

光照、赤霉素对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

周梦霞, 彭正松, 杨在君, 包志远

(西华师范大学 西南野生动植物资源保护省部共建教育部重点实验室, 四川 南充 637009)

摘要:以灰毛蓝钟花种子为试材,采用正交实验设计,研究了光照、赤霉素浓度、不同浸种时间处理对灰毛蓝钟花种子萌发情况的影响,以期提高灰毛蓝钟花种子的萌发率,增加高山植物在低海拔地区存活的机率。结果表明:灰毛蓝钟花种子在赤霉素浓度 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、光照 12 h、浸种 12 h 或 18 h 时发芽率、发芽势以及发芽指数最大,种子萌发持续时间最长,种子开始萌发时间和萌发高峰期最短。灰毛蓝钟花种子不喜长时间光照,光照时间越长不利于种子发芽,黑暗处理对种子萌发有促进作用。浸种时间越长对种子损害越大,不利于种子萌发。

关键词:灰毛蓝钟花;种子萌发;光照;赤霉素;浸种时间

中图分类号:S 682.1⁺9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)07-0073-08

灰毛蓝钟花(*Cyananthus incanus*)属桔梗科(Campanulaceae)蓝钟花属,主要分布于喜马拉雅山等邻近地区。在我国分布于西藏南部和东部、云南西北部、四川西南部和青海(囊谦),锡金、不丹、印度也有分布^[1]。灰毛蓝钟花是生长高度介于树线以上雪线(固态降水的零平衡线)以下的高山植物,生于海拔 3 100~5 400 m 的高山草地、灌丛草地、林下、路边及河滩草地中^[2]。作为一种高山植物,其形

态优美、生态功能显著、适应特殊综合生态环境强,具有观赏价值、药用价值、生态价值以及遗传价值。鉴于多年来无人引种驯化成功,为提升野生植物种子资源价值,该试验通过研究灰毛蓝钟花的引种渠道,为该种广泛运用以及价值实现提供了依据。

灰毛蓝钟花种子矩圆状,淡褐色,平均长 1.721 mm,宽 0.540 mm。长宽比 3.187。在体式显微镜(SMZ-118-TL)下解剖,用 Motic Image Advanced 软件观察到种子深棕色有黑色斑纹。表皮皮表面是窄网状条纹形纹饰,网壁宽、疏、网眼小^[3]。在喜马拉雅山一代高山地区,该植物以种子繁殖为主,种子为蒴果,种子产量大,在生产地繁殖快,产量高,但是随着近年气温升高,该种因气温变化而呈现向生长地高海拔地区生长,同时植物产量减少而且人工培养种子成活率、发芽率低。为了改变此现状,该试

第一作者简介:周梦霞(1991-),女,硕士研究生,研究方向为园林植物与观赏园艺。E-mail:Zhoumengxiahyp@163.com.

责任作者:彭正松(1964-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事植物资源保护与利用等研究工作。E-mail:pzs8833@163.com.

收稿日期:2016-09-23

Abstract: The responses of physiology and photosynthesis were researched in *Rhododendron* 'Yanzhimi', 'Yuanyangjin', 'Huahudie', 'Zichendian', 'Jinpao', 'Zihe' under drought stress. The results showed that the leaves of *Rhododendrons* became drop, wilting with different degrees and even died, among those, the leaves of 'Jinpao' were hurt most lightly. The content of MDA increased and then decreased. The content of protein of most *Rhododendrons* appeared a gently decreasing trend but 'Zihe' decreased firstly and then increased, reaching the highest point after 10 days. The content of chlorophyll decreased firstly and then increased. Initial fluorescence (F_0) indicated decreasing trend firstly, and then increasing, however, that of 'Huanhudie' and 'Zihe' decreased sharply to zero and which was consisted with their appearance. The value of F_v/F_m (Optimal photochemical efficiency of PSII) and F_v/F_0 (Potential activity of PSII) remained at a certain state, except two drought-sensitivity cultivars ('Huanhudie', 'Zihe') decreased sharply.

Keywords: *Rhododendron*; drought stress; physiological response; chlorophyll fluorescence

验以灰毛蓝钟花种子为试材,研究了不同条件处理对灰毛蓝钟花种子发芽率、发芽势的影响,以期得到最佳发芽率、发芽势的条件。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试灰毛蓝钟花(*Cyananthus incanus*)种子于2015年11月采自康定县塔公格萨尔草原附近,海拔3 890 m,东经101°67',北纬30°19'。选择充分成熟、充实饱满、健康无病虫、完整无损伤、耐贮藏的非休眠种子,将其处理后,放在干燥清洁的地方保存,供发芽使用。培养皿多个,滤纸若干。

1.2 试验方法

1.2.1 种子活性测定 种子活力是种子或种胚在发芽和出苗期间的活性水平和行为的综合表现,是在田间条件下,决定种子迅速出苗以及幼苗正常生长的潜力指标^[4]。从发芽的种子中随机抽取100粒种子用TTC染色法染色12 h,用刀片切开染色后的种子,取出种胚放于垫有铜版纸的体式显微镜下观察种胚颜色由灰色变为红色^[5]。

