

毛乌素沙地籽蒿种子萌发对光照的反应

白桦^{1,2}, 郑元润^{1,*}

(1. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:籽蒿 (*Artemisia sphaerocephala*) 为毛乌素沙地的主要物种, 广泛用于我国北方干旱、半干旱区的生态恢复。籽蒿种子萌发对光照反应的研究目前存在两种不同的结论, 对飞播技术的改善造成一定影响。考虑种源地、种子保存时间和方式、结实部位及温度, 研究籽蒿种子萌发对光照的反应。结果表明种源地、种子保存方式和时间、结实部位会影响籽蒿种子的萌发, 当温度较低时 (10:20℃), 黑暗条件下的萌发率高于光照条件下的萌发率。采自榆林地区的种子萌发率比其它两地低 (低于鄂托克旗 6.4% ~ 54.4%, 低于伊金霍洛旗 0.8% ~ 48%), 黑暗中阴干保存的种子萌发率较低 (低于新鲜保存 6.4% ~ 41.6%, 低于野外保存 2.4% ~ 39.2%), 大多数结实部位为上部的种子比下部的种子萌发率高 (2.4% ~ 41.6%)。研究结果亦表明郑元润等的结论更接近实际, 即低温与强光会抑制籽蒿种子的萌发。因此, 在飞播实践时应为种子创造一定的沙埋条件, 创造有利于种子萌发的黑暗环境, 促进种子的萌发, 从而提高飞播工作的成效。

关键词:毛乌素沙地; 飞播; 荒漠化; 植被恢复; 萌发; 籽蒿; 光照

文章编号: 1000-0933 (2009) 05-2646-09 中图分类号: Q945, Q948 文献标识码: A

Germination response of *Artemisia sphaerocephala* to light in Mu Us sandy land

BAI Hua^{1,2}, ZHENG Yuan-Run^{1,*}

1 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2646 ~ 2654.

Abstract: *Artemisia sphaerocephala* is a dominant native species distributed in Mu Us sandy land and it is widely used for vegetation rehabilitation in arid and semi-arid regions of North China. In literature, there exist two different opinions on the effect of light on seed germination of *A. sphaerocephala*. Such confusion hinders practical applications of these findings in air seeding. In this study, the influence of light on seed germination of *A. sphaerocephala* was further examined to validate the two findings. Several environmental factors are considered including the sources of seeds, the time and methods of seed storage, seed position, and temperature. Results show that the sources of seeds, the time and methods of seed storage and seed position significantly influenced seed germination of *A. sphaerocephala*. The final percent germination of *A. sphaerocephala* was higher in dark than in light at low temperature regime (10:20℃). The final percent germination was lower for seeds from Yulin than those from Otog and Ejin Horo (6.4%—54.4% and 0.8%—48% lower, respectively). In dark condition, the final percent germination was lower for dry seeds than fresh seeds and seeds stored in natural habitats (6.4%—41.6% and 2.4%—39.2% lower, respectively). It was also found that the final percent germination was mostly lower for seeds gathered from lower part of branches than from upper ones (2.4%—41.6%). These results support the findings by Zheng *et al* that lower temperatures and strong light inhibit the seed germination of *A. sphaerocephala*. Hence, efforts should be made so that seeds could be covered with sands after air seeding to facilitate seed germination in dark condition.

基金项目:国家自然科学基金资助项目 (30671724, 30570327); 国家林业科技支撑计划资助项目 (2006BAD26B0201-1)

收稿日期: 2008-01-29; 修订日期: 2008-04-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhengyr@ibcas.ac.cn

Key Words: Mu Us sandy land; air seeding; desertification; vegetation rehabilitation; germination; *Artemisia phaeocephala*; light

我国是世界上受荒漠化危害最为严重的国家之一,毛乌素沙地位于我国半干旱区,荒漠化扩展迅速,危害严重^[1],急需开展退化植被的恢复与重建工作,飞播是一项快速而有效的荒漠化防治措施,是沙质荒漠化土地植被重建与恢复的重要途径^[2],但此项技术仍存在一些问题,如飞播成苗率较低等^[2]。因此,提高飞播技术成效势在必行。飞播能否成功的关键在于种子能否萌发及幼苗能否顺利出土与定居,这一过程受诸多因素影响,其中温度、光照、土壤水分和种子埋藏深度为主要因素^[3,4]。对许多沙生植物而言,光照是影响种子萌发的极其重要的因子^[4,5]。

籽蒿(*Artemisia phaeocephala*)为毛乌素沙地广泛分布的沙生植物,是该地区半流动沙地的优势物种^[7],亦是毛乌素沙地飞播最常用的物种之一,但对这个物种种子萌发对光照反应的研究目前存在着两种不同的结论。郑元润等认为在温度偏低时光照会严重抑制籽蒿种子的萌发,而温度升高后二者萌发率差异不明显^[6]。黄振英等认为籽蒿种子在有光的条件下才能萌发,在各种温度条件下,种子萌发率在光照条件下较高,而在黑暗中均不超过 3%^[7,8]。这两个不同的结论不仅造成学术研究的混淆,更重要的是在采用这种植物种子进行飞播工作时会造成非常不利的影响。因为种子萌发如需要黑暗条件,则需在飞播工作中尽量为飞播后的种子创造一种无光的条件,如采用一定沙埋的方式等;否则需要创造有光的条件,如尽量使种子停留在沙丘表面等。

