

## 蓝白龙胆种子萌发影响因素分析

慕军鹏\*, 张栎丹, 冯茂洁, 代文霏

(绵阳师范学院 生态安全与保护四川省重点实验室, 四川 绵阳 621000)

**摘要:**采用室内控制实验研究了蓝白龙胆种子萌发对种子贮藏时间、萌发温度、土壤水分、光照强度、土层厚度的响应。结果显示:贮藏时间、萌发温度、土壤水分、光照强度和土层厚度均影响种子萌发。(1)种子成熟后0~30 d萌发率最高,之后随贮藏时间增加其萌发率开始下降,180 d后萌发率不足3%;(2)种子萌发温度幅较宽,10~30℃均能使其萌发;(3)随土壤含水量的增加,种子萌发率呈现先增加后降低的趋势,20%~25%土壤含水量是种子萌发的最佳湿度;(4)光照促进种子萌发,但黑暗抑制其萌发;(5)随土层厚度的增加,萌发率显著降低。实验结果说明蓝白龙胆种子萌发受许多因素影响,是长期适应生境的结果。图4,表2,参25。

**关键词:**种子萌发;温度;水分;种子贮藏时间;龙胆科;青藏高原

**中图分类号:**S567.2 **文献标识码:**A

种子萌发受许多因素影响<sup>[1]</sup>。温度是影响种子萌发重要因子之一,文献[2]研究发现,5℃的持续低温可以打破种子休眠,促进其萌发。分布在英国的一些物种甚至在2℃左右种子就可以正常萌发<sup>[3]</sup>,但对于一些分布在热带地区的物种,萌发温度必须在25℃以上才能保证种子正常萌发,一旦温度低于10℃能显著抑制种子萌发,甚至造成种子死亡<sup>[4]</sup>。此外,适度的温度变幅有利于种子萌发,例如35/20℃变温均能提高无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)和条叶车前(*Plantago lessingii*)的种子萌发率<sup>[5]</sup>。光照影响种子萌发,有些种子需要在特定的光周期条件下才能萌发<sup>[6,7]</sup>,一些小种子物种种子萌发必须依赖于适度光照<sup>[3]</sup>,一旦深埋种子会导致萌发率大幅下降<sup>[8]</sup>。水分是种子萌发的必要条件,但是不同物种其种子萌发对水分的要求存在差异。例如,一些物种需要在高湿环境下才能正常萌发(-1.5~-5.0 MPa)<sup>[9]</sup>,而一些沙漠植物较低的土壤水分有利于种子快速萌发<sup>[10]</sup>。另外,一些物种通常采用种子休眠的方式逃避逆境胁迫<sup>[11]</sup>,一旦胁迫解除,种子迅速萌发。例

如,非洲大草原上的种子经过一个漫长旱季,等待雨季来临才能迅速萌发<sup>[12]</sup>。而一些物种的种子只有经过特殊处理,例如火烧才能够顺利萌发<sup>[13]</sup>。此外,种子寿命也可以影响种子萌发。一些种子散播后立即萌发,但有些物种种子存在休眠期。例如,多年生植物壶瓶碎米荠(*Cardamine hupingshanensis*)种子在自然条件下寿命约为80 d左右<sup>[14]</sup>,一种生长在新疆的苜蓿种子保存40年后大多数种子萌发率仍高达60%以上<sup>[15]</sup>。综上所述,种子寿命及其萌发适宜的环境条件是植物长期适应生境的结果。因此,揭示影响植物种子休眠和萌发特性的影响因素是阐明物种适应机制的一个有效手段。

蓝白龙胆(*Gentiana leucomelaena*)是青藏高原上广泛分布的龙胆属物种之一,由于其特殊的适应机制被确定为研究全球气候变化与植物混合交配系统关系的模式物种<sup>[16-20]</sup>。但是,对青藏高原40种一年生植物种子萌发特性研究时发现蓝白龙胆种子萌发率仅为2%左右<sup>[21]</sup>,这明显的与自然条件下该物种的广泛分布模式相悖<sup>[16-20]</sup>。结合对滇龙胆种

收稿日期:2017-11-05

基金项目:国家自然科学基金项目资助(编号:31270513),四川省教育厅创新团队项目资助(编号:13TD0015)

作者简介:慕军鹏(1974-),男,甘肃庆阳人,博士,副教授,研究方向:植物生态学。

\* 通讯作者,E-mail:gbmujp@163.com

子萌发率随贮藏时间的增加而降低的研究结果<sup>[22]</sup>, 我们假设蓝白龙胆种子寿命影响其萌发特性. 同时, 温度、光照、土壤水分和土层厚度也可能影响种子萌发. 本研究选择若尔盖高原广泛分布蓝白龙胆为研究对象, 比较自然条件下种子贮藏时间、温度、水分、光照、土层厚度对种子萌发的影响. 研究结果对理解龙胆属植物适应机制提供案例.

## 1 材料与方 法

### 1.1 样地及物种介绍

实验点设在在中国科学院成都生物研究所高寒草甸生态系统定位研究站, 位于四川省若尔盖高原的红原县境内, 地理坐标为北纬 33°03', 东经 102°36', 平均海拔在 3 500 m 左右. 属大陆性高原寒温带季风气候, 年均温 0.6~1.1℃, 1 月为冷月, 平均为 -10.3℃, 最热为 7 月, 平均气温 10.9℃, 不存在绝对无霜期. 年均降水为 650~730 mm, 80% 是集中在 5~9 月. 年均日照 2 000~2 400 h. 年总辐射约为 120~150 Kcal/cm<sup>-2</sup>.