1.2.2 试验设计 试验在四川西南野生动植物资源保护省部共建教育部重点实验室进行,将选取的种子用灭菌后的纱布包好种子放置于培养皿中,用不同浓度梯度的赤霉素^[6](50、100、200、400、600、800 mg·L⁻¹)进行浸种,每种浓度的种子浸种时间(0、6、12、18、24 h)不同,用灭菌水冲洗3次,放置于垫有2层滤纸的培养皿中,于智能人工气候培养箱中(产自宁波赛福实验仪器有限公司)培养,设置温度白天25℃、夜晚15℃,光照强度100%,湿度30%,设置不同时间光照(24 h光照、12 h光照12 h黑暗、24 h黑暗)。该试验共84个处理,每个处理3次重复,每次处理100粒种子。每天早上喷水一次,并从试验第2天开始记录其萌发开始时间、发芽率、发芽势、种子萌发持续时间、发芽指数等指标。发芽周期为20 d。设置0 h浸种,0 mg·L⁻¹浓度,0 h光

照处理为对照,其它处理为试验组。

1.3 项目测定

根据每天记录的发芽情况,计算发芽率和发芽势等生理指标。发芽率:在发芽周期中,发芽种子总数与供试种子总数之比。发芽势:在发芽周期中,日发芽种子数达到最大的发芽种子总数与发芽种子总数之比。发芽开始萌发时间:发芽试验开始至第一粒种子开始发芽所需要的时间。萌发高峰期:从试验开始到日发芽种子达到最大所需的天数。发芽持续时间:从种子开始萌发至最后一粒种子萌发的天数。发芽指数:指一个周期内,种子发芽数除以相应的发芽天数。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel软件^[7]和SPSS软件进行方差分析^[8],采用Duncan's的新复极差法进行差异显著性检验^[9]。

2 结果与分析

2.1 不同浸种时间对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

由表1可知,浸种时间对发芽率、发芽势以及发芽指数的影响趋势呈先增后减的趋势,种子开始萌发时间、萌发高峰期呈先减后增趋势。除12 h浸种处理外,萌发持续时间仍呈先增后减的趋势,并在12 h萌发持续时间最短,在18 h萌发持续最长。当浸种时间是0 h,发芽率(5.67±1.01)%,发芽势(26.00±1.18)%,发芽指数(0.63±0.06),为对照组。试验组普遍高于对照组,当浸种时间达到18 h,发芽率达到最大,为(31.61±1.52)%。除与12 h浸种无显著差异外,显著高于其它时间浸种处理($P<0.05$)。当12 h与18 h浸种处理对比,发芽率和发芽势无显著差异,但12 h浸种处理,其发芽指数高于18 h浸种处理,12 h浸种处理其发芽率、发芽势和发芽指数都普遍高于其它时间浸种处理,其中最大发芽势是(71.47±1.56)%,发芽指数是2.96±0.16,显著高于其它处理($P<0.05$)。对于另外3种指标,试

表1 不同浸种时间对灰毛蓝钟花种子萌发的影响^[10]

Table 1 Effect of different soaking time on seed germination of *Cyananthus incanus*

浸种时间 Soaking time/h	发芽率 Germination rate/%	发芽势 Germination potential/%	种子开始萌发时间 Germinate starting time/d	萌发高峰期 Germination peak/d	萌发持续时间 Germination duration/d	发芽指数 Germination index
0	5.67±1.01c	26.00±1.18d	7.89±0.40a	11.44±0.60a	9.33±1.21c	0.63±0.06d
6	19.15±1.67b	53.91±2.24c	7.74±0.10a	10.52±0.22b	10.39±0.14b	1.82±0.15c
12	28.94±1.55a	71.47±1.56a	6.69±0.10b	9.02±0.17c	9.78±0.13bc	2.96±0.16a
18	31.61±1.52a	67.00±1.93ab	5.59±0.09d	8.94±0.16d	13.22±0.11a	2.39±0.12b
24	13.98±0.71b	62.54±1.40b	6.11±0.06c	11.81±0.12a	12.91±0.12a	1.06±0.06d

注:不同小写字母表示在0.05水平上差异显著,下同。

Note: Different lowercase letters mean significant differences at 0.05 level, the same below.

验组都较对照组有更大的优势,12 h 浸种处理,种子开始萌发时间较其它时间浸种处理更早。18 h 浸种处理,种子达到萌发高峰期时间最短,显著快于其它时间浸种处理。18 h 浸种,其萌发持续时间也较其它时间浸种处理长,达到(13.22±0.11)d。对照组为最短萌发时间,为(9.33±1.21)d。由此可见,12、18 h 浸种处理有利于蓝钟花种子萌发。

2.2 不同光照时间对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

从表 2 可以看出,当光照时间越长,发芽率、发芽势以及发芽指数低于 0 h(黑暗)处理,发芽率差异显著($P<0.05$),但发芽势和发芽指数差异不显著,

表 2 不同光照时间对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

光照时间 Illumination time/h	发芽率 Germination rate/%	发芽势 Germination potential/%	种子开始萌发时间 Germinate starting time/d	萌发高峰期 Germination peak/d	萌发持续时间 Germination duration/d	发芽指数 Germination index
0	26.04±1.44a	63.29±1.79a	6.29±0.11b	10.21±0.19a	11.99±0.14a	2.18±0.12a
12	20.87±1.55b	60.08±1.80a	6.72±0.11a	10.17±0.17a	11.69±0.20a	1.96±0.15a
24	21.22±1.39b	62.18±2.03a	6.75±0.15a	10.00±0.25a	10.77±0.28b	1.86±0.13a

