

刻叶紫堇种子休眠特性及解除方法研究

芦建国, 张振玲*

(南京林业大学 风景园林学院, 江苏 南京 210037)

摘要:从刻叶紫堇(*Corydalis incisa*)种子种皮透水性测定、种胚休眠特性检验、种子萌发抑制物的生物测定3个方面探讨了刻叶紫堇种子休眠的主要影响因素;通过不同层积方式和激素处理等方法探讨解除刻叶紫堇种子休眠的最佳处理方法。结果表明,种皮和种皮中含有的萌发抑制物并不是阻碍刻叶紫堇种子萌发的主要因素,而是由于刻叶紫堇种胚本身存在休眠,决定了其必须经过形态-生理后熟才能萌发;刻叶紫堇种子须经过沙藏层积才能打破休眠,本试验中低温转暖温沙藏是最佳层积方式,与 GA₃ 浸种结合既可以提早打破休眠,还可以提高种子萌发率。

关键词:刻叶紫堇种子;休眠;萌发抑制物;层积;赤霉素

中图分类号:S722.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)02-0175-06

Study on Seed Dormancy Characteristics and Remove Methods of *Corydalis incisa*

LU Jian-guo, ZHANG Zhen-ling*

(College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

Abstract: This article discussed the main influencing factors of *Corydalis incisa* seed dormancy from three aspects, including seed skin permeability determination, embryo dormancy characteristic test, seed germination inhibition bioassay. Sand stratification and hormone treatment were adopted to lift the seed dormancy. The results showed that the seed skin and germination inhibitors in the skin were not the main influencing factors to block the seed germination, the seed embryo itself however, existed a dormancy behavior. Therefore, only the seeds passed through form-physiological after ripening, could seeds germination occur. *C. incisa* seeds required sand stratification to break dormancy, among them cold to warm temperature stratification was found to be the best stratification way, combined with GA₃ seed soaking, seed dormancy could be easily lifted while seed germination rate was improved.

Key words: *Corydalis incisa*; seed dormancy; germination inhibitor; sand stratification; GA₃

全世界紫堇属(*Corydalis*)植物有428种左右^[1],主要分布在亚洲。我国本属植物种类十分丰富,文献记载有200多种,全国均有分布,以西南地区最多^[2]。浙江有紫堇属植物10种、3变种和1变型,连同我国东部江苏、安徽、江西、福建、台湾、山东等省共有18种、5变种和1变型^[3],在江苏南京的紫金山区域分布了紫堇属植物总计6种,含有5变种和1变型^[4]。

刻叶紫堇(*Corydalis incisa*)是罂粟科(Papaveraceae)紫堇属(*Corydalis*)1、2年生草本植物,叶

色翠绿,花蓝紫色,早春开花,花形如鸟雀非常奇特,花色丰富艳丽,具有较强的自播能力和较强的耐阴湿能力,其群体花期约43 d,成片种植具有较高的观赏价值,是良好的耐阴观花地被植物。目前紫堇属(*Corydalis*)植物大部分处于野生状态,因此播种是其主要繁殖方式。国内学者对该属的研究主要集中在生物学特性、繁殖栽培技术及愈伤组织诱导等^[5-17]方面。

但是刻叶紫堇种子存在休眠现象,自然繁殖率低,且尚未有学者对其休眠特性及解除休眠的方法

收稿日期:2015-06-12 修回日期:2015-11-25

作者简介:芦建国,男,教授,硕士生导师,研究方向:园林植物应用。E-mail:961203385@qq.com

*通信作者:张振玲,女,硕士研究生,研究方向:园林植物应用。E-mail:18260093505@163.com

进行有效研究。有研究表明,变温层积能够有效打破同属植物紫堇和延胡索种子的休眠^[8,10]。因此本研究通过探讨刻叶紫堇种子休眠特性,并利用 GA₃ 和不同的层积方式探索种子休眠解除的有效方法,为其在园林中的推广应用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