研究地点为高寒草甸, 群落优势种以四川嵩草 (*Kobresia setchwanensis*)、高山嵩草 (*K. pygmaea*)、剪股颖 (*Agrostis matsumurae*) 为主, 伴生种有条叶银莲花 (*Anemone trullifolia*)、草玉梅 (*Anemone rivularis*)、蓝白龙胆 (*Gentiana leucomelaena*), 钝苞雪莲 (*Saussurea nigrescens*) 等<sup>[23]</sup>.

蓝白龙胆, 龙胆科龙胆属越年生草本, 株高 1.5~5 cm. 茎黄绿色在基部多分枝, 枝铺散, 斜升. 基生叶稍大, 卵圆形或卵状椭圆形, 边缘有不明显的膜质, 叶脉不明显, 或具 1~3 条细脉, 叶柄宽, 长 1~2 mm; 茎生叶小, 先端钝圆至钝. 花数朵, 单生于小枝顶端; 花梗黄绿色, 花萼钟形, 裂片三角形; 花冠白色或蓝色, 外面具蓝灰色宽条纹, 喉部具蓝色斑点, 钟形; 雄蕊着生于冠筒下部, 整齐, 花丝丝状锥形, 花药矩圆形; 子房椭圆形, 花柱短而粗, 圆柱形, 柱头 2 裂, 裂片矩圆形. 蒴果外露或仅先端外露, 倒卵圆形, 长 3.5~5 mm, 先端圆形, 具宽翅, 两侧边缘具狭翅; 种子褐色, 宽椭圆形或椭圆形, 长 0.6~0.8 mm, 表面具光亮的念珠状网纹. 花果期 3~6 月<sup>[16,17]</sup>. 蓝白龙胆花蕾、开花、种子及景观如图 1 所示.

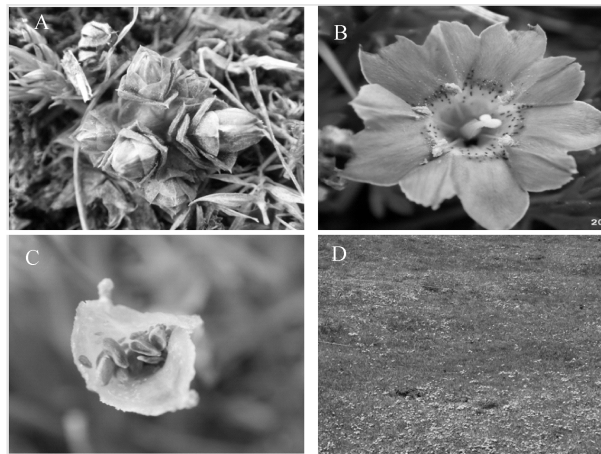


图 1 蓝白龙胆花蕾(A), 花朵(B)、种子(C)和景观(D)

Fig.1 Figures show the bud (A), flower (B), seed (C) and landscape (D) in *Gentiana leucomelaena*

### 1.2 样品收集

分别于 2013 年 5 月 20 日和 2014 年 5 月 21 日采集蓝白龙胆种子, 每次采样包含至少 500 株的混合种子. 种子成熟后立即采集, 并保存在冰箱 5℃ 贮藏待用. 实验分两个年度进行, 2013 年为预实验, 分别设置不同的温度(恒温 5、10、15、20、25、30、35、40℃, 变温 5/5、10/5、15/5、20/5、25/5、30/5、35/5、40/5、5/10、10/10、15/10、20/10、25/10、30/10、35/10、40/10℃)、土壤湿度

(5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%)、光照(0、3 000、10 000 Lux)、土层厚度(0、0.5、1.0、1.5、2.0 cm)梯度. 种子萌发实验于 2013 年 5~7 月在中国科学院成都生物研究所高寒草甸生态系统定位研究站人工培养箱中实施. 在预实验基础之上, 于 2014 年 5~12 月对不同处理条件种子萌发情况进行了研究.

### 1.3 贮藏时间对种子萌发的影响

贮藏时间设置 0、30、60、90、120、150、180 d 共 7

个处理.在预实验基础上,培养箱温度设置在 25/10℃ 昼夜变温(12/12 h)、湿度 60%、光照 10 000 Lux 下进行.实验采用纸上法,每个培养皿 50 粒种子,5 次重复,保证纸上水分长期湿润,培养皿随机放置在培养箱中.实验期间每天统计发芽数.

#### 1.4 萌发温度对种子萌发的影响

在预实验基础上,温度设置恒温 5、10、15、20、25、30℃ 和变温 15/10、25/10、30/10℃ 共计 9 个处理.贮藏时间选在第 30 d 的种子,培养箱温度设置在 25/10℃ 昼夜变温(12/12 h)、湿度 60%、光照 10 000 Lux 下进行.实验采用纸上法,每个培养皿 50 粒种子,5 次重复,保证纸上水分长期湿润.培养皿随机放置在培养箱中.实验期间每天统计发芽数.