2.3 不同浓度赤霉素对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

表 3 表明,随着赤霉素浓度的增加,发芽率呈先增后减趋势,发芽势、种子开始萌发时间呈先减后增再减趋势,萌发持续时间呈先增后减再增趋势、发芽指数呈先减后增再减的趋势。种子萌发高峰期呈先减后增的趋势,而发芽势除 50 mg·L⁻¹外,大体趋势仍呈先增后减的趋势。当赤霉素浓度为 0 mg·L⁻¹时发芽率、发芽势和发芽指数与试验组有显著差异。当赤霉素浓度达到 600 mg·L⁻¹,发芽率最大,为(31.31±2.67)%,与 400、800 mg·L⁻¹无显著差异,与 0、50、100、200 mg·L⁻¹有显著差异($P<0.05$),当赤霉素浓度为 600 mg·L⁻¹时,发芽势(76.80±

方差齐性检验高于 0.05。当光照处理时间 0 h 时,种子开始萌发时间最短,(6.29±0.11)d 即可萌发,比其它光照时间处理短,显著高于其它时间处理。其萌发持续时间达到最大,种子萌发持续(11.99±0.14)d,都较其它光照时间处理长,与 12 h 萌发持续时间不显著,却与 24 h 萌发持续时间显著($P<0.05$)。种子经过 0 h 处理,在(10.21±0.19)d 达到萌发高峰期,时间长于 12、24 h 处理,差异不显著。表明光照时间处理对种子萌发的影响不显著,光照越长反而抑制种子萌发,黑暗处理有利于种子萌发。

1.44)%,显著高于其它试验组处理。除萌发高峰期外,0 mg·L⁻¹处理后,种子发芽率、发芽势、发芽指数、种子开始萌发时间和萌发持续时间与其它处理呈显著差异。同时,600 mg·L⁻¹处理的种子萌发开始时间最早,与 400、800、100 mg·L⁻¹无显著差异,与 0、50、200 mg·L⁻¹处理有显著差异($P<0.05$);600 mg·L⁻¹浓度处理,种子萌发持续时间较长,却与其它浓度无显著差异;600 mg·L⁻¹浓度处理,种子萌发高峰期较早与 400、800 mg·L⁻¹无显著差异,与 0、50、100、200 mg·L⁻¹处理有显著差异($P<0.05$)。由此可见,赤霉素处理对灰毛蓝钟花种子萌发有促进作用,而 600 mg·L⁻¹浓度的赤霉素对灰毛蓝钟花种子萌发有显著影响。

表 3 不同浓度赤霉素对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

赤霉素浓度 Concentration of GA /(mg·L ⁻¹)	发芽率 Germination rate /%	发芽势 Germination potential /%	种子开始萌发时间 Germinate starting time/d	萌发高峰期 Germination peak /d	萌发持续时间 Germination duration /d	发芽指数 Germination index
0	5.67±1.01d	26.00±1.18d	7.89±0.42a	11.44±0.58a	9.33±1.21b	0.63±0.06e
50	17.75±1.57c	64.28±3.05b	7.11±0.15b	11.36±0.20a	10.89±0.27a	1.66±0.15cd
100	17.81±1.00c	52.25±1.72c	6.64±0.19bcd	10.97±0.24ab	11.31±0.28a	1.58±0.10d
200	20.83±1.77bc	62.17±1.41b	6.72±0.20bc	10.47±0.24ab	11.64±0.32a	1.76±0.14bcd
400	26.17±2.42ab	64.83±2.50b	6.53±0.18bcd	9.69±0.26cd	11.58±0.30a	2.25±0.20abc
600	31.31±2.67a	76.80±1.44a	6.03±0.14d	8.94±0.28d	12.03±0.30a	2.72±0.27a
800	26.67±1.74ab	62.19±2.36b	6.17±0.13cd	9.00±0.27d	12.00±0.29a	2.37±0.20ab

2.4 不同浸种时间和不同光照时间对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

从图 1 可以看出,经过不同光照和不同浸种时

间处理后,发芽势、发芽率和发芽指数有显著的变化,与对照组相比,发芽势和发芽率增长了 3~4 倍。发芽指数最低增长 1 倍,显著高于对照组处理。随

着赤霉素浓度的增加,发芽势、发芽率以及发芽指数呈现先上升后下降的趋势。当浸种时间为0 h、光照24 h时,发芽势、发芽指数处于最低值。在浸种18 h、光照处理时间为0 h时,发芽势、发芽率以及发芽指数达到最大,显著高于其它浸种处理($P<0.05$),却与18 h浸种、光照12 h处理无显著差异。当光照时间达到12 h,浸种12 h时,发芽势最大,达到80%,显著高于其它浸种处理,但比起0 h光照、18 h浸种处理,发芽率、发芽势相差不大($P>0.05$)。另外,种子开始萌发时间在18 h浸种、0 h光照时达到最短,比