影响种子萌发对光照反应的因素较多。如种源地^[9]、植株年龄^[9]、母株生长状况^[9]、结实部位^[9]、种子颜色^[9]、种子保存方式^[10,11]、保存时间^[10]、实验条件等。研究表明由于长期以来对不同生境的适应,可能造成不同种源地种子萌发对不同环境条件适应方式的不同^[9]。不同年龄阶段植株产生的种子其萌发特性也可能不同^[9]。有些植物种子在植株结实部位的差异会影响种子的最终萌发率^[9]。种子颜色可能影响进入种子内部光线的光谱组成及光照强度,进而影响种子萌发^[9]。有些种子在低温保存时当种子含水量降至 30% ~ 65%,其萌发活力就会丧失^[12],Beardsell 和 Mullett 发现有些植物的新鲜种子在 20℃ 时萌发率可达到 45%,而经过一年的干燥储存后几乎不能萌发^[10]。此外,实验条件也可能对实验结果造成直接影响。Leck 和 Brock 研究发现种子对氧气的利用程度会影响种子的萌发^[13]。如通风状况不好,种子在封闭环境内会由于呼吸作用逐渐消耗掉有限空间内的氧气,使空气中缺氧或氧含量过低,进而影响种子萌发。

尽管黄振英等^[7,8]与郑元润等^[6]的实验设计都比较周全,但造成籽蒿种子萌发对光照反应不同结果的原因仍不清楚。本文对种源地、结实部位、种子保存条件与时间、温度、光强等因子对籽蒿种子萌发的影响进行系统研究,力图澄清造成这一矛盾结论的原因,阐明籽蒿种子萌发对光照条件的适应机理与过程,从而改善毛乌素沙地的飞播技术,促进该地的植被恢复。

1 研究地区

毛乌素沙地位于内蒙古自治区中部的鄂尔多斯高原南部和黄土高原北部区域,海拔 1200 ~ 1600m,面积约 40000km²,属温带半干旱大陆性气候,年均温 6 ~ 9℃,年降水量 250 ~ 440mm,由东南向西北递减,潜在蒸散率(*PER*)0.8 ~ 2.5^[14]。

2 研究方法

2.1 种子的采集

于 2006 年 10 月下旬至 11 月上旬在毛乌素沙地从东至西的 3 个不同地点采集籽蒿的成熟瘦果。种源地选定为黄振英等^[7,8]和郑元润等^[6]分别提到的地点陕西榆林小纪汗、内蒙古鄂托克旗和内蒙古伊金霍洛旗,在每个种子采集点选择面积大于 100m²,植株分布比较均匀,人为破坏较少的半固定沙地进行种子采集(表 1 和图 1)。选择大小、高度相似且生长密度较为一致的植株采种,每个植株以结实部分枝条的中间位置为分界点,分上部和下部进行采集。

表 1 籽蒿 3 个生长区域的自然条件
Table 1 Habitats of *Artemisia sphaerocephala* in the three sites

种源地 Source of seeds	鄂托克旗 Otog	伊金霍洛旗 Ejin Horo	榆林小纪汗 Yulin xiaojihan
地理坐标 Location	39°3'32.8"N, 107°58' 2.0" E	39°28'49.3" N, 110°12'5.3" E	38°25'44.1" N, 109° 33 54.1" E
年均降水量 Mean annual precipitation (mm)	271.5	393.7	413.9
年均蒸发量 Mean annual evaporation (mm)	2470.4	2311.2	1895.7
年均温 Mean annual temperature (℃)	6.36	6.12	8.05
植物群落类型 Plant community	籽蒿群落 <i>A. phaeocephala</i> community	油蒿与籽蒿群落 <i>A. ordosica</i> and <i>A. sphaerocephala</i> community	籽蒿群落 <i>A. phaeocephala</i> community

2.2 种子的保存

按 3 种方式保存种子:新鲜种子用小棉布袋封装后放入 4℃ 的冰箱中保存不同的时间;新鲜种子在室温下阴干后用小棉布袋封装后放入 4℃ 的冰箱中保存;新鲜种子用小棉布袋封装后置于母株下土壤表面 20 周左右取回进行室内控制实验。

2.3 室内控制实验

实验在全自动人工生长箱中进行,采用冷白色荧光灯光源每日在白天连续照射 14h。实验用种子均在 0.52% 的 NaClO 溶液中消毒 1min,再以蒸馏水漂洗多次,防止菌类滋生^[6]。每个处理包括 5 个重复,每个重复的培养皿放 3 层滤纸,随机放上 25 粒健康的种子进行萌发试验。根据实验目的的不同,每天或最后一次观察种子萌发状况,如果出现胚根则记为已经萌发,丢弃计数过后的种子。实验持续到最终萌发率稳定时为止。黑暗处理采用双层黑色木箱,在箱子内外两侧的不同地方开两个狭长的口子,保证避光及较好的通风状况。