2014 年 5 月采集于南京植物园和红山动物园的野生刻叶紫堇种子,种子新鲜饱满。

1.2 方法

1.2.1 种皮透水性研究 完整的刻叶紫堇种子、割破种皮的刻叶紫堇种子各取 0.2 g,然后放入盛有蒸馏水的烧杯中,再次称量,放在 25℃ 恒温培养箱中,前 12 h 每 2 h 取出 1 次,吸干表面水分,用 1/10 000 天平称重;12 h 之后,每隔 12 h 取出称量,直到种子恒重饱和为止,重复 3 次^[18]。计算各自的吸水率。

吸水率 = $\frac{\text{吸水后重量(g)} - \text{吸水前重量(g)}}{\text{吸水前重量(g)}} \times 100\%$

1.2.2 种子萌发抑制物的生物测定 参考杨晓玲^[19]的方法,准确称取刻叶紫堇种子的种皮、胚、种子各 2 g,放入干净的研钵中,冰浴研磨,之后转移至三角烧瓶中,加入适量 80% 甲醇溶液,密封,然后放在 4℃ 的冰箱中浸提 24 h,浸提过程中要不定期摇动,充分浸提,然后过滤,重复 2 次,将滤液合并,最后用真空旋转蒸发仪在 35℃ 减压浓缩,除去甲醇。将甲醇提取物浓缩液分为 2 等份,一部分以水定容到 0.2 g/mL,并将以上各定容后浸提液分别。各部分浸提液分别稀释为 0.02、0.1 g/mL 和 0.2 g/mL 3 个浓度供生物测定试验用。

将以上分离得到的各相溶液调至 50 粒/mL 有效浓度进行白菜种子发芽试验。取待测液 1 mL 放入直径 90 mm 培养皿中的滤纸上,对照加 1 mL 相应的溶剂,待溶剂挥发尽后,加入 2 mL 蒸馏水,每皿 50 粒于 45~50℃ 水浴温浸 10 min 后的白菜种子,在 25℃ 下培养 36 h 后统计白菜发芽率(以胚根 ≥ 白菜种子直径为发芽标准),培养 60 h 后测量、统计胚根和胚轴长度。

绝对发芽率 = $\frac{\text{给定时期内的发芽种子数}}{\text{供试的饱满粒种子总数}} \times 100\%$

1.2.3 种胚休眠特性检验 选取健康饱满的刻叶紫堇种子,去除种皮并将其置于有滤纸的发芽盒中,滤纸用蒸馏水浸湿,然后置于 25℃,12 h 光照的人工气候箱内培养,每天检查发芽环境的水分和温度情况,轻微发霉的种子,检出用清水冲洗后再放回发芽盒中,霉腐粒较多时,及时更换发芽床,并观察种子的萌发情况。30 d 内无萌发成苗现象则认为种

子种胚具有休眠性。

1.2.4 GA₃ 浸种处理、温水浸种处理对种子萌发的影响 流程:GA₃ 浸种 36 h→置于培养皿→发芽测定;45℃ 温水浸种 36 h→置于培养皿→发芽测定。

GA₃ 浓度:100、250 mg/L 和 500 mg/L;25℃ 恒温浸种 36 h,蒸馏水冲洗干净后置于培养皿培养。

1.2.5 不同层积方式对种子萌发的影响 1)暖温湿沙层积转低温湿沙层积:将经过预处理的种子与湿沙混匀后,先在 25℃ 条件下层积 2.5 个月,再转入 5℃ 条件下层积 2.5 个月。

2)低温湿沙层积转暖温湿沙层积:将经过预处理的种子与湿沙混匀后,先在 5℃ 条件下层积 2.5 个月,再转入 25℃ 条件下层积 2.5 个月。

3)变温湿沙层积结合低温湿沙层积:将经过预处理的种子与湿沙混匀后,先在昼夜变温(白天 12 h 为 25℃,晚间 12 h 为 5℃)条件下层积 5 个月。

每个处理重复 3 次,在层积过程中取样时间分别为 30、60、90、105、120 d 和 150 d。每处理取样后,清水冲洗干净置于培养皿中,进行发芽试验。

1.2.6 GA₃ 处理+暖温转低温湿沙层积对种子萌发的影响 流程:GA₃ 浸种→暖温转低温湿沙层积→置于培养皿→发芽测定。

GA₃ 浸种方法与 1.2.4 相同(区别在于层积前浸种,并以无 GA₃ 浸种作为对照),层积方法和取样时间同 1.2.5。

1.2.7 发芽率测定方法 根据试验方法,在一定的取样时期从处理的刻叶紫堇种子中随机选取,并进行发芽试验。每个处理取 50 粒种子,将种子排列于铺有滤纸的培养皿中,滤纸用蒸馏水浸湿,然后 25℃、光照 24 h 的人工气候箱中进行培养,定期浇水,发芽时间为 30 d,定期统计发芽率。发芽率计算公式如下:

绝对发芽率 = $\frac{\text{给定时期内的发芽种子数}}{\text{供试的饱满粒种子总数}} \times 100\%$

2 结果与分析

2.1 刻叶紫堇种子透水性

对刻叶紫堇种子吸水率的测定结果如图 1。刻叶紫堇种子浸种时间延长,吸水率逐渐升高。2 种类型的种子吸水率曲线变化趋势较为相似,但完整种子的吸水率较破皮种子处于较低水平。

对不同时间的刻叶紫堇种子吸水率进行 Duncan 多重比较(表 1)。结果表明,在 0.01 水平下,处理 36~72 h 各处理间的差异不显著,10、12、12、24 h 和 36 h 间的差异不显著,但处理 0~10 h 各处理

间的吸水率达到极显著差异,即 2 种刻叶紫堇种子在吸水 36 h 时吸水趋于饱和,此后彼此间的吸水率相差较小。在 0.05 水平下,处理 10、12 h 间的差异不显著,处理 36~72 h 各处理间的差异不显著;但处理 0~10、12~36 h 各处理间的吸水率达到显著差异。

表 1 不同处理时间刻叶紫堇种子吸水率的 Duncan 多重比较

Table 1 The Duncan multiple comparison on water absorption rate of *C. incisa* seed in different time durations

时间/h	0	2	4	6	8	10	12	24	36	48	60	72
平均值/%	0.00	26.89	36.56	42.82	47.12	52.25	53.70	56.30	58.19	59.28	59.72	59.82
显著性	1h	Hg	Gf	Fe	Ed	Dc	CDc	BCb	ABab	Aa	Aa	Aa

注:大写字母表示 $\alpha=0.01$ 时的多重比较,小写字母表示 $\alpha=0.05$ 时的多重比较,大写或小写字母相同为差异不显著,不同则为差异显著。

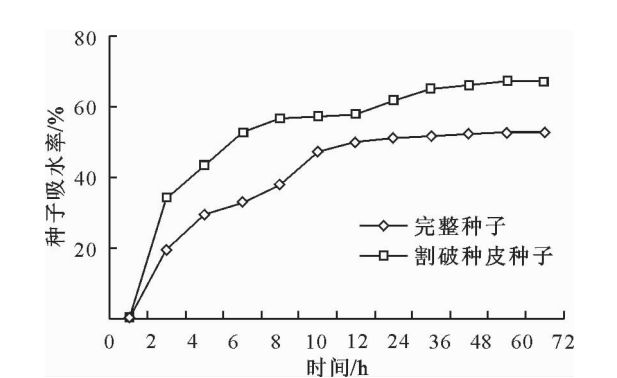


图 1 刻叶紫堇种子吸水率

Fig. 1 Water absorption rate on *C. incisa* seed

2.2 刻叶紫堇种子浸提物的生物测定

2.2.1 刻叶紫堇种子各部分甲醇浸提液对白菜籽发芽率的影响 许多种子的休眠是由于含有内源抑制物,通常通过测定种子不同部位的浸提液对白菜籽发芽率的影响来判定种子是否含有内源抑制物。不同浸提部位及不同浓度浸提液对白菜籽发芽率的影响见图 2。从图 2 可以看出,种子、种胚、种皮对白菜籽发芽率均有一定的抑制作用,在甲醇提取液浓度分别为 0.02、0.1、0.2 g/mL 时,种子浸提液作用的白菜籽发芽率为 93%、86%、72%,比对照降低了 7%、14%、28%;种胚浸提液作用的白菜籽发芽率为 97%、92%、89%,比对照降低了 3%、8%、11%;种皮浸提液作用的白菜籽发芽率为 82%、76%、60%,比对照相降低了 17%、23%、40%。由此可见,虽然白菜籽发芽率随着种子各部位浓度的升高而降低,但不同部位的浸提液对白菜发芽抑制作用大小表现为种皮>种子>种胚。总体来看,刻叶紫堇种子各部位浸提液处理的白菜籽的发芽率随着浸提液浓度的升高呈明显降低的趋势,且浓度越大,下降程度越大。

