

## 不同预处理对 3 种野生白蜡属植物种子萌发的影响

吴超然, 王熙, 权键, 魏钰\* (国家植物园(北园)/北京市花卉园艺工程技术研究中心/城乡生态环境北京实验室, 北京 100093)

**摘要** [目的]探索 3 种白蜡种子最佳处理方法。[方法]采用标准发芽法及发芽率测定等方法,研究层积处理、赤霉素处理、赤霉素+层积处理对 3 种白蜡属种子萌发的影响。[结果]苦枥木、秦岭白蜡树、披针叶白蜡树经赤霉素处理后,种子几乎不萌发。层积处理 90 d,苦枥木、秦岭白蜡树、披针叶白蜡树种子的发芽率分别为 19%、25%、48%。赤霉素+层积处理 90 d 后,种子发芽率较层积处理有很大提高。赤霉素浓度在 0~300 mg/L,种子发芽率随浓度升高而增大,当赤霉素浓度为 400 mg/L 以上,种子发芽率反而降低。[结论]层积处理 90 d 结合赤霉素 300 mg/L 处理是 3 种白蜡属植物种子的最优预处理方式。

**关键词** 野生白蜡;种子萌发;预处理;萌发特性

**中图分类号** S 792.41 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2023)09-0087-03

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.09.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Different Pretreatment on Seed Germination of Three Wild Species of *Faxinus*

WU Chao-ran, WANG Xi, QUAN Jian et al (China National Botanical Garden (North Garden)/Beijing Floriculture Engineering Technology Research Center/Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing 100093)

**Abstract** [Objective] To explore the best treatment methods for three kinds of *Faxinus* seeds. [Method] The effects of stratification, gibberellin treatment, and stratification+gibberellin treatment on seed germination of the 3 species *Faxinus* were studied using standard germination and germination rate measurement method. [Result] The results showed that the 3 species seeds hardly germinated when treated with a single gibberellin. After 90 days of stratification, the germination rates of the seeds of *Faxinus insularis*, *Faxinus paxiana*, *Faxinus baroniana* were 19%, 25%, 48% respectively. After 90 days of gibberellin treatment combined with stratification, the germination rates were improved greatly compared with the single stratified treatment. When the concentration of gibberellin was between 0 and 300 mg/L, the germination rate of seeds increased with the increase of the concentration, but decreased above 400 mg/L. [Conclusion] Comprehensive analysis showed that 90 days of stratification combined with 300 mg/L of gibberellin was the optimal treatment method for the seeds of the three species of *Faxinus*.

**Key words** Wild *Faxinus*; Seed germination; Pretreatment; Germination characteristics

白蜡是木犀科白蜡属(*Faxinus*)植物的统称,又称栲。全世界白蜡属植物约有 60 余种,大部分分布在北半球暖温带和亚热带区域。我国产 27 种,在东北中南部、华北、黄河流域、长江流域及华南、西南均有分布。多个城市把白蜡属植物选为市树,可见白蜡属植物在园林绿化中的重要地位。在我国陕西秦岭地区和甘肃小陇山地区是最为集中的区域,在该区域集中分布了若干个特有种类,如秦岭白蜡树(*F. paxiana*)、披针叶白蜡树(*F. baroniana*);在东北、华北地区白蜡属植物分布也较为集中,特别是小叶白蜡(*F. bungeana*)和水曲柳(*F. mandshurica*)等。近年来,我国引种的白蜡以美国花曲柳(*F. americana*)、洋白蜡(*F. pennsylvanica*)和绒毛白蜡(*F. velutina*)等原产国外的种类居多。这些种类受蛀干害虫花曲柳窄吉丁(*Agrilus planipennis*)的危害较为严重<sup>[1-7]</sup>,促使我国原生种的引种驯化得到更多关注。

目前,白蜡属的繁殖以种子繁殖为主,而白蜡属植物种子大多具有一定的休眠特性,这大大影响了对该属植物的引种繁殖工作。早在 20 世纪 30 年代,Steinbauer<sup>[8]</sup>对美国白蜡、洋白蜡等 4 个白蜡属树种种子的休眠与萌发进行了研究。之后,各国学者相继从果皮透性、胚的发育状况、抑制物质和生理后熟等方面,对其种子的休眠和萌发机制以及催芽技术进行了大量研究<sup>[9]</sup>。Asakawa<sup>[10]</sup>对日本水曲柳研究发