2.3.1 不同温度下种子萌发对光照的反应

选用阴干种子,分不同的种源地、结实部位进行实验,光照强度为 352.8 μmolm⁻²s⁻¹、近似黑暗(在 9.8 μmolm⁻²s⁻¹ 的光照下每日检查)和黑暗(最后一天检察)。温度控制为 10:20℃(连续黑暗低温 10h:白天连续光照高温 14h,下同)、15:25℃。

实验在日本鸟取大学干燥地研究中心的最新大型人工气候室中完成,尽管距离光源较近时光照强度接近自然光(毛乌素沙地野外晴天中午时光照在 2000 μmolm⁻²s⁻¹ 左右),但为避免光源的加热效应,同时由于本实验处理较多,需要空间较大,实验培养皿所处位置的平均光照只能达到 352.8 μmolm⁻²s⁻¹ 的水平,接近郑元润等实验的光照水平^[6]。其次,郑元润等的研究结果^[6]表明低温时 215 μmolm⁻²s⁻¹ 的光照已足以导致籽蒿种子萌发率的大幅降低,因此,综合考虑,将此实验的最大光照条件定为 352.8 μmolm⁻²s⁻¹。

其次,郑元润等的研究结果^[6]表明:每日检查(在 9.8 μmolm⁻²s⁻¹ 的光照下检查)的近似黑暗水平和最后检查的黑暗水平并未对籽蒿种子萌发造成明显影响;低温下(10:20℃)强光会抑制籽蒿种子萌发,而在温度较高时(15:25℃)强光并未表现出抑制作用,但其实验结果仅来自于伊金霍洛旗的一种类型的种子。为阐明采自不同地点、不同结实部位的种子是否仍符合上述规律,以便减少后续实验处理的数量,对阴干种子进行了两

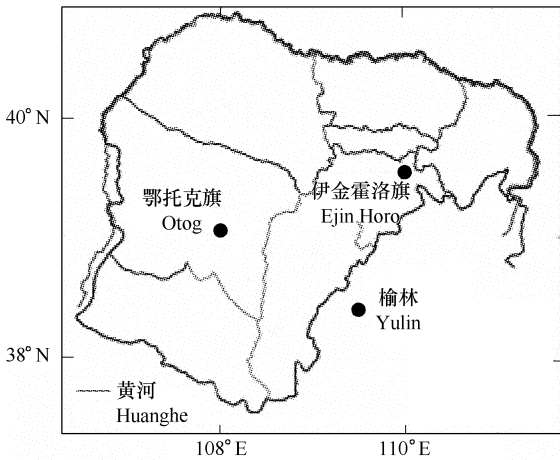


图 1 采样地点地图

Fig. 1 Sampling location map

图中 3 个黑点分别表示 3 个采样地点 The three dark dots in the map indicted sampling sites

种黑暗条件的设置:一是近似黑暗(在 $9.8\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的光照下每日检查)和黑暗(最后一天检查),并在较低温度($10:20^{\circ}\text{C}$)和较高温度($15:25^{\circ}\text{C}$)两个温度条件下进行实验。但由于在较低温度($10:20^{\circ}\text{C}$)时的实验结果表明近似黑暗和黑暗两种种子萌发检查方式在绝大多数情况下没有造成显著影响(榆林下部的种子除外),在进行温度为 $15:25^{\circ}\text{C}$ 的实验时仅采用在 $9.8\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的光照下每日检查的近似黑暗方式,以避免最后检查的方式可能成氧气不足,影响种子的萌发。

2.3.2 不同种源地、结实部位、保存方式下种子萌发对光照的反应

实验仍在日本鸟取大学干燥地研究中心进行。由于 2.3.1 的实验结果表明近似黑暗和黑暗两种种子萌发检查方式在绝大多数情况下没有造成显著影响(榆林下部的种子除外);当温度为 $15:25^{\circ}\text{C}$ 时,在光照与黑暗条件下种子萌发率无显著差异,这与郑元润等的结果^[6]一致。为减少实验处理,本实验温度设置为 $10:20^{\circ}\text{C}$,光照条件设置为 $352.8\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$,黑暗处理设置为近似黑暗。

2.3.3 不同保存时间对种子萌发的影响

实验在中国科学院植物研究所的小型生长箱中进行。黄振英等采种后^[7]开始实验的时间不明,而郑元润等采种后将种子置于 4°C 的低温条件下保存了 1~2a 后才开始实验^[6]。为探讨种子保存时间对种子萌发的影响,采用采自不同地点、植株不同结实部位的新鲜种子进行实验,保存时间分别为 0、2、4、8、15、19 周,温度控制为 $5:15$ 、 $10:20$ 、 $15:25$ 、 $20:30$ 、 $25:35^{\circ}\text{C}$ 。由于本实验的目的仅为探讨种子保存时间对种子萌发的影响,同时,黄振英等^[7]和郑元润等^[6]的实验表明籽蒿种子在 $100\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的光照下可以较好萌发,另外,由于国内绝大多数生长箱的光照水平在 $100\sim 200\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$,要保证所有处理的光照水平一致,所设定的光照水平须更低,因此实验光照强度设为 $100\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