#### 1.5 土壤水分对种子萌发的影响

取试验区泥炭土(密度 0.8 g/cm<sup>3</sup>),于烘箱中 70℃ 烘至恒重,用孔径 0.2 mm 的土壤过筛.取贮藏时间 30d 的种子 50 粒均匀的放在 100mm 的培养皿中,称取 32.0 g 土均匀的铺在培养皿底部,土层厚度为 0.5 cm.在预实验基础上,分别设置 10%、15%、20%、25%、30%、35% 共 6 个水分处理.32.0 g 土中分别加入 3.2、4.8、6.4、8.0、9.6、11.2 mL 蒸馏水.由此可计算土壤水分含量为 10%、15%、20%、25%、30% 和 35%.将培养皿随机放置在人工培养箱的透明框架上,以便保证培养皿底端种子暴露在光下.培养箱温度设置在 25/10℃ 昼夜变温(12/12 h)、湿度 60%、光照 10 000 Lux 条件下.实验样品每天称重,补充因蒸发损失的水分,使之保持恒定的湿度.实验期间每天统计发芽数.

#### 1.6 光照强度对种子萌发的影响

在预实验基础上,光照强度设置 0 Lux、和 10 000 Lux 共计 2 个处理.贮藏时间选在第 30 d 的种子,培养箱温度设置在 25/10℃ 昼夜变温(12/12 h)、湿度 60% 下进行.实验采用纸上法,每个培养皿 50 粒种子,5 次重复,保证纸上水分长期湿润.培养皿随机放置在培养箱中.实验期间每天统计发芽数.

#### 1.7 土层厚度对种子萌发的影响

取试验区泥炭土(密度 0.80 g/cm<sup>3</sup>),于烘箱中 70℃ 烘至恒重,用孔径 0.2 mm 的土壤过筛.取贮藏时间 30 d 的种子 50 粒均匀的放在 100 mm 的培养

皿底部,分别称取 32.0、64.0、128.0 g 土均匀的铺在培养皿中,土层厚度分别为 0.5、1.0、2.0 cm.分别加入 8.0、16.0 mL 和 32.0 mL 蒸馏水,土壤湿度保持在 25%.将培养皿随机放在人工培养箱中,培养皿底部外面用锡箔纸裹住,以免漏光.培养箱温度设置在 25/10℃ 昼夜变温(12/12h)、湿度 60%、光照 10 000 Lux 条件下.实验样品每天称重,补充因蒸发损失的水分,使之保持恒定的湿度.实验期间每天统计发芽数.

#### 1.8 数据分析

实验采用萌发率来表示种子的萌发特性,计算方法参照徐秀丽等<sup>[21]</sup>.种子萌发率=种子发芽总数/供试种子数(50 粒)×100%,表示萌发周期结束后,萌发种子的数量占总供试种子的比例,反映种子的萌发数量

对不同处理种子萌发率进行正态检验,然后用单因素方差分析进行检验,比较其差异显著性,并用邓肯法(Duncan)进行多重比较检验.以上统计分析均在 R(R Core Team 2015)中进行(URL <http://www.R-project.org/>).

## 2 结果与分析

### 2.1 贮藏时间对种子萌发的影响

贮藏天数显著影响蓝白龙胆种子萌发率(表 1).0~30 d 萌发率很高,大于 90% 以上,从第 31 d 起萌发率开始下降,60 d 后急剧下降,180 d 时萌发率仅在 3% 左右(图 2A).相关分析结果表明,种子贮藏时间与萌发率之间呈现显著的负相关关系(图 3A).说明蓝白龙胆种子活力决定于贮藏天数,成熟后 30 d 内种子活力很高,60 d 约有 50% 种子活力丧失.

表 1 不同处理条件下蓝白龙胆种子萌发率单因素方差分析表  
Tab.1 Result of one-way ANOVA in differential treatment in *Gentiana leucomelaena*

处理	自由度	F 值	P 值
贮藏天数	6	736.2	<0.001
温度	8	153.7	<0.001
土壤水分	5	174.6	<0.001
光照强度	1	128.6	<0.001
土层厚度	2	439.8	<0.001