现,胚由于受被覆盖物组织(果皮、种皮和胚乳)的机械阻碍而不能萌发。凌世瑜<sup>[11]</sup>研究发现,水曲柳种子休眠的原因主要是果皮内含抑制物质和阻碍氧气投入,种胚未发育成熟和存在生理休眠。刘润妮等<sup>[12]</sup>研究了大叶白蜡种子休眠机理和预处理方法,发现果翅对种子的休眠有一定的抑制作用。刘雅琦等<sup>[13]</sup>研究了对节白蜡种子萌发特性,发现种皮对种子萌发有一定的机械障碍。

现阶段针对白蜡属种子的研究大多数集中于对其休眠机理的探索方面,然而在实际生产应用之前的关键环节——种子预处理方面的技术方法研究还相对较少,目前仅有刘润妮等<sup>[12-13]</sup>针对白蜡属部分种子的萌发特性进行了探索。针对北方地区的代表性、系统性的研究尚鲜见报道。笔者选取与北京同纬度带的陕西太白山、甘肃徽县及甘肃党川 3 个地区,采集 3 种我国原产的白蜡属(*Fraxinus*)植物,即苦枥木(*F. insularis*)、秦岭白蜡树(*F. paxiana*)、披针叶白蜡树(*F. baroniana*)野生种子,在前人研究的基础上,结合多年引种工作经验,通过层积处理、赤霉素、赤霉素+层积处理 3 种方法,探讨了不同预处理方法对 3 种白蜡属植物种子萌发的影响,旨在为北京及北方地区引种和人工开发利用野生植物资源奠定理论基础。

### 1 材料与方法

**1.1 种子来源与采集** 苦枥木、秦岭白蜡树种子采自陕西太白山,披针叶白蜡树种子采自甘肃徽县。种子具体情况见表 1。种子千粒重测定参考吴超然等<sup>[14]</sup>对老鹳草种子的测定方法。

**基金项目** 国家植物园(北园)园管课题“植物园露地濒危木本植物现状分析研究”(BZ202102)。

**作者简介** 吴超然(1982—),女,北京人,高级工程师,从事濒危木本植物引种与保育研究。\*通信作者,正高级工程师,硕士,从事植物迁地保护、球宿根花卉研究与应用。

**收稿日期** 2022-05-25;修回日期 2022-09-13

表1 3种白蜡属植物种子的千粒重

Table 1 1 000-grain weight of three kinds of *Faxinus* seeds

名称 Name	采集地 Collection place	千粒重 1 000-grain weight//g
苦枥木 <i>F. insularis</i>	陕西太白山	26.0
秦岭白蜡树 <i>F. paxiana</i>	陕西太白山	18.5
披针叶白蜡树 <i>F. baroniana</i>	甘肃徽县	22.9

试验种子采集后在阴凉处通风晾干,剔除杂物后放在实验室4℃冰箱保存备用。赤霉素(分析纯)为上海溶剂厂生产,层积基质为洁净的河沙。试验使用的人工气候箱为哈东联Y-300。

## 1.2 试验方法

**1.2.1 赤霉素处理。**3种白蜡属植物种子分别用200、300、400、500 mg/L赤霉素溶液浸种24 h后,捞出沥干待用。

**1.2.2 层积处理。**室温条件下,浸种24 h后,将种子沥干后与河沙混合,比例为1:3,河沙和种子的湿度为手握成团即可。将混合好的混合物装入密封袋内,放入冰箱进行层积处理。每隔5 d检查1次,保持河沙的湿度适中。当年10月开始层积3种白蜡属植物种子。层积时间分别为0、30、60、90 d。