2.4 统计分析

在进行方差分析时,先对数据进行方差齐次性检验,必要时,对数据进行反正弦平方根转换,然后进行方差分析。采用 Tukey 检验进行多重比较,确定哪些处理间的差异达到显著水平。所有统计分析,包括方差齐次性检验,均采用 SPSS10.0 软件进行^[15]。

3 结果

3.1 不同温度下种子萌发对光照的反应

在 $10:20^{\circ}\text{C}$ 的条件下,各种源地上下部种子萌发率有一定差异,但不明显;籽蒿种子在近似黑暗条件下的萌发率高于光照条件下的萌发率;黑暗比近似黑暗条件下的种子萌发率略低,但采自榆林植株下部的种子,二者差异较大,黑暗比近似黑暗条件下的萌发率低 20% 左右。采自鄂托克旗、伊金霍洛旗的种子萌发率显著高于采自榆林种子的萌发率(图 2)。

在 $15:25^{\circ}\text{C}$ 时,采自不同种源地、结实部位的种子在近似黑暗与光照条件下的萌发率差异不显著。尽管有些处理差异未达到显著水平,但种子萌发率在 $15:25^{\circ}\text{C}$ 下均较在 $10:20^{\circ}\text{C}$ 下为高(图 2)。

3.2 不同种源地、结实部位、保存方式下种子萌发对光照的反应

四因素方差分析表明:种源地、结实部位、保存方式、光照对籽蒿种子萌发率影响显著,除光照与结实部位、结实部位与种源地、光照和保存方式及结实部位、保存方式和结实部位与种源地的交互作用外,其它交互作用均对籽蒿种子的萌发有显著影响(表 2)。

在 $10:20^{\circ}\text{C}$ 时,种子萌发率在近似黑暗中均较在光照条件下高。结实部位为上部时,对新鲜种子而言,采自鄂托克旗、伊金霍洛旗和榆林的种子在光暗条件下的萌发率差异分别为 29.6%、40.8%、71.2%(图 3);对野外保存种子而言,3 地萌发率差异分别为 28.8%、63.2%、72.8%(图 3);对阴干保存的种子而言,3 地萌发率差异分别为 47.2%、8.8%、20%(图 2);结实部位为下部时,3 地新鲜种子萌发率差异分别为 60%、39.2%、57.6%(图 3);3 地阴干种子萌发率差异分别为 44.8%、19.2%、24%(图 2);3 地野外保存种子萌发率差异分别为 74.4%、53.6%、68%(图 3);总体而言,来自榆林地区的种子萌发率比其他两地低(低于鄂托克旗 6.4%~54.4%,低于伊金霍洛旗 0.8%~48%),近似黑暗中阴干保存的种子萌发率较低(低于新鲜保存 6.4%~

41.6%, 低于野外保存 2.4% ~ 39.2%), 大多数结实部位为上部的种子比下部的种子萌发率高(2.4% ~ 41.6%)。

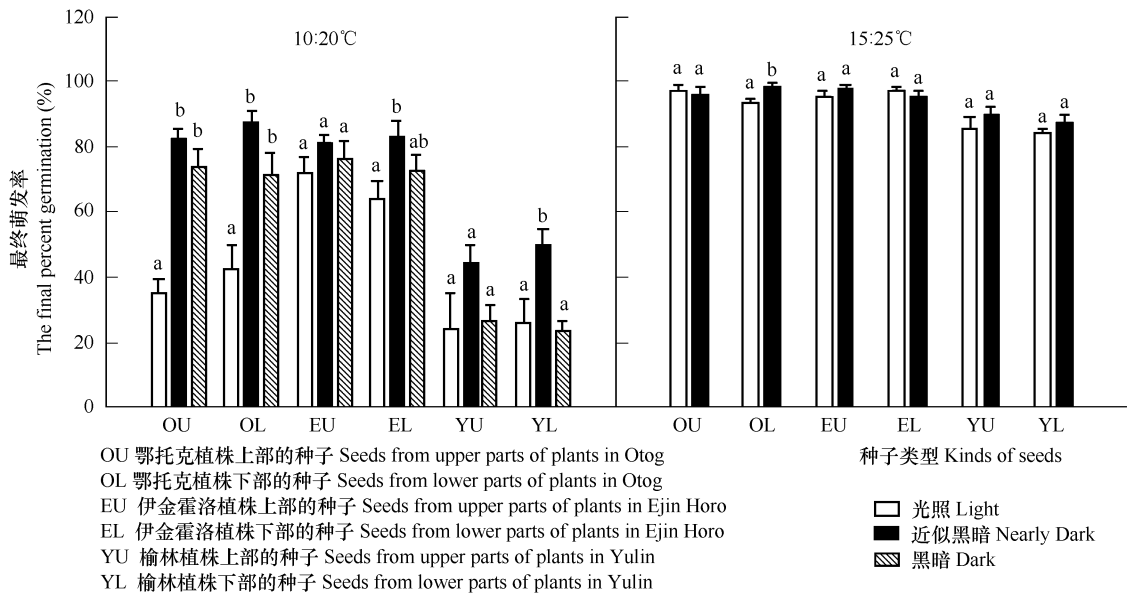


图2 10:20℃与15:25℃时光照与黑暗条件下阴干籽蒿种子萌发率比较

Fig. 2 The final percent germination of dry seeds of *Artemisia sphaerocephala* in light and dark at 10:20°C and 15:25°C