最迟萌发时间提前4 d。在0 h浸种、24 h光照时,种子萌发高峰期时间最短,比最迟萌发高峰期提前了4 d,18 h浸种、0 h光照处理种子萌发高峰期时间比最短种子萌发高峰期时间长9 d,也显著高于其它处理,同时18 h浸种、0 h光照使得灰毛蓝钟花的萌发持续时间达到最长,在种子培育20 d周期中占14 d,比最短种子萌发持续时间延长了5 d。由此综合得出,18 h浸种处理、0 h光照处理对灰毛蓝钟花种子萌发有显著的影响。

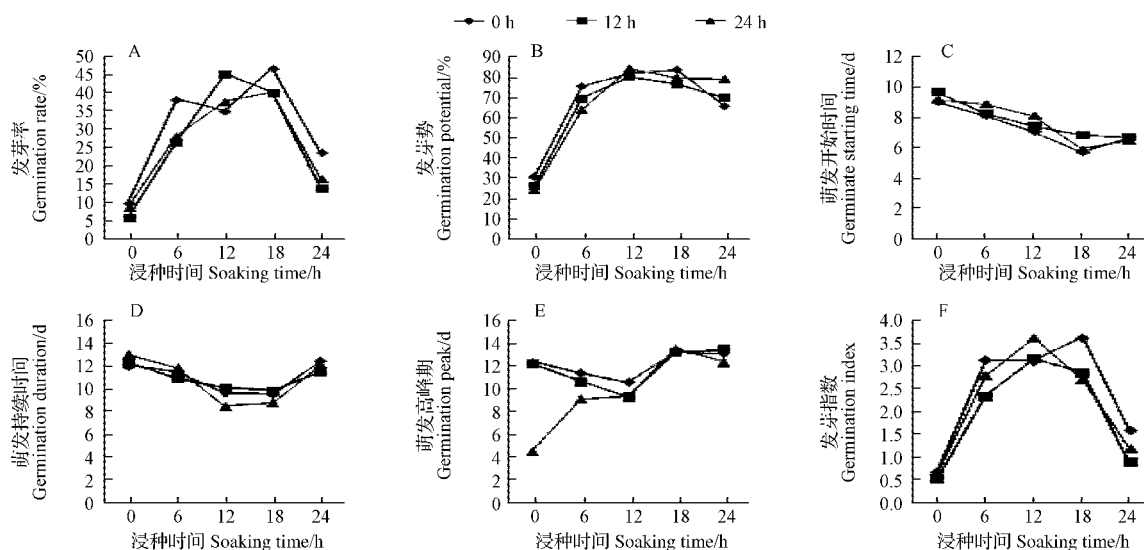


图1 不同浸种时间和光照时间对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

Fig. 1 Effect of different soaking time and illumination time on seed germination of *Cyananthus incanus*

2.5 不同光照时间和不同赤霉素浓度处理对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

从图2可以看出,随着赤霉素浓度的升高,蓝钟花种子发芽率、发芽势、发芽指数以及种子萌发高峰期整体呈上升趋势,而种子开始萌发时间和种子萌发持续时间呈下降趋势。当赤霉素浓度 $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、光照24 h时,发芽率、发芽势和发芽指数最低。随着赤霉素浓度的增加,发芽率和发芽指数在赤霉素浓度 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、光照12 h时达到最大,显著高于其它赤霉素和光照处理,而发芽势在此条件下,与 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素浓度、0 h或者12 h光照处理无显著差异外,显著高于其它赤霉素浓度处理($P<0.05$)。种子开始萌发时间和萌发持续时间随着赤霉素浓度的增加,呈下降趋势,在 $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,12 h光照下种子萌发持续时间最长。在 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,种子萌发持续时间最短,为6 d。由此可得,600 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素浓度、12 h

光照有利于种子萌发。

2.6 不同浸种时间和不同浓度赤霉素对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

图3表明,赤霉素浓度的增加与浸种时间的延长对种子萌发起到一定的促进作用。0 h浸种处理种子,其发芽率、发芽势与发芽指数显著低于其它浸种时间处理,长时间浸种处理。当赤霉素浓度 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、12 h浸种处理,种子发芽率、发芽势以及发芽指数显著高于其它浓度($P<0.05$)。但是当赤霉素浓度 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,其发芽势与 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素浓度处理后的发芽势无显著差异。除此之外,600 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素浓度、12 h浸种处理,其种子萌发开始时间最短,其开始萌发时间较对照组缩短3 d,萌发高峰期较对照组缩短2 d,但是,种子萌发持续时间却较对照组缩短4 d。当赤霉素浓度 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、18 h浸种处理,种子萌发持续时间最短。由此可得,600 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度赤霉