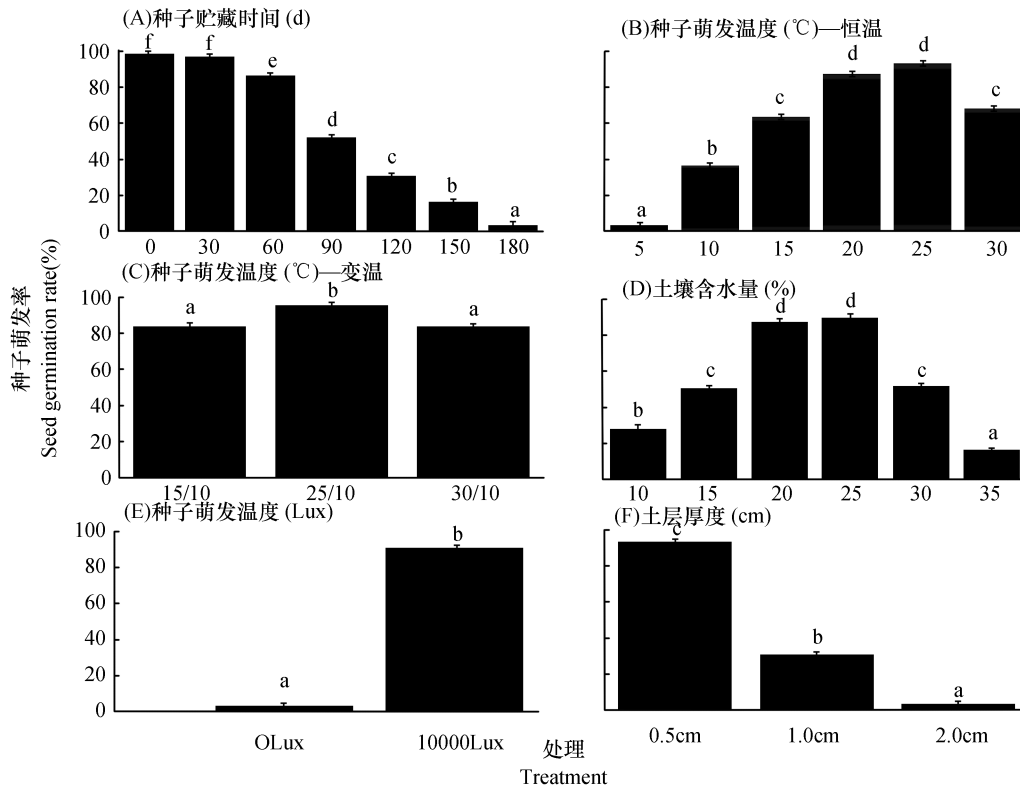


图2 种子贮藏时间、温度、土壤水分、光照和土层厚度对蓝白龙胆种子萌发率的影响  
Fig.2 Effect of seed storage time, germination temperature, soil moisture, illumination intensity, and soil thickness on seed germination in *Gentiana leucomelaena*

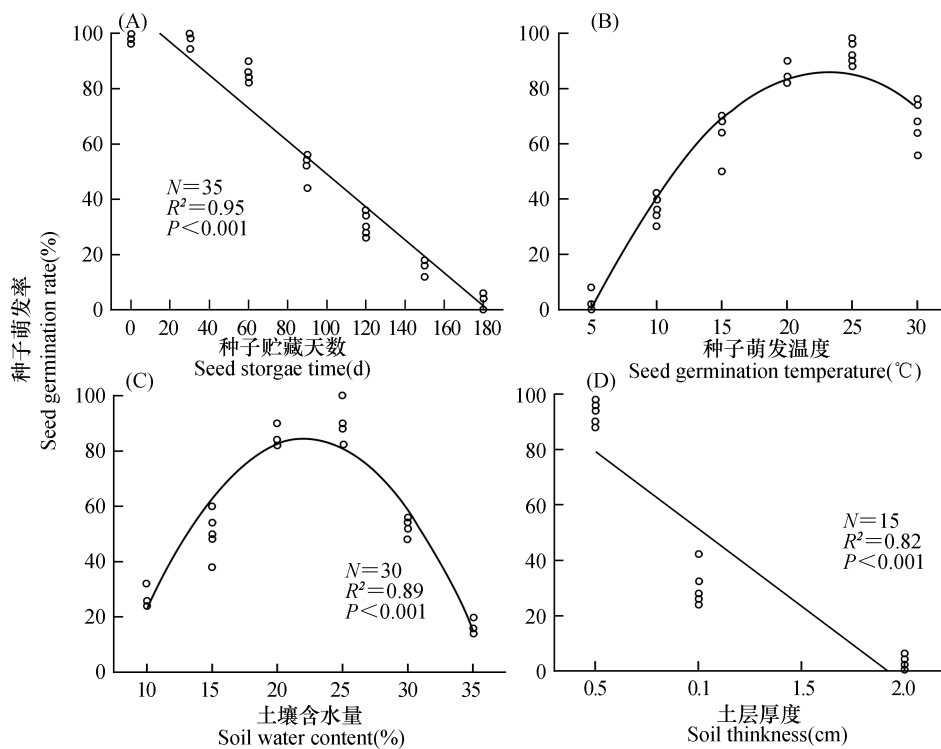


图3 蓝白龙胆种子贮藏时间与种子萌发率、萌发温度与种子萌发率、土壤含水量与种子萌发率、土层厚度与种子萌发率相关分析  
Fig.3 The relationships between seed storage time and seed germination, germination temperature and seed germination, soil water content and seed germination, soil thickness and seed germination in *Gentiana leucomelaena*

种子贮藏时间显著影响种子萌发开始时间(即萌发时滞).贮藏0 d的种子在第4 d开始萌发,贮藏30 d的种子在第2 d就开始萌发,随后随贮藏时间

的增加,萌发开始时间也随之延后,贮藏180 d的种子在第9 d开始萌发(图4A).