**1.2.3 赤霉素+层积处理。**3种白蜡属植物种子分别用200、300、400、500 mg/L赤霉素溶液浸种24 h后,再结合不同时间的低温层积(0、30、60、90 d)。

**1.3 试验设计** 每个处理每个组合随机选取50粒种子,4组重复。将种子至于铺有3层滤纸、直径为9 cm的培养皿中,置于黑暗下20℃恒温培养。

**1.4 项目测定** 以胚根突破种皮为萌发标准,第30天统计发芽率。

发芽率=正常发芽种子数/供试种子总数×100%

**1.5 数据处理** 所有数据均使用Excel 2003和SPSS 22.0进行统计分析。

## 2 结果与分析

**2.1 赤霉素处理对3种白蜡属植物种子发芽率的影响** 苦枥木、秦岭白蜡树和披针叶白蜡树种子用赤霉素处理后,只有披针叶白蜡树种子在300 mg/L赤霉素处理下,有2%的发芽率。张鹏等<sup>[9]</sup>研究发现,对于毛白蜡、小叶白蜡、洋白蜡等休眠较浅的白蜡属植物来说,适当浓度的生长调节剂可以促进种子萌发,但是对于水曲柳、欧洲白蜡等种子休眠程度较深的树种作用并不明显,其原因尚待进一步研究。该试验中,赤霉素处理对这3种白蜡属植物种子的萌发没有明显的促进作用,这可能与试验种子的休眠程度比较深有关。

**2.2 层积处理对3种白蜡属植物种子发芽率的影响** 从图1可见,3种白蜡属种子发芽率与层积时间呈正相关关系,种子发芽率随着层积时间的延长而增大。苦枥木未层积处理组及30 d处理组种子发芽率均为0,层积60 d种子发芽率为9%;层积90 d种子发芽率为19%。秦岭白蜡树未层积组和层积30 d处理组的种子发芽率均为0,层积60 d种子发芽率

为11%,而层积90 d种子发芽率为25%。披针叶白蜡树未经层积处理种子发芽率为0,层积30 d种子发芽率为3%;层积60 d种子发芽率为25%,而层积90 d种子发芽率可达48%。

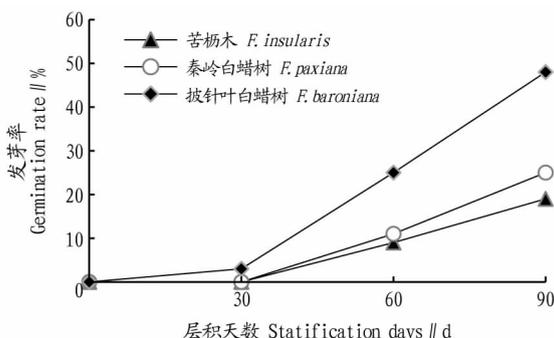


图1 层积时间对3种白蜡属植物种子发芽率的影响

Fig. 1 The effect of layering time on seed germination of three species of *Faxinus*

这3种白蜡属植物种子未层积的情况下,种子发芽率均为0;层积30 d处理,苦枥木和秦岭白蜡树均无种子萌发,披针叶白蜡树种子的发芽率为3%。层积60 d处理,3种白蜡属植物种子均有种子萌发,发芽率表现为披针叶白蜡树>秦岭白蜡树>苦枥木。在层积90 d披针叶白蜡树种子的发芽率明显高于其他2种白蜡种子。3种白蜡属植物种子在层积后,种子的发芽率与未层积相比均有提高。方差分析显示,3种白蜡属植物种子不同层积时间处理组之间,未层积及30 d处理间无显著差异( $P>0.05$ ),其他处理组之间均存在显著差异性( $P<0.05$ )。

低温层积是生产上经常使用的打破种子休眠的方法,对有生理休眠的种子效果较好。低温层积可以软化种皮,增加种子透水通气性,使胚萌发所需的酶、激素、可溶性代谢物质以及其他化合物达到足够水平<sup>[15-16]</sup>。刘润妮等<sup>[12]</sup>对大叶白蜡种子休眠的研究发现,在层积20 d即可解除种子休眠。该试验中,披针叶白蜡树种子在低温层积30 d开始陆续萌发,但是在层积90 d发芽率明显高于层积30 d处理,刘雅琦等<sup>[13]</sup>对对节白蜡种子发芽特性的研究发现,层积后的种子在低温条件下已经完成了生理休眠,这与该试验结果一致,试验中3种白蜡属植物种子在历经90 d的低温处理后种子发芽率有提高。