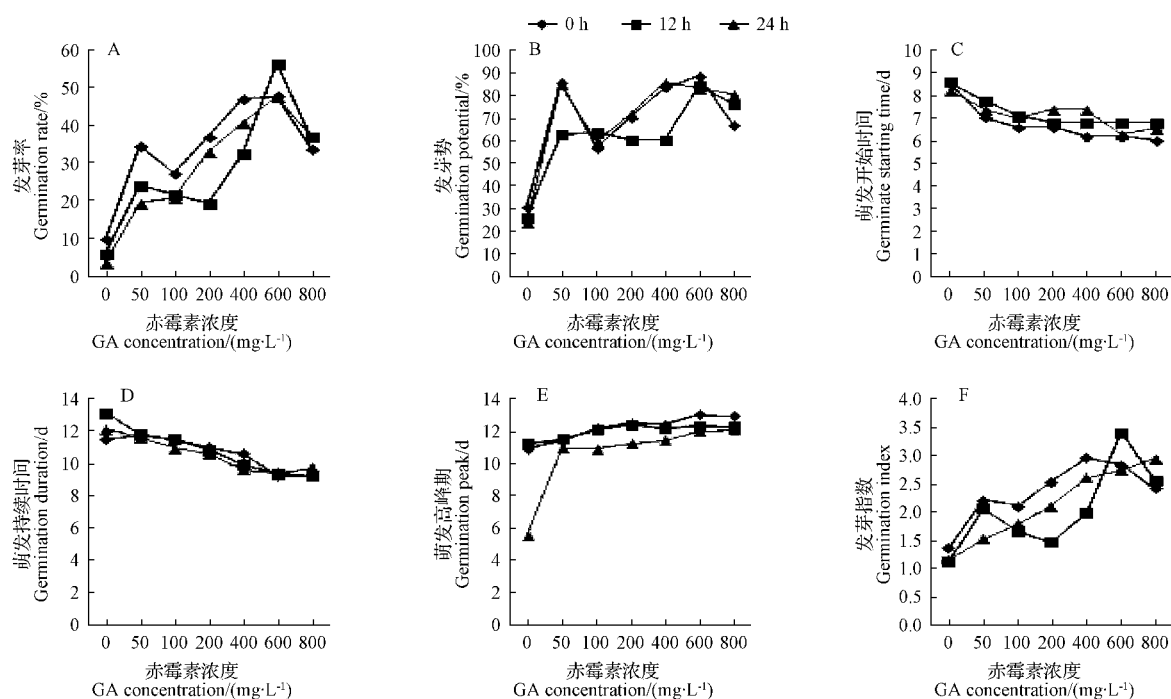


图2 不同光照时间和赤霉素浓度处理对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

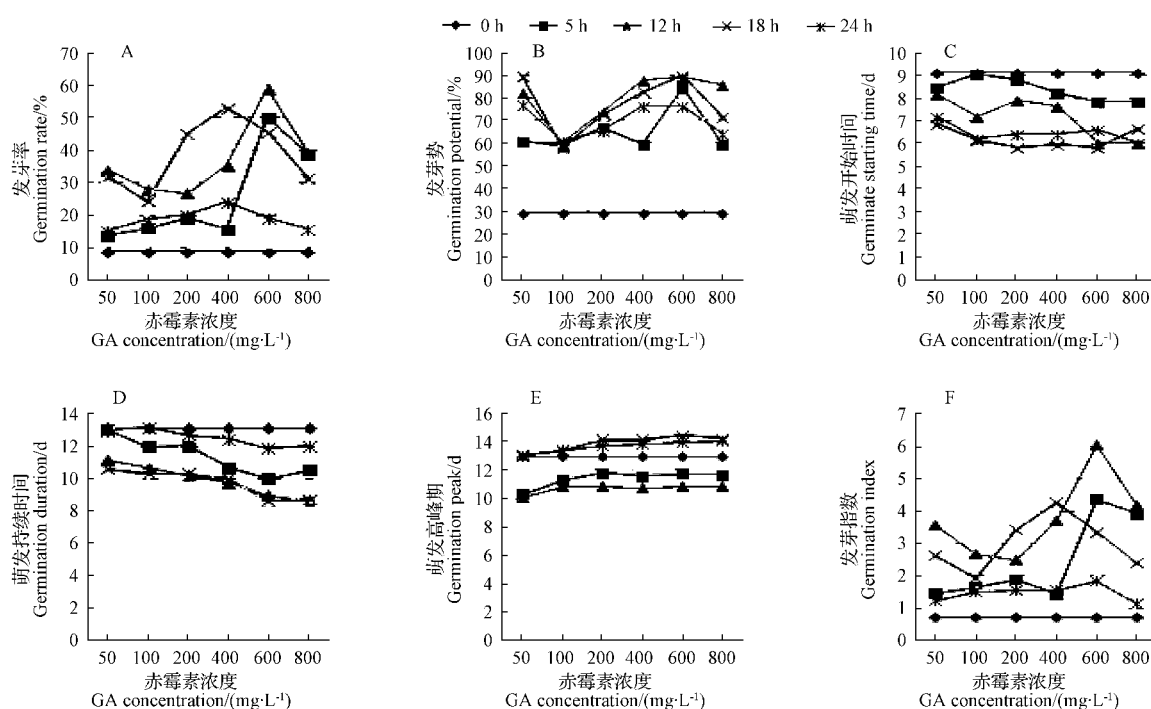
Fig. 2 Effect of different illumination time and GA concentration on seed germination of *Cyananthus incanus*