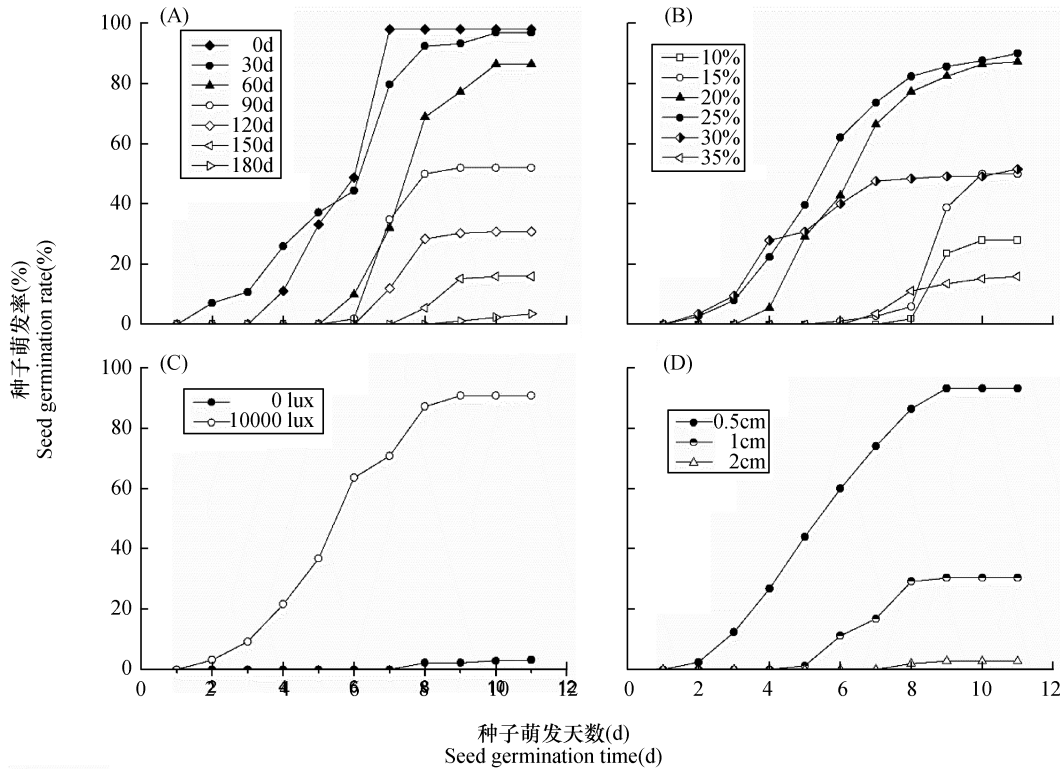


图4 蓝白龙胆不同种子贮藏时间、土壤水分、光照、土层厚度条件下种子萌发率随萌发天数变化图  
Fig.4 The relationship between seed germination rate and seed germination time under seed storage time, soil moisture, illumination intensity, and soil thickness treatments in *Gentiana leucomelaena*

### 2.2 萌发温度对种子萌发的影响

萌发温度显著影响蓝白龙胆种子萌发率(表1,图2B,C).相关分析结果表明,种子萌发率随温度的增加而增加,但超过25℃后开始下降,即种子萌发率与萌发温度间呈二次抛物线关系(图3B).蓝白龙胆最适种子萌发温度为20~25℃,但在10~30℃间种子萌发率普遍较高.说明蓝白龙胆种子萌发温度

变幅较大,这可能是长期适应所处剧烈温度变幅生境的结果.在变温条件下,15/10℃、25/10℃和30/10℃显著提高种子萌发率,均达到80%以上.

5℃和10℃恒定低温导致种子萌发开始时间延后,分别第5 d和8 d才开始萌发.30℃高温种子在第2 d就开始萌发(表2).说明随萌发温度升高,萌发开始时间显著提前.

表2 温度对蓝白龙胆种子萌发的影响  
Tab.2 Effect of temperature on seed germination of *Gentiana leucomelaena*

温度/℃	萌发天数/d										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	2.0 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>
10	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0.8 <sup>a</sup>	15.2 <sup>b</sup>	24.0 <sup>b</sup>	32.4 <sup>b</sup>	35.6 <sup>b</sup>	36.4 <sup>b</sup>	36.4 <sup>b</sup>
15	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	1.2 <sup>a</sup>	15.6 <sup>b</sup>	29.2 <sup>c</sup>	40.0 <sup>c</sup>	61.2 <sup>c</sup>	62.8 <sup>c</sup>	62.8 <sup>c</sup>	63.2 <sup>c</sup>
20	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	3.6 <sup>a</sup>	17.6 <sup>b</sup>	32.8 <sup>c</sup>	56.0 <sup>d</sup>	66.4 <sup>e</sup>	77.2 <sup>d</sup>	82.4 <sup>d</sup>	86.4 <sup>d</sup>	87.2 <sup>d</sup>
25	0 <sup>a</sup>	2.0 <sup>a</sup>	7.2 <sup>ab</sup>	20.0 <sup>bc</sup>	32.4 <sup>c</sup>	43.2 <sup>d</sup>	54.8 <sup>d</sup>	87.2	92.4 <sup>e</sup>	92.4 <sup>e</sup>	92.8 <sup>e</sup>
30	0 <sup>a</sup>	1.6 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>	28.8 <sup>c</sup>	35.2 <sup>cd</sup>	66.8	66.8 <sup>e</sup>	67.2 <sup>c</sup>	67.6 <sup>c</sup>	67.6 <sup>c</sup>	67.6 <sup>c</sup>
10月15日	0 <sup>a</sup>	0.8 <sup>a</sup>	1.6 <sup>a</sup>	4.4 <sup>a</sup>	17.2 <sup>b</sup>	28.8 <sup>c</sup>	51.2 <sup>d</sup>	82.4 <sup>de</sup>	82.8 <sup>d</sup>	82.8 <sup>d</sup>	84.0 <sup>d</sup>
10月25日	0 <sup>a</sup>	2.4 <sup>a</sup>	9.2 <sup>b</sup>	27.6 <sup>c</sup>	42.4 <sup>d</sup>	58.8 <sup>de</sup>	79.2 <sup>f</sup>	88.8 <sup>e</sup>	93.6 <sup>e</sup>	95.2 <sup>e</sup>	95.2 <sup>e</sup>
10月30日	0 <sup>a</sup>	4.8 <sup>a</sup>	14 <sup>b</sup>	38 <sup>d</sup>	54.4 <sup>e</sup>	67.2 <sup>e</sup>	81.2 <sup>f</sup>	82.8 <sup>de</sup>	82.8 <sup>d</sup>	82.8 <sup>d</sup>	83.6 <sup>d</sup>