图中不同小写字母表示同一种源地及同一结实部位不同光照处理条件下种子萌发率显著不同 Bars with different lowercase letters are significantly different from each other with different light under same seed sources and seed positions

表2 种源地、结实部位、保存方式、光照对籽蒿种子萌发率影响的4因素方差分析

Table 2 Results of four-way ANOVA of the final percent germination of *Artemisia sphaerocephala* under different seed sources, seed storage methods, seed positions, and light at 10:20°C

偏差来源 Source	自由度 Df	最终萌发率 Final percent germination	
		F 值 F-value	P 值 P-value
光照 Light (L)	1	735.817	0.000
保存方式 Seed storage methods(W)	2	5.940	0.003
结实部位 Seed positions(P)	1	5.260	0.023
种源地 Seed sources(S)	2	95.379	0.000
光照×保存方式 L×W	2	32.948	0.000
光照×结实部位 L×P	1	3.703	0.056
光照×种源地 L×S	2	6.686	0.002
保存方式×结实部位 W×P	2	3.327	0.039
保存方式×种源地 W×S	4	7.294	0.000
结实部位×种源地 P×S	2	2.858	0.061
光照×保存方式×结实部位 L×W×P	2	0.345	0.709
光照×保存方式×种源地 L×W×S	4	7.114	0.000
光照×结实部位×种源地 L×P×S	2	7.310	0.001
保存方式×结实部位×种源地 W×P×S	4	1.873	0.118
光照×保存方式×结实部位×种源地 L×W×P×S	4	3.642	0.007
误差 Error	144		

3.3 不同保存时间对萌发的影响

方差分析表明种源地、温度、保存时间以及它们之间的交互作用对籽蒿种子萌发有显著影响。由图4可

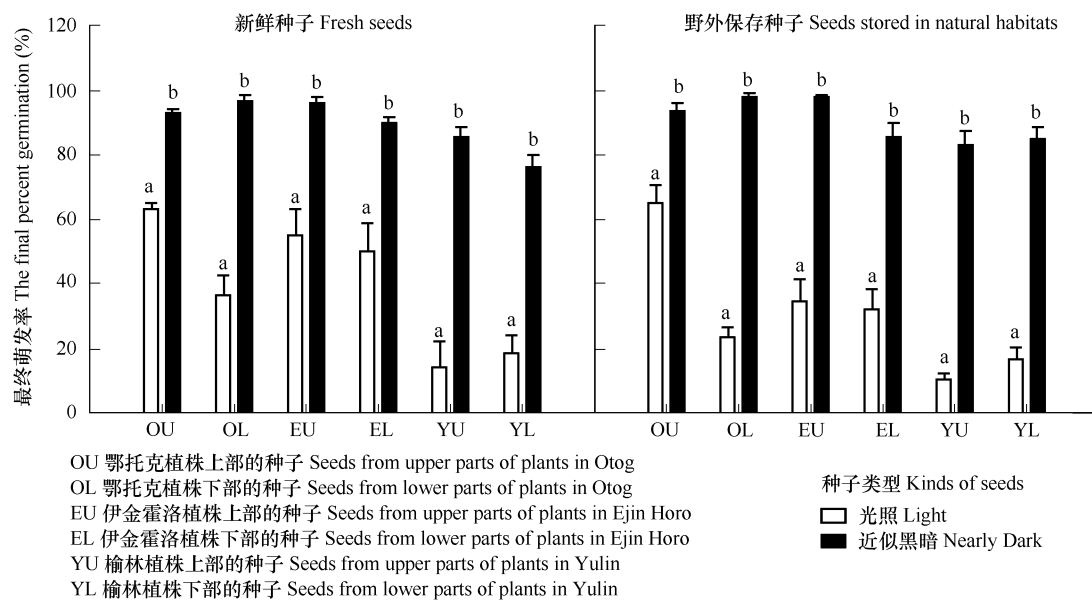


图3 10:20℃时光照与黑暗条件下籽蒿种子最终萌发率

Fig. 3 Comparison of the final percent germination of *Artemisia sphaerocephala* in light and dark at 10:20°C

图中不同小写字母表示同一种源地及同一结实部位不同光照处理条件下种子萌发率显著不同 Bars with different lowercase letters are significantly different from each other with different light under same seed sources and seed positions

见,保存19周与保存0、2、4、8周的种子萌发率均差异显著(温度为5:15、10:20、25:35℃时);保存15周与保存2、4周的种子萌发率差异显著(温度为5:15、25:35℃时)。在其他保存时间下种子萌发率差异均不显著。