2.2.2 刻叶紫堇种子各部分甲醇浸提液对白菜根生长的影响 由图 3 可以看出,不同浓度的刻叶紫堇种子各部分浸提液对白菜根生长的影响都有不

综上所述,刻叶紫堇种子吸水过程可以分为 3 个时期:快速吸水期(10 h 之前)、缓慢吸水期(10~36 h)及几近饱和期(36 h 之后)。在快速吸水期末,完整种子已完成吸水总量的 92.7%,几近饱和时,完整种子吸水率已达到 51.52%,表明刻叶紫堇种子种皮具有一定的透水性。

同程度的抑制作用,浸提液浓度越高,抑制作用越明显。以对照处理的白菜平均根长计为 100%,则种子随着浸提液浓度的升高,其根长生长依次为 83.41%、66.89%和 48.69%;种胚、种皮各浓度浸提液处理的根长生长分别为对照的 74.70%、59.19%和 48.63%,69.51%、51.13%和 49.70%。当浓度由 0.1 g/mL 升高到 0.2 g/mL 时,种皮浸提液处理的根长降低了 1.43%,种子和种胚分别降低了 18.50%、10.56%,且 0.2 g/mL 时,种皮提取液对白菜根长的抑制作用低于种子,但高于种胚。说明甲醇浸提液对白菜根长生长的抑制作用表现为种皮>种子>种胚。

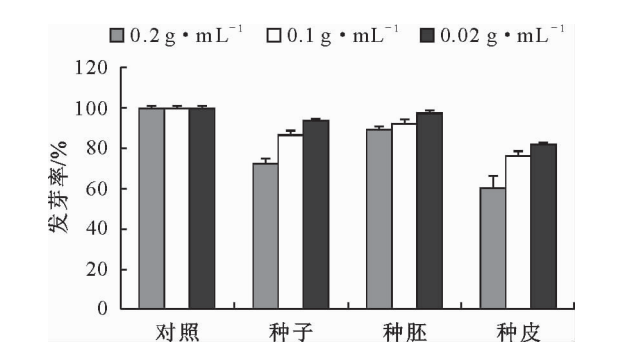


图 2 刻叶紫堇种子各部分甲醇浸提液对白菜籽发芽率的影响

Fig. 2 The germination percentage of *Brassica campestris* after treatment in different concentrations of extract from *C. incisa* seed

2.3 种胚休眠特性检验

要验证种胚是否存在休眠,可以将种皮去除,在适宜的环境条件下培养,30 d 内如果离体胚不萌发或不能形成正常的幼苗,就说明种胚本身存在休眠^[20]。试验结果显示,30 d 内,除去种皮的刻叶紫堇种胚,在适宜的环境条件下,均不能萌发成苗。这说明种皮并不是阻碍刻叶紫堇种子萌发的主要因素,而是由于刻叶紫堇种胚本身休眠特性,决定了其必须经过形态-生理后熟才能萌发。

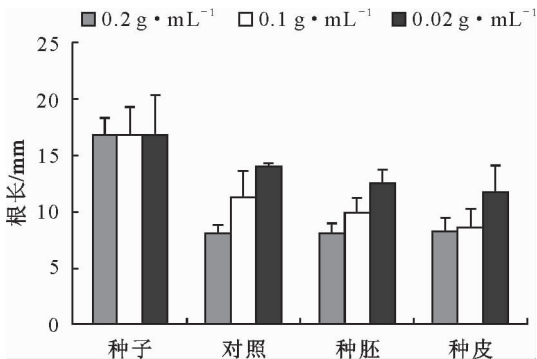


图3 刻叶紫堇种子不同浓度甲醇浸提液对白菜根生长的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of methanol extract from *C. incisa* on the root length of *B. campestris* seedling