**2.3 赤霉素+层积处理对3种白蜡属植物种子发芽率的影响** 由表2可知,苦枥木种子在未经层积处理的情况下,单一的赤霉素处理发芽率为0;在层积30 d种子开始萌发。发芽率最高的组合是赤霉素300 mg/L+90 d层积处理。秦岭白蜡树种子在未经层积处理的情况下,赤霉素处理不能有效打破种子休眠,发芽率均为0;在层积90 d种子发芽率大幅提高,赤霉素300 mg/L处理发芽率为70.0%,赤霉素200 mg/L处理发芽率为65.0%。披针叶白蜡树种子在未经层积处理的情况下,300 mg/L处理的发芽率为2.0%,其他组合发芽率均为0。发芽率最高的组合是层积赤霉素300 mg/L+90 d处理组,种子发芽率达65.0%。

表 2 层积处理+赤霉素处理对 3 种白蜡属植物种子发芽率的影响

Table 2 Effect of stratification+gibberellin treatment on the germination rate of three species of *Fraxinus* seeds

种名 Specific name	层积时间 Stratification time//d	发芽率 Germination rate//%			
		200 mg/L 赤霉素 200 mL gibberellin	300 mg/L 赤霉素 300 mL gibberellin	400 mg/L 赤霉素 400 mL gibberellin	500 mg/L 赤霉素 500 mL gibberellin
苦枥木 <i>F. insularis</i>	0	0.0±0.0 aA	0.0±0.0 dA	0±0.0 dA	0.0±0.0 dA
	30	10.0±1.0 bA	20.0±5.2 cA	8.0±0.8 cB	5.0±0.4 cB
	60	42.0±7.1 cA	57.0±16.1 bA	30.0±4.8 bB	25.0±3.2 bB
	90	50.0±12.1 cA	60.0±15.0 aA	40.0±8.1 aB	37.0±6.8 aB
秦岭白蜡树 <i>F. paxiana</i>	0	0.0±0.0 aA	0.0±0.0 aA	0.0±0.0 aA	0.0±0.0 aA
	30	12.0±2.0 aA	16.0±2.0 aA	7.0±0.6 aA	5.0±0.4 aA
	60	58.0±4.1 bA	60.0±4.2 bA	35.0±2.1 bB	30.0±1.8 bB
	90	65.0±5.4 bA	70.0±12.0 bA	50.0±8.6 bA	46.0±9.1 bA
披针叶白蜡树 <i>F. baroniana</i>	0	0.0±0.0 aA	2.0±0.1 aA	0.0±0.0 aA	0.0±0.0 aA
	30	8.0±0.6 aA	15.0±1.1 aA	6.0±0.4 aA	5.0±0.4 aA
	60	45.0±3.2 bA	47.0±8.2 bA	28.0±2.2 bB	23.0±1.6 bB
	90	52.0±4.2 bA	65.0±7.6 bA	43.0±3.4 cA	38.0±3.0 cB

注:字母相同表示差异不显著,字母不同表示差异显著( $P<0.05$ );小写字母为不同层积时间相同赤霉素浓度之间多重分析比较结果,大写字母为同一层积时间不同赤霉素浓度之间多重分析比较结果。

Note:The same letter indicates no significant difference,while different letters indicate significant difference( $P<0.05$ );The lowercase letters are the results of multiple analysis and comparison results of germination rate under different stratification time and same gibberellin concentration,the uppercase letters are the results of multiple analysis and comparison between the germination rate of different gibberellin concentration at the same stratification time.

3 种白蜡种子在未层积的条件下,单一使用赤霉素基本不能打破种子休眠。这与 3 种植物的地理分布可能有一定关系,分布在温带的木本植物种子大部分存在休眠现象。根据方差分析结果可知,赤霉素与层积处理间协同作用显著,层积处理起主导作用。赤霉素浓度在 0~300 mg/L,随着赤霉素浓度的增大种子发芽率会逐步提高;而当赤霉素浓度超过 300 mg/L 时,种子的发芽率反而明显下降,说明赤霉素浓度过高会抑制种子的萌发。由图 2 可知,苦枥木种子在层积 90 d,赤霉素 300 mg/L 处理比单一层积处理种子发芽率高出 41 百分点;秦岭白蜡树种子在层积 90 d 赤霉素 300 mg/L 处