种子萌发率在保存前几周时变化不大,但在温度较高和较低时,随着保存时间的延长,种子萌发率下降较快,而在适宜温度下种子萌发率变化不明显(图4)。

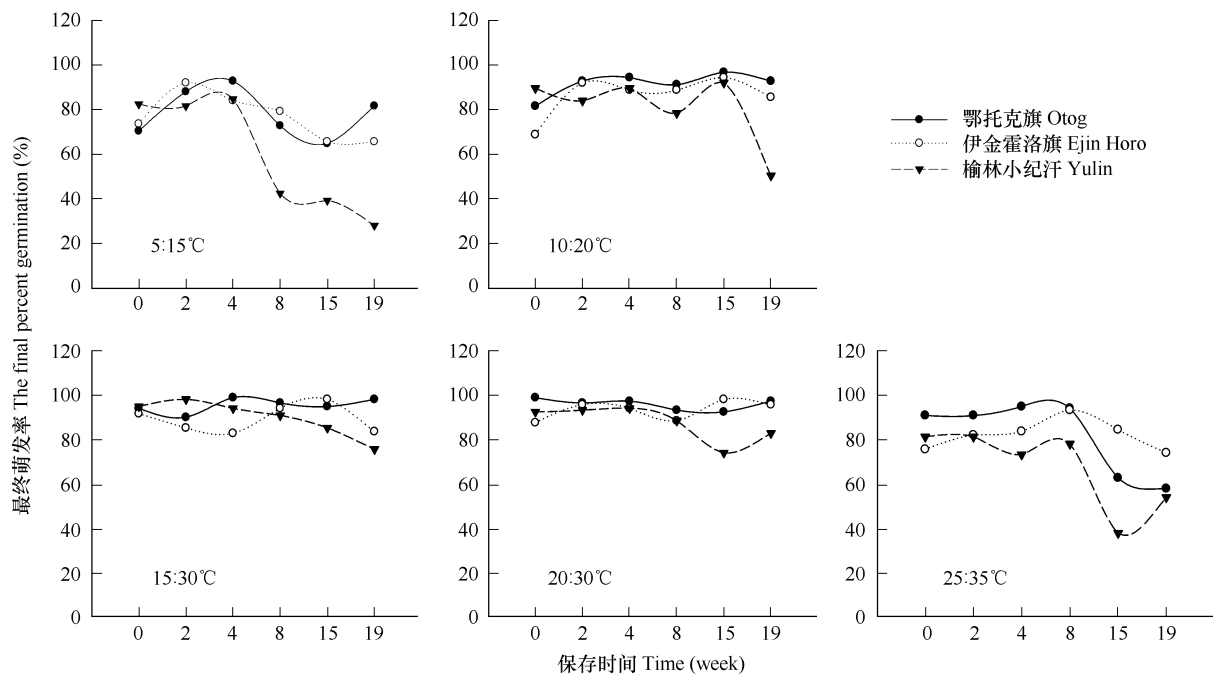


图4 温度、种源地、种子保存时间对籽蒿种子萌发的影响

Fig. 4 Final percent germination of *Artemisia sphaerocephala* in different storing time, temperature and sites

4 讨论

黄振英等^[7-8]的实验结果认为籽蒿种子萌发率在光照中大大高于黑暗环境中的萌发率,在黑暗中任何温度范围下,种子萌发率均很低($<3\%$)^[7]。而郑元润等^[6]认为在低温($5:15^{\circ}\text{C}$ 和 $10:20^{\circ}\text{C}$)条件下,强光会抑制种子萌发,萌发率会随着光照强度的增加而降低^[6]。但在 $100\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的光照强度下,他们的结论相差不大。

由于长期以来对不同生境的适应,可能造成不同种源地种子萌发与幼苗出土对不同环境条件适应方式的不同^[9]。黄振英等实验中的种子采集于毛乌素沙地榆林地区小纪汗林场^[7],或可能为毛乌素沙地($38^{\circ}06'\text{N}$; $107^{\circ}30'\text{E}$),地理坐标显示为内蒙古鄂托克旗^[8]。郑元润等实验中的种子采集于毛乌素沙地伊金霍洛旗($39^{\circ}20'\text{N}$; $109^{\circ}53'\text{E}$)^[6]。采用来自上述3个地区种子的实验表明种源地的不同对种子萌发率有较大影响,但近似黑暗条件下种子的萌发率都高于光照条件下的种子萌发率。

种子颜色可能影响进入种子内部光线的光谱组成及光照强度,进而影响种子萌发^[9]。郑元润等用于实验的种子颜色为黄褐色^[6]。黄振英等发现籽蒿种子有3种颜色,且不同颜色的种子分别为:黄褐色90%、黄色5%、黑色5%^[16]。他们认为培养时间在10d以上时,种子颜色对萌发率基本没有影响^[16]。种子颜色不是造成籽蒿种子萌发对光照反应不同结论的原因。

