杉栖息地很容易满足，在这样的条件下，即使有少部分幼苗存活下来，还要不断的遭受病害、虫害、冻害、竞争等不良环境因子的危害。因此，在沙地云杉栖息地土壤种子库中种子生活力低、病虫害严重和幼苗存活能力差和环境恶劣是沙地云杉濒危的主要原因。

(下转第 73 页)

体组成及几种团聚体稳定性指标的比较[J]. 农业工程学报，2011，27(1)：340-347.

[12] 黎宏祥，王彬，王玉杰，等. 不同林分类型对土壤团聚体稳定性及有机碳特征的影响[J]. 北京林业大学学报，2016，38(5)：84-91.

[13] 吴承祯，洪伟. 不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究[J]. 土壤学报，1999，36(2)：162-167.

[14] 周刚，赵辉，陈国玉，等. 花岗岩红壤区不同地类土壤抗蚀性分异规律研究[J]. 中国水土保持，2008(9)：27-29.

[15] 刘梦云，常庆瑞，齐雁冰. 不同土地利用方式的土壤团粒及微团粒的分形特征[J]. 中国水土保持科学，2006，4(4)：47-51.

[16] 陈山. 不同利用方式土壤团聚体稳定性及其与有机质和铁铝氧化物的关系[D]. 武汉：华中农业大学，2012.

[17] 刘艳，查同刚，王伊琨，等. 北京地区栓皮栎和油松人工林土壤团聚体稳定性及有机碳特征[J]. 应用生态学报，2013，24(3)：607-613.

[18] 杨培岭，罗远培，石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报，1993，38(20)：1896-1896.

[19] 谢锦升，杨玉盛，陈光水，等. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响[J]. 生态学报，2008，28(2)：702-709.

[20] 刘丽霞，王辉. 绿洲农田防护林系统水分生态特征研究[D]. 兰州：甘肃农业大学，2007.

[21] 侯晓娜，李慧，朱刘兵，等. 生物炭与秸秆添加对砂姜黑土团聚体组成和有机碳分布的影响[J]. 中国农业科学，2015，48(4)：705-712.

[22] 刘中良，宇万太. 土壤团聚体中有机碳研究进展[J]. 中国生态农业学报，2011，19(2)：477-455.

[23] 王贤，张洪江，程金花，等. 重庆四面山几种林地土壤颗粒分形特征及其影响因素[J]. 水土保持学报，2011，25(3)：154-159.

[24] 华瑞，徐学选，张少妮，等. 不同退耕年限林草地土壤颗粒分形特征研究[J]. 水土保持学报，2016，30(4)：206-209.

[25] 周娅，陈宇轩，邹瑞，等. 北京八达岭不同密度油松土壤团聚体特征研究[J]. 西南林业大学学报，2016. 36(2)：26-30.

[26] 杨鹏，李传荣，孙明高，等. 沿海破坏山体周边不同植被恢复模式土壤结构特征与健康评价[J]. 中国水土保持科学，2010，8(2)：80-84.

[27] 刘金伟，李志忠，武胜利，等. 新疆艾比湖周边白刺沙堆形态特征空间异质性研究[J]. 中国沙漠，2009. 29(4)：628-635.

[28] Wuddivira M N. Structural stability of humid tropical soils as influenced by manure incorporation and incubation duration. [J]. Soil Science Society of America Journal, 2009，73(4)：1-18.

[29] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: A review[J]. Geoderma, 2005，124(1/2)：3-22.

（上接第 65 页）

[参 考 文 献]

[1] 徐文铎. 内蒙古的沙地云杉与云杉林[J]. 植物生态学与地植物学学报 1983，7(1)：1-7.

[2] 邹春静，徐文铎，刘广田. 沙地云杉种群种子雨的时空分布规律[J]. 生态学杂志，1978，17(3)：1-19.

[3] 黄三祥，李新彬，林田苗，等. 沙地云杉育苗技术及苗木年生长规律研究[J]. 北京林业大学学报，2003，25(6)：11-14.

[4] 齐淑艳，王青林，杨彩民，等. 云杉杆插繁殖技术研究[M]//徐文铎，刘广田. 内蒙古白音敖包自然保护区沙地云杉林生态系统研究. 北京：中国林业出版社，1998：60-63.

[5] 徐文铎，郑元润. 沙地云杉苗期生长与干物质生产关系的研究[J]. 应用生态学报，1993，4(1)：1-6.

[6] 郑元润，张新时. 徐文铎. 沙地云杉种群调节的研究[J]. 植物生态学报，1997，21(4)：312-318.

[7] 邹春静，韩士杰. 徐文铎. 沙地云杉构件动态与结构[J]. 武汉植物学研究，2001，19(5)：369-376.

[8] 徐文铎. 内蒙古沙地白扦林的植物组成和生态环境调查[J]. 沈阳农业大学学报，1987，l8(4)：19-24.

[9] 刘涛，张成福，马国青，等. 沙地云杉天然结实规律的研究[M]//沙地云杉生态系统研究. 徐文铎，刘广田. 编. 北京：中国林业出版社，1998：178-182.

[10] 郑万钧. 中国植物志：7 卷[M]. 北京：科学出版社，1978：133-136.

[11] 郑万钧，中国树木志[M]. 北京：中国林业出版社，1982：218-220.

[12] 邹春静，徐文铎，齐淑艳. 沙地云杉林的分布与性质[M]//徐文铎，刘广田. 内蒙古白音敖包自然保护区沙地云杉林生态系统研究. 北京：中国林业出版社，1998：11-16.

[13] 李春红，蓝登明，周世权，等. 内蒙古白音敖包沙地云杉分类学研究[J]. 干旱区资源与环境，2008，22(2)：164-169.

[14] 朱国庆，刘世增，李德禄，等. 沙地云杉种子萌发及种子育苗实验[J]. 中国农学通报，2011，27(16)：22-26.

[15] 黄三祥. 沙地云杉生态学特性及引种研究[D]. 北京：北京林业大学，2004.

[16] Bewley J D, Black M. Physiology and Biochemistry of Seeds: Vol. 1[M]. New York: Springer, 1978.