图3 不同浸种时间和不同浓度赤霉素对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

Fig. 3 Effect of different soaking time and GA concentration on seed germination of *Cyananthus incanus*

素、12 h 浸种处理对种子萌发有一定的影响。

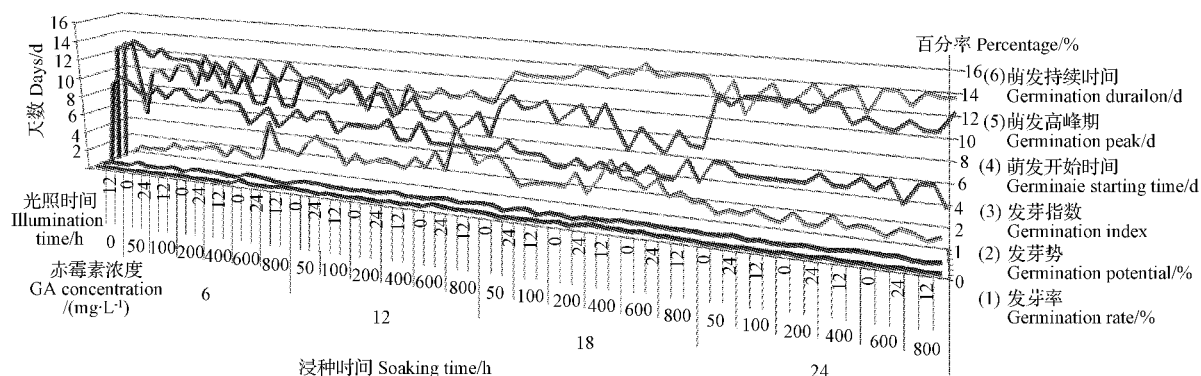
2.7 3 种不同处理对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

从图 4 可以看出,当赤霉素浓度 600 mg·L⁻¹、

浸种 12 h、光照时间 12 h,种子发芽率最大,显著高于其它处理($P < 0.05$)。较对照组赤霉素浓度 0 mg·L⁻¹、浸种 0 h、光照时间 0 h 提高了 52 个百分点。当赤霉

素浓度 $400\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、浸种 0 h 、光照时间 12 h 和赤霉素浓度 $600\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、浸种 12 h 、光照时间 12 h 时,发芽势已经达到 90% 以上,显著高于对照组处理以及其它处理,此时种子活性最大,发芽指数在赤霉素浓度 $600\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、浸种 12 h 、光照时间 12 h 时达到 6 左右,此时种子在失去发芽力之前已经发生最大劣变,种子活力最高。除此之外,在赤霉素浓度

$600\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、浸种 12 h 、光照时间 12 h 时,萌发持续时间最长,在赤霉素浓度 $600\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、浸种 18 h 、光照时间 12 h 时,萌发高峰期以及萌发开始时间所用时间最短,综合以上所有数据得出:在 3 种不同方式的处理下,赤霉素浓度 $600\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、浸种 12 h 或者 18 h 、光照时间 12 h 时,种子萌发活力最大。



注:图中线条从下向上有 6 条:标号 $1\sim 6$ 。

Note: No. $1\sim 6$ mean lines from down to up.

图 4 3 种不同处理对灰毛蓝钟花种子萌发的影响

Fig. 4 Effect of the three different treatment on seed germination of *Cyananthus incanus*

2.8 不同浸种与赤霉素浓度以及光照处理互作对灰毛蓝钟花种子萌发影响的方差分析

从表 4 可以看出,光照时间、浸种时间、赤霉素浓度以及两两互作对发芽率、发芽势、发芽指数以及种子开始萌发时间有极显著影响($P<0.001$),而光照时间处理对发芽率、发芽势、发芽指数、种子开始萌发时间以及种子萌发持续时间与其它处理有极显

著差异($P<0.001$),对种子萌发高峰期与其它处理无显著差异。赤霉素浓度 \times 浸种时间、光照时间 \times 赤霉素浓度 \times 浸种时间对发芽率、发芽势、发芽指数、发芽高峰期以及种子开始萌发时间与其它处理呈极显著差异($P<0.001$),赤霉素浓度 \times 浸种时间、光照时间 \times 赤霉素浓度 \times 浸种时间对萌发持续时间无显著差异^[11]。

表 4 不同光照处理以及赤霉素浓度与浸种处理两两互作对灰毛蓝钟花萌发影响的方差分析

Table 4 Variance analysis about different light conditions and the concentration of GA and soaking pairwise against the effect of seed germination of *Cyananthus incanus*