### 2.3 土壤水分对种子萌发的影响

土壤水分显著影响蓝白龙胆种子萌发率(表1,图2D).相关分析结果表明,种子萌发率随土壤水分增加而增加,但土壤含水量超过25%后萌发率开始下降,即种子萌发率与土壤含水量二者之间呈二次抛物线关系(图3C).蓝白龙胆最适种子萌发土壤湿度为20%~25%,但在土壤含水量在15%~30%之间种子萌发率均超过50%.过低或者过高的土壤水分均抑制种子正常萌发.

土壤含水量在20~30%之间,种子萌发开始时间较10%、15%和35%提前,在第4d就开始萌发,土壤湿度为10%的处理种子萌发开始时间是在第8d(图4B).

### 2.4 光照强度对种子萌发的影响

光照强度显著影响蓝白龙胆种子萌发率(表1,图2E).光照有利于提高种子萌发率,萌发率高于80%以上.黑暗条件显著抑制蓝白龙胆种子萌发,萌发率不足4%.

光照强度显著影响种子萌发的开始时间(图4C).在光照条件下,种子在第2d开始萌发,黑暗条件下种子在第8d才开始萌发.

### 2.5 土层厚度对种子萌发的影响

土层厚度显著影响蓝白龙胆种子萌发率(表1,图2F).相关分析结果表明,种子萌发率随土层厚度增加而降低(图3D).0.5cm土层有利于蓝白龙胆种子萌发,土层厚度超过1.0cm抑制种子萌发.超过2.0cm时种子萌发率不足3%.

随土层增加种子萌发开始时间延后,0.5、1.0cm和2.0cm土层厚度处理中萌发开始时间分别为第2、5d和8d(图3D).

## 3 讨论

实验结果表明,种子贮藏时间、温度、土壤水分、光照强度、土层厚度均影响蓝白龙胆种子萌发.蓝白龙胆种子萌发需要的温度变幅(10~30℃)和土壤湿度变幅(15~30%)较大,且需要适当地光照.同时,种子寿命相对较短,种子成熟后30d种子活力开始下降.反映了蓝白龙胆种子萌发所需条件是长期适应生境的结果.

蓝白龙胆种子活力随贮藏时间延长而下降,这可能是因为小粒种子呼吸强度比大粒种子强.另外,小粒种子胚所占比例增大,促进胚的呼吸强度,造成贮藏物质大量消耗而缩短了种子寿命<sup>[24]</sup>.研究发现,蓝白龙胆单个种子质量很低,约为0.061g<sup>[16-17]</sup>,种子相对较小.此外,蓝白龙胆竞争能力相对较弱<sup>[19]</sup>,为了避免与禾草、嵩草和其他杂草种间竞争<sup>[23]</sup>,种子成熟后落地就开始萌发(5月下旬~6月上旬).此时,其他物种正处在返青期.实验发现,蓝白龙胆种子活力通常在成熟后0~30d最高,且能迅速萌发.种子寿命短是长期适应避免与其他物种竞争的结果.

不同地区分布的种子萌发时要求的温度条件不尽相同<sup>[2-5]</sup>.研究点属大陆性高原寒温带季风气候,5~6月份温度变幅较为剧烈<sup>[20]</sup>.因此,蓝白龙胆种子萌发温度幅很宽,10~30℃种子均能正常萌发.但低于5℃时,种子萌发明显受到抑制.最适萌发温度为20~25℃.这种萌发机制确保了大部分种子在温度较高、水分充足的时机萌发,增加了幼苗的成活率<sup>[5]</sup>.此外,该区域昼夜温差较大<sup>[16-17]</sup>,实验结果发现15/10、25/10℃和30/10℃的变温处理显著提高了种子萌发率,并且促进种子迅速萌发.总之,蓝白龙胆种子萌发的温度范围、最适温度、抑制萌发温度等表现出的差异体现了与其生境的关系.

若尔盖高寒草甸降水多集中在在5~9月,年降水量较大<sup>[23]</sup>.同时,研究点处于若尔盖湿地,土壤含水量较高<sup>[25]</sup>.本实验结果发现蓝白龙胆种子萌发需要的土壤水分变幅较大,15%~30%土壤水分处理均能保证种子正常萌发.最适种子萌发土壤湿度为20%~25%.土壤湿度小于10%或者大于35%时抑制种子萌发,这是因为种子萌发需要足够的水分,一旦水分匮乏,萌发立即受限<sup>[1]</sup>.土壤湿度过高会造成种子萌发所需氧气供应不足,影响种子正常生理代谢,进而抑制种子萌发<sup>[1]</sup>.