种子在土壤或冰箱中保存一定时间后,种子萌发对光照的反应可能发生改变^[9]。许多木本和草本种子尤其是原产温带和寒带的野生植物种子,休眠的解除需要吸胀种子经过一个低温过程,温度一般在 $1\sim 10^{\circ}\text{C}$,使种子完成生理后熟^[17]。很多沙生植物的种子在刚成熟时具有非深度生理休眠,可以通过较短的低温层积处理或高温来打破^[9]。黄振英等于1997年10月22日采种^[7],开始实验的时间可能在采集种子以后不久,而郑元润等于2000年10月20至25日采集种子后置于 4°C 的低温条件下保存了1~2a后才开始实验^[6]。他们的采种时间基本一致,均在籽蒿种子的成熟期,但种子的保存时间有所不同。光照及黑暗条件下 4°C 短期冷藏对种子萌发率影响不大,冷藏8周到19周以后,种子萌发活力略有下降(图4)。

对某些种子而言,种子保存方式会影响种子萌发^[10,11]。有些种子成熟后未完全干燥,一旦种子含水量降至30%~65%,其萌发活力就会丧失^[12],Beardsell和Mullett研究发现有些植物新鲜种子在 20°C 时萌发率能达到45%,经过1a的干燥储存后几乎不能萌发^[10]。Bradbeer和Colman认为对某些植物来说一定时间的干燥储存可以打破种子的休眠进而提高萌发率^[11]。郑元润等^[6]所用的种子是经过阴干后在 4°C 的低温条件下保存的。黄振英等所用的种子保存方式不明,可能为新鲜种子或阴干种子。对3种不同保存方式的种子萌发对光照反应的实验表明:在 $10:20^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,近似黑暗中种子的萌发率均高于在光照中的萌发率,远高于3%,接近郑元润等的结论^[6]。

有些植物种子在植株生长部位的差异会影响种子的最终萌发率^[9],黄振英等^[7,8]与郑元润等^[6]采集种子的部位可能不同。结果表明采自植株上、下部位的种子对萌发率有一定影响,但近似黑暗条件下的萌发率均高于光照条件下的萌发率,没有出现在黑暗中萌发率低于3%的情况,而与郑元润等的结论相似^[6]。

不同年龄阶段植株产生的种子其萌发特性也可能不同^[9],黄振英等^[7,8]与郑元润等^[6]采集种子的母株年龄可能不同,但籽蒿的生殖枝仅在当年生长,越冬即枯死^[18],生殖枝寿命均为1a。不同年龄植株产生的种子不会改变种子萌发对光照的反应。

植株的高度、密度可能影响种子的萌发特性^[9]。黄振英等^[7,8]与郑元润等^[6]采集种子的母株生长状况可能不同,但他们采种均在自然籽蒿群落中进行,应该包括了不同高度与密度的植株。其次,限于野外采种与室内实验的工作量,本文仅选取可能影响籽蒿种子萌发对光照反应的最重要因素进行研究,并未包括植株密度与高度的影响。

光照强度的影响。黄振英等实验中采用的光照强度为 $100\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ^[7]。郑元润等采用的光照强度为0、25、100、 $400\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 4个级别^[6]。在 $100\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的光照强度下,二者实验结果较接近。光照强度在 $100\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 时,与郑元润等^[6]和黄振英等^[7,8]的结论都很接近,光照强度为 $352.8\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 时接近郑元

润等^[6]的结果。强光抑制籽蒿种子萌发与籽蒿适应沙生环境有关。如果籽蒿种子散播于沙丘表面(强光),萌发后形成的幼苗将面临沙面较低的湿度、较高的蒸发需求和较高的温度,而使幼苗大量死亡。因此,光照抑制种子萌发的机制对籽蒿幼苗的成功定居是有利的。籽蒿主要分布于流动、半流动沙地,种子会经常遭到沙埋(黑暗),此时,种子萌发后根会得到较好发育,长出沙面时抵抗沙面干旱、高温的能力就会大大提高^[6]。

Leck 和 Brock 研究发现种子对氧气的利用程度影响种子萌发^[13]。黄振英等^[7,8]未具体说明实验中黑暗处理的方法;郑元润等^[6]黑暗处理是采用双层黑色木箱,在箱子内外两侧的不同部位开两个狭长的口子以利通风,培养皿置于内部的箱子中。可能二者黑暗环境的设置方法不一致导致黑暗中种子的通风状况不一致,进而使得在黑暗条件下种子萌发率的差异。两种不同黑暗条件设置方法的结果表明:由于每日检查种子的黑暗处理通气状况要好于最后一天检查的黑暗处理,在前者条件下种子萌发率要高于后者,尤其是采自榆林的种子受通气状况的影响较大(两种黑暗处理造成的最终萌发率差异可达 20%,图 2)。黄振英等^[7]的另一个实验结果表明:随着种子埋藏深度的增加,透过沙层的光线减少,种子萌发率降低。本测定结果发现在 0.2cm 的沙层以下能透过的光线已经相当少(表 3),但黄振英等^[7]的结果表明此时种子仍能很好萌发,与其前面结论有出入。郑元润等^[6]的结果表明在光照强度为 $25\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 时,种子萌发率在光照与黑暗条件下的差异已不明显。这一现象进一步表明黑暗条件有利于籽蒿种子萌发。

表 3 不同深度沙层下的光照强度

Table 3 The light intensity at the different sand depths

光照强度 Light ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	处理 Treatment	沙层深度 Depth (cm)				
		0.1	0.2	0.5	0.8	1
1646.7	干沙 Dry sand	17.2	0.29	0.1	0.08	0.02
	湿沙 Moist sand	24.1	1.59	0.01	0.02	0.05