因变量 Dependent variable	自变量 Independent variable	III 型平方和 Type III sum of squares	自由度 df	F	P
发芽率 Germination rate	光照时间	1 039.729	2	175.894	0.000
	浸种时间	11 067.199	3	3 689.066	0.000
	赤霉素浓度	5 422.634	5	1 084.527	0.000
	光照时间 \times 浸种时间	401.343	6	66.890	0.000
	光照时间 \times 赤霉素浓度	1 869.213	10	186.921	0.000
	赤霉素浓度 \times 浸种时间	6 310.606	15	420.707	0.000
发芽势 Germination potential	光照时间 \times 赤霉素浓度 \times 浸种时间	7 278.935	30	242.631	0.000
	光照时间	375.919	2	187.959	0.000
	浸种时间	9 259.056	3	3 086.352	0.000
	赤霉素浓度	10 893.704	5	2 178.741	0.000
	光照时间 \times 浸种时间	3 406.972	6	567.829	0.000
	光照时间 \times 赤霉素浓度	5 294.435	10	529.444	0.000
	赤霉素浓度 \times 浸种时间	5 136.333	15	342.422	0.000
	光照时间 \times 赤霉素浓度 \times 浸种时间	10 935.639	30	364.521	0.000

表 4(续)

Table 4(Continued)

因变量 Dependent variable	自变量 Independent variable	III 型平方和 Type III sum of squares	自由度 <i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
种子开始萌发时间 Germinate starting time	光照时间	5.953	2	2.977	0.000
	浸种时间	137.384	3	45.795	0.000
	赤霉素浓度	27.745	5	5.549	0.000
	光照时间×浸种时间	20.880	6	3.480	0.000
	光照时间×赤霉素浓度	8.324	10	0.832	0.000
	赤霉素浓度×浸种时间	14.866	15	0.991	0.000
	光照时间×赤霉素浓度×浸种时间	20.787	30	0.693	0.000
萌发高峰期 Germination peak	光照时间	1.963	2	0.982	0.073
	浸种时间	303.370	3	101.123	0.000
	赤霉素浓度	187.037	5	37.407	0.000
	光照时间×浸种时间	72.185	6	12.031	0.000
	光照时间×赤霉素浓度	10.185	10	1.019	0.000
	赤霉素浓度×浸种时间	21.963	15	1.464	0.000
	光照时间×赤霉素浓度×浸种时间	26.481	30	0.883	0.000
萌发持续时间 Germination duration	光照时间	113.094	2	56.547	0.000
	浸种时间	492.778	3	164.259	0.000
	赤霉素浓度	33.593	5	6.719	0.000
	光照时间×浸种时间	56.806	6	9.468	0.000
	光照时间×赤霉素浓度	7.546	10	0.755	0.000
	赤霉素浓度×浸种时间	6.444	15	0.430	0.144
	光照时间×赤霉素浓度×浸种时间	14.639	30	0.488	0.033
发芽指数 Germination index	光照时间	3.138	2	1.569	0.000
	浸种时间	106.875	3	35.625	0.000
	赤霉素浓度	37.442	5	7.488	0.000
	光照时间×浸种时间	7.508	6	1.251	0.000
	光照时间×赤霉素浓度	18.356	10	1.836	0.000
	赤霉素浓度×浸种时间	49.918	15	3.328	0.000
	光照时间×赤霉素浓度×浸种时间	62.039	30	2.068	0.000

3 结论

3.1 单因素处理对灰毛蓝钟花的影响

浸种处理和赤霉素浓度处理对种子萌发起促进作用,当浸种时间达到 18 h 发芽率最大,12 h 发芽势最大,赤霉素浓度达到 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 种子萌发最佳,光照处理时间越长越不利于种子萌发,黑暗处理有利于种子萌发。

3.2 二因素处理对灰毛蓝钟花的影响

黑暗处理、18 h 浸种处理,发芽势和发芽率最大,发芽率为 46.72%,发芽势为 81.02%。12 h 光照、 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素浓度处理,发芽势、发芽率最大,发芽率 56.15%、发芽势 84.03%。12 h 浸种处理、 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素浓度处理,发芽势、发芽率最大,发芽率 57.62%,发芽势 90.46%。

3.3 三因素处理对灰毛蓝钟花的影响

12 h 光照、 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度赤霉素浸种 12、18 h 使灰毛蓝钟花种子萌发的发芽势、发芽率、发芽指数最大,萌发开始时间、萌发高峰期最短,萌发持续时间最长,是灰毛蓝钟花种子萌发最优选择。

4 讨论

种子萌发受到内部激素和外部环境的共同影响,主要由光照、温度、水分以及激素共同调节。在光照因素中,光谱成分、光照时间、光通量、光周期等均影响种子的萌发过程,种子成熟过程中合成的光敏色素,使得形成一定的光稳定平衡值来诱导赤霉素的合成,提高种子对赤霉素的敏感性,打破种子休眠促进萌发。该研究中,灰毛蓝钟花随着光照时间的延长,其发芽率、发芽势等生理指标值反而下降,说明灰毛蓝钟花种子属于忌光性种子,在萌发过程中需要少量的远红光吸收态就可以促进其萌发^[12]。所以黑暗处理有利于灰毛蓝钟花种子萌发。温度因素中,温度控制种子休眠的深度^[13],高温导致种子休眠加深属于热休眠,低温有利于打破休眠,不同的种子对温度要求不同^[14]。灰毛蓝钟花采集于康定县,该地因地形复杂,出现明显的垂直差异,形成独特的高原型大陆性季风气候^[15],一天之中温度变化多端,故种子萌发时设定白天 25°C 、夜晚 15°C 温差变化。再加上光照处理,2 种处理就形成了一种促进作用来