2.4 GA₃ 浸种、温水浸种处理对种子萌发的影响

只用 GA₃ 浸种处理或温水浸种处理而不进行层积处理的刻叶紫堇种子,在 30 d 内种子发芽数为 0,种皮的硬度无明显变化,且大部分出现霉、腐粒。由此可见,仅用 GA₃ 浸种处理或温水浸种处理不能有效打破休眠。

2.5 不同层积方式对种子萌发的影响

将刻叶紫堇种子进行不同层积方式处理(分别将暖温转低温层积、低温转暖温层积和昼夜变温层积记为 I、II、III)。层积过程中取样进行种子萌发试验发现(图 4),在层积 90 d 内 3 种层积方式处理均只有极少数种子发芽;105 d 后 I、II、III 层积处理种子发芽率分别为 3%、9%和 3%,发芽率仍然处于较低水平;120 d 后种子发芽率大幅度提高,分别达 20%、33%和 22%;150 d 后种子发芽率仍有较大程度的提高,分别达到 33%、42%和 37%。由此可以看出,在层积 30、60、90 d 和 105 d 后,刻叶紫堇种子的发芽率仍较低,说明种子休眠并没有完全被打破,层积 120 d 后发芽率提高幅度较大,150 d 时发芽率仍有提高。由此可知,3 种层积方式都可有效解除刻叶紫堇种子的休眠,且每个取样时间种子发芽率均以 II 层积处理最高,因此认为低温转暖温沙藏层积是打破刻叶紫堇种子休眠、促使其发芽的最佳层积方式。

2.6 GA₃ 处理 + 暖温转低温湿沙层积对种子萌发的影响

将刻叶紫堇种子先进行不同 GA₃ 浓度(CK:0 mg/L,a:100 mg/L,b:250 mg/L,c:500 mg/L)的处理,再进行暖温转低温沙藏层积,层积过程中定期取样进行种子萌发试验(图 5)。从图 5 可以看出,在层积 30 d 以内仅有浓度 c 处理的种子有极少数发芽,对照及其他处理发芽率为 0;层积 60 d 时,b 和 c 处理的种子发芽率分别为 3%和 8%,对照及其

他处理发芽率仍然为 0;在层积 90 d 时,CK 与浓度 a 处理的种子均只有极少数发芽,b 和 c 处理的种子发芽率逐渐提高,分别为 12%和 16%;105 d 后 CK 与浓度 a 处理的种子发芽率分别为 3%和 5%,发芽率仍然处于较低水平,b 和 c 处理的种子发芽率有小幅提高,分别达到了 18%和 22%,比对照提高了 15%和 19%;120 d 后 a、b 和 c 处理的种子发芽率均有大幅度提高,分别达 27%、35%和 39%,比对照提高了 7%、15%和 19%;150 d 后种子仍有较大程度的提高,分别达到 35%、44%和 51%,比对照提高了 2%、11%和 18%。

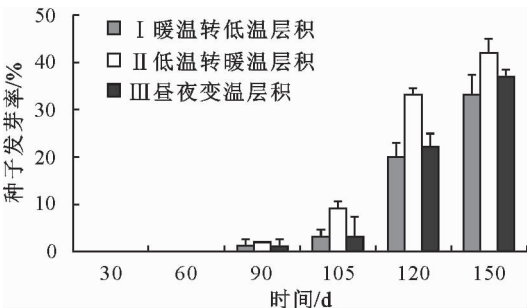


图4 不同层积方式对刻叶紫堇种子发芽率的影响

Fig. 4 Effects of different stratification ways on the germination percentage of *C. incisa* seeds

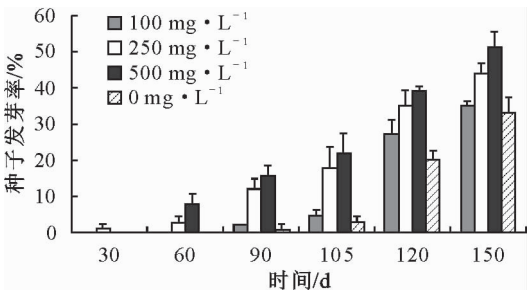


图5 综合处理刻叶紫堇种子发芽率

Fig. 5 Effects of the comprehensive treatment on the germination percentage of *C. incisa* seeds