黄振英等^[7,8]、郑元润等^[6]的实验光照条件相差较大,同时后者实验过程中通气状况较好,后者的结论更接近实际,即在低温条件下强光会抑制籽蒿种子的萌发,黑暗条件促进籽蒿种子萌发。由于毛乌素沙地晴天的光照通常高达 $2000\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上,强光会对种子萌发造成较大影响,因此,在飞播实践时应为种子创造一定的沙埋条件,创造有利于种子萌发的黑暗环境,促进种子的萌发,从而提高飞播工作的成效。

由于目前国内外实验条件的限制,本文实验无法达到绝对意义上的黑暗条件。即使在种子供水后快速置于黑暗条件下,种子仍会在供水时受少量光照影响。因此,本文的结果不能排除籽蒿种子萌发是否需要微光,有待国际上实验仪器与技术进步后解决。

References:

- [1] Wu B, Ci L J. Temporal and spatial patterns of landscape in the Mu Us Sandland, Northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 191—196.
- [2] Qi J Z. Aerial sowing for Sand Control in China. Beijing: Science Press, 1998.
- [3] Zheng Y R, Xie Z X, Gao Y, *et al.* Ecological restoration in northern China: germination characteristics of 9 key species in relation to air seeding. *Belgian Journal of Botany*, 2003, 136(2): 129—138.
- [4] Gutterman Y. Seed germination in desert plants. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 20—21.
- [5] Khan M A, Ungar I A. Effects of light, salinity, and thermoperiod on the seed germination of halophytes. *Canadian Journal of Botany*, 1997, 75: 835—841.
- [6] Zheng Y R, Xie Z X, Gao Y, *et al.* Effects of light, temperature and water stress on germination of *Artemisia sphaerocephala*. *Annals of Applied Biology*, 2005, 146(3): 327—335.
- [7] Huang Z Y, Gutterman Y, Hu Z H, *et al.* Seed germination in *Artemisia sphaerocephala* II. The influence of environmental factors. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(2): 240—246.
- [8] Huang Z Y, Gutterman Y. Comparison of germination strategies of *Artemisia ordosica* with its two congeners from deserts of China and Israel. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(1): 71—80.

- [9] Baskin C C and Baskin J M. Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. San Diego: Academic Press, 1998.
- [10] Beardsell D, Mullett J. Seed germination of *Eucalyptus pauciflora* Sieb. ex Spreng. from low and high altitude populations in Victoria. Australian Journal of Botany, 1984, 32: 475–480.
- [11] Bradbeer J W, Colman C. Studies in seed dormancy I. The metabolism of $[2-^{14}\text{C}]$ acetate by chilled seeds of *Corylus avellana* L. New Phytologist, 1967, 66: 5–15.
- [12] Chin H F, Krishnapillay B, Stanwood P C. Seed moisture: Recalcitrant vs. orthodox seeds. Crop Science Society of America Special Publication, 1989, 14: 15–22.
- [13] Leck M A, Brock M A. Ecological and evolutionary trends in wetlands: Evidence from seeds and seed banks in New South Wales, Australia and New Jersey, USA. Plant Species Biology, 2000, 15: 97–112.
- [14] Zhang X S. Principles and optimal models for development of Maowusu sandy grassland. Acta Phytocologica Sinica, 1994, 18(1): 1–16.
- [15] SPSS. SPSS 10.0 for windows. SPSS Inc. USA, 2000.
- [16] Huang Z Y, Gutterman Y, Hu Z H, et al. Seed germination in *Artemisia sphaerocephala* I. The structure and function of the mucilaginous achene. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(1): 22–28.
- [17] Joseph A, Thomas R P. Dormancy factors in iris (Iridaceae) seeds. American Journal of Botany, 1969, 56(3): 254–259.
- [18] Zhang J, Ma J Y, Yao J, et al. Study on exploitation and utilization on wild *Artemisia sphaerocephala*. Pratacultural Science, 2002, 19(7): 10–12.

参考文献:

- [1] 吴波, 慈龙骏. 毛乌素沙地景观格局变化研究. 生态学报, 2001, 21(2): 191–196.
- [2] 漆建忠. 中国飞播治沙. 北京: 科学出版社, 1998.
- [7] 黄振英, Gutterman Yitzhak, 胡正海, 等. 白沙蒿种子萌发特性的研究 II. 环境因素的影响. 植物生态学报, 2001, 25(2): 240–246.
- [14] 张新时. 毛乌素沙地的生态背景及其草地建设的原则与优化模式. 植物生态学报, 1994, 18(1): 1–16.
- [16] 黄振英, Gutterman Yitzhak, 胡正海, 等. 白沙蒿种子萌发特性的研究 I. 粘液瘦果的结构和功能. 植物生态学报, 2001, 25(1): 22–28.
- [18] 张继, 马君义, 姚健, 等. 野生植物白沙蒿资源的综合开发利用研究. 草业科学, 2002, 19(7): 10–12.