提高赤霉素的合成促进种子萌发。激素因素中,赤霉素(gibberellic acid, GA)作为五大植物激素之一,是一种高效能的广谱植物生长调节剂,调控植物生长发育的各个方面^[16],作用于高等植物的整个生命周期,如种子萌发、下胚轴的伸长、叶片的生长和植物开花时间等。它不仅被严格的控制而且许多因素都直接或间接的参与赤霉素的合成来实现对种子萌发的调控^[17]。所以赤霉素诱导的多少直接决定种子萌发的效率。该试验中,赤霉素浓度梯度的设置正好探究灰毛蓝钟花种子萌发的结果与种子喜好的赤霉素浓度的关系。除此之外,种子萌发条件还有水分含量、收集方式和储存方法,众多因素制约着种子萌发,对其萌发产生了一定的影响^[18]。所以要综合不同的方式对种子打破休眠进而萌发产生促进作用,才能更全面客观地给种质资源的遗传变异、多样性以及亲缘关系和品种(种质)分类等研究提供有价值的依据^[19]。

参考文献

- [1] ZHOU Z, HONG D Y, NIU Y. Molecular phylogenetics and evolution[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2013, 68: 482-497.
- [2] 中科院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 5.
- [3] 周卓, 陈光富, 张健文, 等. 蓝钟花属的种子形态学研究及其分类学意义[J]. 植物分类与资源学报, 2013, 35(3): 265-272.
- [4] 舒英杰, 陶源, 王爽, 等. 高等植物种子活力的生物学研究进展[J]. 西北植物学报, 2013, 33(8): 1710-1711.
- [5] 宋超, 王月华, 孙艳霞. 山葵种子的活性测定研究[J]. 种子检

验, 2014, 33(1): 108-109.

- [6] 郭慧琴, 任卫波, 李平, 等. 2, 4-表油菜素内酯和赤霉素互作对羊草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草业科学, 2014, 31(6): 1097-1103.
- [7] 郭少辉. Excel 在方差分析中的应用[J]. 洛阳理工学院学报(自然科学版), 2013, 23(2): 74-76.
- [8] 龚学臣. SPSS 软件在交互效应方差分析中的应用[J]. 河北北方学院学报(自然科学版), 2015(1): 19-22.
- [9] 李悦, 聂庭彬, 宋士清. 油菜素内酯浸种对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下黄瓜种子萌发的影响[J]. 园艺学报, 2014, 41(S): 2712.
- [10] 刘建成, 刘新元, 刘冰, 等. 不同处理对川东獐牙菜种子萌发的影响[J]. 中草药, 2011, 42(2): 367-372.
- [11] 郭萍. 三因素方差分析的原理及应用[J]. 沈阳大学学报, 2015, 27(1): 40-43.
- [12] 张敏, 朱教君, 闫巧玲. 光对种子萌发的影响机理研究进展[J]. 植物生态学报, 2012, 36(8): 899-908.
- [13] KOORNNEEF M, BENTSINK L, HILHORST H. Seed dormancy and germination[J]. Current Opinion Plant Biology, 2002, 5(1): 33-36.
- [14] 颜安, 吴敏洁, 甘银波. 光照和温度调控种子萌发的分子机理研究进展[J]. 核农学报, 2014, 28(1): 52-59.
- [15] 齐锋, 杨柳, 何泉, 等. 康定冬季民居室内热环境测试分析[J]. 建筑节能, 2015, 43(3): 102.
- [16] 谈心, 马欣荣. 赤霉素生物合成途径及其相关研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2008, 14(4): 571-577.
- [17] 黄先忠, 蒋才富, 廖立力, 等. 赤霉素作用机理的分子基础与调控模式研究进展[J]. 植物学通报, 2006, 23(5): 499-510.
- [18] 成仿云, 杜秀娟. 低温与赤霉素处理对‘凤丹’牡丹种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 园艺学报, 2008, 35(4): 553-558.
- [19] 孙颖, 陈显, 刘儒, 等. 不同浓度赤霉素处理对油桐花芽分化的影响[J]. 经济林研究, 2014, 32(1): 97-100.

Effect of Light and GA on Seed Germination of *Cyananthus incanus*

ZHOU Mengxia, PENG Zhengsong, YANG Zaijun, BAO Zhiyuan

(Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resource Conservation (Ministry of Education), China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637009)

Abstract: The seeds of *Cyananthus incanus* were used as test material, the effects of illumination, gibberellic acid (GA) concentration and different soaking time on the seed germination of *Cyananthus incanus* were studied by means of orthogonal test to improve the seed germination rate and increase the survival rate of alpine plants in low altitude areas. The results showed that germination potential and germination index were the largest, duration of seed germination was the longest, seed germination time and peak of germination were the shortest when *Cyananthus incanus* seed was in GA concentration $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, light time 12 hours and seed soaking 12 hours or 18 hours. *Cyananthus incanus* seed germination was not interested in illuminating for a long time, illumination time was not conducive to seed germination, but dark treatment on seed germination would promote. The longer the soaking time on seed, the greater the damage was, which could not conducive to seed germination.

Keywords: *Cyananthus incanus*; seed germination; illumination; GA; soaking time