由此可见,a 浓度的 GA₃ 处理对种子发芽率没有明显的促进作用,但 b、c 浓度的 GA₃ 处理的种子发芽率与对照相比有了较大提高,且最早萌发时间有所提前。充分说明一定浓度的 GA₃ 处理加沙藏层积有提早解除种子休眠,促进萌发,同时还可以提高发芽率和发芽整齐度。

3 结论与讨论

3.1 种子休眠特性

有些种子一直处于休眠状态是由于其种皮的不透性,将其种皮除去或者使用机械措施使种皮出现裂缝或空隙,有利于种子吸水萌发。如豆科(Leguminosae)、藜科(Chenopodiaceae)、旋花科(Convolvulaceae)和茄科(Solanaceae)等都属于这一类^[21]。刻叶紫堇种皮相对坚硬,可能对种子萌发有一定的

影响,且刻叶紫堇完整种子的吸水率低于割破种皮种子的吸水率,但几近饱和时,完整种子吸水率已达到 51.52%,表明刻叶紫堇种子种皮具有一定的透水性。卡恩^[22]认为,种子萌发的水分需求底线是 40%的吸水率。因此刻叶紫堇种皮不是阻碍种子萌发的主要因素。

刻叶紫堇种子各部位甲醇浸提液的生物测定结果表明,不同浓度的甲醇浸提液对白菜籽发芽率和根长的影响也是不同的。不同浓度(0.2、0.1 g/mL 和 0.02 g/mL)刻叶紫堇种子和种皮浸提液与对照处理间白菜发芽率均达到极显著差异水平($\alpha=0.01$),对白菜籽发芽具有较明显的抑制作用;而与种胚浸提液处理的白菜籽的发芽率具有显著差异($\alpha=0.05$)。抑制作用依次为种皮>种子>种胚。

种子、种胚、种皮各浓度浸提液与对照组处理间的白菜根长均具有极显著差异。刻叶紫堇种子不同部位甲醇浸提液可以抑制对白菜根长生长,种皮的抑制作用最明显,同时,浸提液浓度越高,对白菜根长生长抑制作用越明显。说明刻叶紫堇种胚、种皮中均含有一定的抑制物,对种子萌发均存在一定的影响,且种皮对种子萌发抑制作用大于种胚。

在试验中还观察到,不同部位的甲醇浸提液浓度增加时,白菜幼苗表现出短缩、扭曲的现象,属于幼苗畸形生长的现象。可以认为,刻叶紫堇种子内存在的抑制物质,对种子发芽和幼苗生长都会造成严重的影响,甚至导致幼苗畸形。由此说明,刻叶紫堇种胚、种皮中含有抑制种子萌发和幼苗生长的抑制物质。

通过种子休眠特性的检验,排除了种皮障碍阻碍刻叶紫堇种子萌发,证实了刻叶紫堇种胚存在形态-生理后熟型休眠。

3.2 种子休眠的解除

浸种处理尤其是温水浸种处理可以使植物种子充分吸水,使种皮变软,除去或者溶解掉种子表面的蜡质层和油脂层,从而增强种皮透气和透水性;此外流水浸种还可以浸出并冲洗掉植物种子内部的萌发抑制剂,从而促进种子迅速、整齐地发芽^[23]。

生产实践中,经常采用层积处理的方式来解除具有胚休眠特性的种子休眠,同时很多研究表明,部分种子的休眠可以通过层积处理来解除,且效果显著。例如,山桃(*Amygdalus davidiana*)种子^[24]在 0℃下层积一段时间,不但可以解除种子休眠,还有促使种子发芽率提高的作用,层积结束后种子发芽率可以达 55%。而有一些种子需要先低温再进行一段时间的高温处理,才可以有效地解除休眠并萌发。如百合(*Lilium brownii* var. *viridulum*)和牡

丹(*Paeonia suffruticosa*)等种子^[25]的休眠特性属于上胚轴休眠,因此变温层积对种子休眠的解除有较好的效果。忍冬科琼花(*Viburnum macrocephalum* f. *keteleeri*)需经过低温层积到暖温层积再到低温层积才可以更有效地解除种子的休眠^[26]。