光照影响种子萌发,有些种子需要在特定的光周期条件下才能萌发<sup>[6,7]</sup>,一些小种子物种种子萌发必须依赖于适度光照强度<sup>[3]</sup>,一旦深埋种子会导致萌发率大幅下降<sup>[8]</sup>.研究结果显示,黑暗条件显著的抑制了蓝白龙胆种子萌发,而充足的光照能够显著促进种子萌发.同时,随土层厚度的增加,萌发率随之下降.主要是由于光照强度减少引起的<sup>[8]</sup>.

实验结果发现种子贮藏时间、温度、土壤水分、光照强度和土层厚度均影响蓝白龙胆种子萌发.但

是,本实验只关注单个因素对种子萌发的影响,没有将各个因素综合起来进行比较研究.事实上,在自然条件下,温度、光照强度或者水分综合起来影响种子萌发,而且各个因子间存在补偿效应,例如光照和温度<sup>[1]</sup>.对于各个因素对蓝白龙胆种子萌发的综合效应,需要实验进一步来验证.此外,实验发现,蓝白龙胆在种子成熟 30 d 内其萌发率很高,达到 90% 以上,这与徐秀丽等人研究结果不一致<sup>[21]</sup>.可能是由于种子萌发时间不同造成的.因为徐秀丽等人种子采集于 6 月份,但种子采集后放置在室温中干燥、越冬,直到第二年的 3 月份才开始进行种子萌发实验<sup>[21]</sup>.实验发现蓝白龙胆种子一旦放置 180 d 后萌发,其萌发率在 3% 左右.说明对于物种间种子萌发特性的比较,一定要充分考虑该物种种子寿命<sup>[24]</sup>.研究结果对于探讨若尔盖高原物种适应机制提供案例和数据支撑.

## 4 结 论

研究采用室内控制实验比较了种子贮藏时间、萌发温度、土壤水分、光照和土层厚度对蓝白龙胆种子萌发的影响,得出以下主要结论:

1) 种子成熟后 0~30 d 萌发率最高,之后随贮藏时间增加其萌发率开始下降,表明蓝白龙胆种子寿命相对较短.

2) 种子萌发温度幅较宽,10~30℃ 均能使其萌发,这可能是长期适应高寒草地温度条件的结果.

3) 随土壤含水量的增加,种子萌发率呈现先增加后降低的趋势,20%~25% 土壤含水量是种子萌发的最佳湿度.

4) 光照促进种子萌发,但黑暗抑制其萌发.并且随土层厚度的增加,萌发率显著降低.

5) 蓝白龙胆种子萌发受许多因素影响,反映植物适应环境变化所形成的生活史对策.

### 参考文献:

- [1] Fenner M, Thompson K. The ecology of seeds [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [2] Grime J P, Mason G, Curtis A, et al. A comparative study of germination characteristics in a local flora [J]. Journal of Ecology, 1981, 69(3): 1 017-1 059.
- [3] Thompson K, Baster K. Establishment from seed of selected Umbelliferae in unmanaged grassland [J]. Functional Ecology, 1992, 6(3): 346-352.
- [4] Crawford R M M. Studies in Plant Survival. Oxford: Blackwell, 1989.
- [5] 鱼小军,王彦荣,曾彦军,等.温度和水分对无芒隐子草和条叶车前种子萌发的影响[J].生态学报, 2004, 24(5): 883-887.  
Yu Xiao-jun, Wang Yan-rong, Zeng Yan-jun, et al. Effects of temperature and osmotic potential on seed germination of *Cleistogenes songorica* and *Plantago lessingii* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(5): 883-887.
- [6] Isikawa S. Light sensitivity against germination. I. Photoperiodism in seeds [J]. Botanical Magazine Tokyo, 1954, 67: 51-56.
- [7] Cumming B G. The dependence of germination on photoperiod, light quality, and temperature in *Chenopodium* spp [J]. Canadian Journal of Botany, 1963, 41(8): 1 211-1 233.
- [8] Wooley J T, Stoller E W. Light penetration and light-induced seed germination in soil [J]. Plant Physiology, 1978, 61(4): 597-600.
- [9] Murdoch A J, Ellis R H. Dormancy, viability and longevity [M]. In Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities, ed. M. Fenner, Wallingford: CABI Publishing, pp. 2000: 183-214.
- [10] Hong T D, Linnington S, Ellis R H. A Protocol to Determine Seed Storage Behavior [M]. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1996.
- [11] 刘志民,李雪华,闫巧玲.科尔沁沙地西部草甸植物萌发特征[J].草业学报, 2006, 15(1): 22-28.  
Liu Zhi-min, Li Xue-hua, Yan Qiao-ling. Germination characteristics of plant species from a meadow in the Western Horqin Steppe [J]. Acta Prataculture Sinica, 2006, 15(1): 22-28.
- [12] Jeffery D J, Holmes P M, Rebelo A G. Effects of dry heat on seed germination in selected indigenous and alien legume species in South Africa [J]. South African Journal of Botany, 1988, 54(1): 28-34.
- [13] Hanley M E, Unna J E, Darvill B. Seed size and germination response a relationship for fire following plant species exposed to thermal shock [J]. Oecologia, 2003, 134(1): 18-22.
- [14] 白宏峰,李晓明,周继业.壶瓶碎米茅种子的萌发研究特性[J].安徽农业科学, 2010, 38(7): 3 403-3 405.  
Bai Hong-feng, Li Xiao-ming, Zhou Ji-ye. Germination characteristics of *Cardamine hupingshanensis* seeds [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2010, 38(7): 3 403-3 405.
- [15] 闵继淳,陈颖,李拥军,等.新疆保存 40 年苜蓿、草木栖种子寿命的研究[J].种子, 1996, (2): 33-34.  
Min Ji-chun, Chen Ying, Li Yong-jun, et al. Vital force alfalfa and melilotus seed stored for 40 years in Xinjiang [J]. Seed, 1996, (2): 33-34.