不同浓度 GA₃ 浸种处理或者温水浸种的刻叶紫堇种子萌发试验结果表明,只用 GA₃ 浸种处理及温水浸种处理而不进行层积处理的刻叶紫堇种子,在 30 d 内种子发芽数为 0,种皮的硬度无明显变化,且大部分出现霉、腐粒。说明刻叶紫堇种子存在胚后熟的休眠特性,仅用 GA₃ 浸种处理或者温水浸种处理不能有效打破刻叶紫堇种子休眠。

通过不同层积方式对刻叶紫堇进行萌发试验结果表明,3 种层积处理的种子发芽率均随着取样时间的增加而升高,并在 120 d 时种子发芽率达到最大增幅,说明层积 120 d 可能是刻叶紫堇有效解除休眠的临界点。

3 种层积方式均可以在 120 d 时有效打破种子休眠,但 I 与 III 层积处理的种子发芽率间没有明显差异,II 层积处理与 I、III 层积处理的种子发芽率间均存在极显著差异,且 150 d 时刻叶紫堇发芽率达到了 42%,充分说明 II 层积方式是解除刻叶紫堇休眠、促使其萌发的最佳层积方式。

赤霉素可以诱导植物组织形成水解酶,用于水解种子内部贮藏物质,为种子萌发提供营养物质,如淀粉可分解为可溶性糖,蛋白质则可以分解成氨基酸,为种胚的萌发准备营养物质,从而促进种胚后熟和种子萌发^[26]。将刻叶紫堇种子先进行不同 GA₃ 浓度(CK: 0 mg/L, a: 100 mg/L, b: 250 mg/L, c: 500 mg/L)的处理再进行暖温转低温沙藏层积,层积过程中定期取样进行种子萌发试验。结果表明, a 浓度的 GA₃ 处理对种子发芽率没有明显的促进作用,但 b、c 浓度 GA₃ 处理的种子发芽率与对照相比有了较大提高,且最早萌发时间有所提前。充分说明一定浓度的 GA₃ 处理加沙藏层积可提早打破种子休眠,并提高种子发芽率和发芽整齐度^[27]。但在 GA₃ 浸种处理时,刻叶紫堇种子没有明显的解除休眠的临界点,整个发芽过程持续了 60 d 左右才完成,对照处理的整个发芽过程仅持续了 30 d。因此发芽周期过长,不利于人工生产栽培,应进一步研究降低刻叶紫堇发芽时滞的方法。

参考文献:

- [1] 张继. 两种紫堇的应用基础研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2002: 4.
- [2] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴: 补编第一册[M].

北京:科学出版社,1982:661-697.

[3] 张渝华,庄元忠. 浙江及其邻近地区的紫堇属植物[J]. 云南植物研究,1990,12(1):35-41.

[4] 程澄,田如男. 南京紫金山风景区紫堇属观赏植物调查及开发应用前景[J]. 中国野生植物资源,2010,29(4):13-16.
CHENG C, TIAN R N. Survey and analysis of *Corydalis* plants'prospects in the Nanjing Purple Mountain[J]. Chinese Wild Plant Resources,2010,29(4):13-16. (in Chinese)

[5] 韩凤,林茂祥,肖杰易,等. 毛黄堇种子萌发特性的初步研究[J]. 湖南农业科学,2012(8):20-21.

[6] 韩凤,刘杰,林茂祥,等. 濒危植物毛黄堇愈伤组织诱导条件的初步研究[J]. 现代中药研究与实践,2009(4):27-28.

[7] 陈晓玲,应求是,马英刚. 水分处理对刻叶紫堇及珠芽尖距紫堇种子发芽的影响[J]. 浙江农业科学,2012(3):316-317.

[8] 王娜. 紫堇种子生物学特性及萌发条件研究[D]. 南京:南京林业大学,2013:12-22.

[9] 胡珂,李广来,李娟,等. 贮藏条件对延胡索种子发育的影响[J]. 中药材,2012,35(7):1022-1025.
HU K,LI G L,LI J,*et al.* Influence of storage conditions on the seed development of *Corydalis yanhusuo* [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials,2012,35(7):1022-1025. (in Chinese)

[10] 郭聪聪. 延胡索种子萌发特性与植株耐阴性研究[D]. 南京:南京林业大学,2014:18-25.

[11] 胡珂,梁益敏. 野生状态下多年生延胡索块茎生长和繁殖的研究[J]. 中草药,1998,29(1):49-50.

[12] 程国彬,张志媛. 东北延胡索的栽培技术[J]. 林业勘察设计,2012(3):81-83.
CHENG G B,ZHANG Z Y. Cultivation technology of *Corydalisambigua* [J]. Journal of Forestry Survey and Ddesign,2012(3):81-83. (in Chinese)

[13] 孙国刚,孙秀安. 东北延胡索的栽培[J]. 特种经济植物,2011,14(1):38-39.

[14] 徐春梅. 延胡索优质高产栽培技术体系研究[D]. 杭州:浙江大学,2005:1-4.

[15] 傅孝溪. 延胡索愈伤组织的培养和器官再生[J]. 植物生理通讯,1980(3):51-53.

[16] 张东向,李显峰,邵淑丽. 东北延胡索愈伤组织培养及延胡索乙素形成的适宜条件[J]. 植物研究,2003,23(3):302-307.
ZHANG D X,LI X F,SHAO S L. Callus culture and conditions for dl-tetrahydropalmatine formationin *Corydalis yanhusuo* from northeast of China[J]. Bulletin of Botanical Research,2003,23(3):302-307. (in Chinese)

[17] 李祥芬,李冬雪,宋诗迎,等. 全叶延胡索愈伤组织诱导及快速繁殖的研究[J]. 黑龙江科学,2012(5):34-36.
LI X F,LI D X,SONG S Y,*et al.* The study on callus induction and rapid propagationof *Corydalis repens* [J]. Heilongjiang Science,2012(5):34-36. (in Chinese)

[18] 郑健,蒋鹤,张晓萌,等. 野皂荚种子萌发特性研究[J]. 西北林学院学报,2013,28(6):46-50.
ZHEN J,JIANG H,ZHANG X M,*et al.* Seed germination test on *Gleitsis microphylla* [J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(6):46-50. (in Chinese)

[19] 杨晓玲,郭守华,张建文,等. 山楂种子抑制物质的提取分离及生物测定[J]. 经济林研究,2008,26(4):63-67.
YANG X L,GUO S H,ZHANG J W,*et al.* Separation and bioassay of inhibitory substances in hawthorn seeds [J]. Nonwood Forest Research,2008,26(4):63-67. (in Chinese)

[20] 李亚涛. 薰衣草种子的休眠机制及其解除策略研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2010:17-20.

[21] 万朝琨. 珙桐种子休眠的解剖学研究[J]. 中南林学院学报,1988,8(1):35-39.

[22] 卡恩 A A. 种子休眠和萌发的生理生化[M]. 北京:农业出版社,1989:33-68.

[23] 钱仙云. 温度与 GA₃ 解除凤丹种子休眠的生理代谢变化及其幼苗质量的影响[D]. 南京:南京农业大学,2009:6-8.

[24] 赵晓光. 打破山桃种子休眠方法的研究[J]. 种子,2005,24(5):62-62.

[25] 傅强,杨期和,叶万辉. 种子休眠的解除方法[J]. 广西农业生物科学,2003,22(3):230-234.
FU Q,YANG Q H,YE W H. Summarization on methods to relieve seed dormancy[J]. Journal of Guangxi Agric. and Biol. Science,2003,22(3):230-234. (in Chinese)

[26] 金飏,陈宇,王莉,等. 影响琼花种子休眠的因素[J]. 植物生理学通讯,2005,41(5):610-612.
JIN B,CHEN Y,WANG L,*et al.* Factors influencing seed dormancy of *Viburnum macrocephalum* Fort. [J]. Plant Physiology Communications,2005,41(5):610-612. (in Chinese)

[27] 张晓曼,孙晓光,杜绍华,等. 四季报春种子萌芽生物学特性研究[J]. 西北林学院学报,2009,24(5):85-87.
ZHANG X M,SUN X G,DU S H,*et al.* Biological characteristics of seeds germination in *Primula obconica* [J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(5):85-87. (in Chinese)