- [16] Mu J P, Li G Y, Sun S C. Petal color, flower temperature and behavior in an alpine annual herb, *Gentiana leucomelaena* (Gentianaceae) [J]. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2010, 42(2): 219-226.
- [17] Mu J P, Li G Y, Niklas K J, et al. Difference in floral traits, pollination and reproductive success between white and blue flowers of *Gentiana leucomelaena* (Gentianaceae) in an alpine meadow [J]. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2011, 43(3): 410-416.
- [18] Mu J P, Peng Y H, Niu K C. Divergent seed production responses of white and blue flowers of *Gentiana leucomelaena* (Gentianaceae) to warming and watering [J]. *Plant Ecology and Diversity*, 2013, 6(3-4): 495-501.
- [19] Mu J P, Peng Y H, Niklas K J, et al. The optimization of seed production across the flowering time of *Gentiana leucomelaena* (Gentianaceae), an herbaceous Tibetan annual [J]. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2014, 46(3): 548-557.
- [20] Mu J P, Yang Y L, Luo Y L, et al. Pollinator preference and pollen viability mediated by flower color synergistically determine seed set in an Alpine annual herb [J]. *Ecology and Evolution*, 2017, 7(9): 2747-2755.
- [21] 徐秀丽, 齐威, 卜海燕, 等. 青藏高原高寒草甸40种一年生植物种子的萌发特性研究[J]. *草业学报*, 2007, 16(3): 74-80.
- Yang Xiu-li, Qi Wei, Bu Hai-yan, et al. The germination characteristics of forty annual plants of the alpine meadow on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Prataculture Sinica*, 2007, 16(3): 74-80.
- [22] 杨美权, 杨维泽, 赵振玲, 等. 滇龙胆种子萌发特性研究[J]. *中国中药杂志*, 2011, 36(5): 556-558.
- Yang Mei-quan, Yang Wei-ze, Zhao Zhen-ling, et al. Seed germination characteristics of *Gentiana rigescens* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2011, 36(5): 556-558.
- [23] Mu J P, Peng Y H, Xi X Q, et al. Domesticated honeybees evolutionarily reduce flower nectar volume in a Tibetan lotus [J]. *Ecology*, 2014, 95(11): 3161-3172.
- [24] 董新红, 宋明. 种子寿命研究进展[J]. *生物学杂志*, 2001, 18(6): 7-9.
- Dong Xin-hong, Song ming. The progress of research in the seeds longevity [J]. *Journal of Biology*, 2001, 18(6): 7-9.
- [25] Xiang S, Guo RQ, Wu N, et al. Current status and future prospects of Zoige Marsh in eastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Ecological Engineering*, 2009, 35(4): 553-562.

## Analysis of Influencing Factors of Seed Germination in *Gentiana leucomelaena* (Gentianaceae)

MU Jun-peng\*, ZHANG Li-dan, FENG Mao-jie, DAI Wen-fei

(Ecological Security and Protection Key Laboratory of Sichuan Province, Mianyang Normal University, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** Laboratory experiments were conducted to examine how variation in seed storage time, germination temperature, soil moisture, illumination intensity, and soil thickness impacted seed germination in the Tibetan annual herb (*Gentiana leucomelaena*). The results demonstrated that seed germination rate determined by seed storage time, germination temperature, soil moisture, illumination intensity and soil thickness. (1) The germination rate of the seed was highest at 0~30 d, and then with the increase of seed storage time, seed germination rate declined dramatically and was no more than 3% after 180 d. (2) The germination temperature range of *G. leucomelaena* was very wide ranged from 10~30°C. (3) With the increase of soil moisture content, seed germination rate showed a tendency of increasing firstly and then decreasing, soil moisture content with 20%~25% was the optimum humidity of seed germination. (4) Light promoted germination, but darkness inhibited its germination. (5) With the increase of soil thickness, germination rate decreased significantly. The results showed that many factors drove variation in seed germination of *G. leucomelaena*, which was the result of long-term adaptation to habitat. 4figs., 2tabs., 25refs.

**Keywords:** seed germination, temperature, soil moisture, seed storage time, Gentianaceae, Tibetan Plateau

**Biography:** Mu Jun-peng, male, born in 1974, Ph.D., associate professor, research direction: plant ecology.