理组比单一层积处理种子发芽率高出 45 百分点;披针叶白蜡树种子在层积 90 d,赤霉素 300 mg/L 处理比单一层积处理种子发芽率高出 17 百分点。苦枥木和秦岭白蜡树种子发芽率在结合赤霉素处理后均可提高 40 个百分点以上。证明适宜的赤霉素能够有效促进白蜡属种子萌发。曹兴等<sup>[15]</sup>研究发现,绒毛白蜡种子在层积后,经适宜浓度的赤霉素浸泡后,平均发芽率达 93%,与对照相比,效果极显著。该试验结果与前人研究基本一致。秦岭白蜡树在层积 90 d 200、300 mg/L 赤霉素处理间发芽率相差不大,而苦枥木和披针叶白蜡树这 2 组处理的发芽率差距较大。

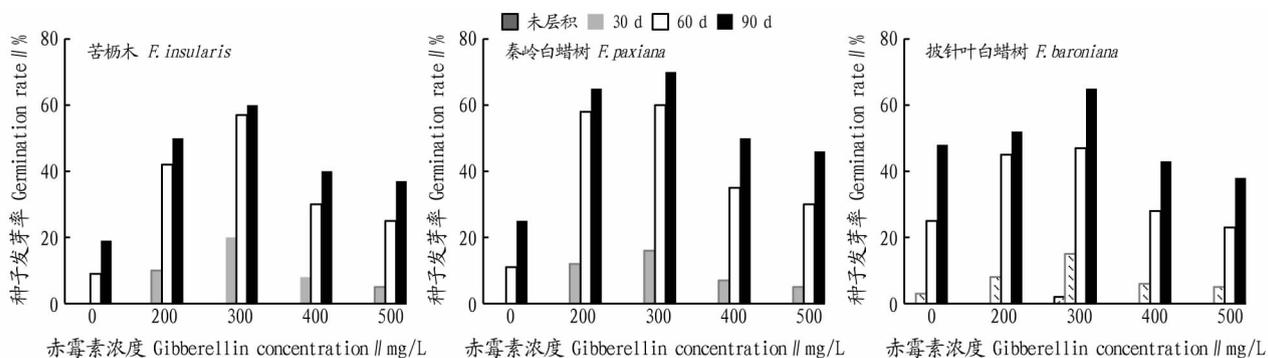


图 2 赤霉素+层积处理对 3 种白蜡属植物种子发芽率的影响

Fig. 2 Effect of gibberellin+stratification treatment on the germination rate of three species of *Fraxinus* seeds

### 3 结论与讨论

该研究结果表明,低温层积处理能够有效打破 3 种白蜡属种子休眠。这与叶景丰<sup>[16]</sup>对美国白蜡树种子萌发特性的研究结果一致。随着层积时间的递增,3 种白蜡属植物种子发芽率均呈现递增趋势。苦枥木、秦岭白蜡树、披针叶白蜡树 3 种种子在低温层积 60 d,种子的发芽率分别为 9%、11%、25%;低温层积 90 d,种子发芽率分别为 19%、25%、48%。

单一的赤霉素处理不能打破 3 种白蜡属植物种子的休眠。试验结果表明,赤霉素处理后只有披针叶白蜡树种子在

赤霉素浓度为 300 mg/L 浸种后有 2.0% 的发芽率,其他种子的发芽率均为 0。这可能与这 3 种白蜡属植物种子休眠程度较深有关。层积 90 d 赤霉素 300 mg/L 处理 3 种种子的发芽率分别为苦枥木 60.0%、秦岭白蜡属 70.0%、披针叶白蜡 65.0%,与同时时间单一层积处理相比种子的发芽率分别提高了 41%、45%、17%。在赤霉素浓度超过 300 mg/L 后,白蜡种子的发芽率随着浓度的增加而降低,证明适宜浓度的赤霉素处理能够有效促进 3 种白蜡属植物种子萌发。

(下转第 140 页)

方式含量高。

## 参考文献

- [1] 张玉斌,曹晖,郭兆斌,等.牛血资源综合开发利用研究进展[J].肉类研究,2011,25(9):30-34.
- [2] 贡佳欣,唐善虎,李思宁,等.不同贮藏方式牦牛血对牦牛肉血品质变化影响的研究[J].食品科技,2019,44(11):127-132.
- [3] 王华清,来进君,段培琪,等.青海牦牛血液资源的研究现状及开发利用[J].青海畜牧兽医杂志,2016,46(2):43-44.
- [4] 沈慧.猪血粉的加工及利用[N].山东科技报,2006-03-17(003).
- [5] 刁治民,杜军华,马寿福.动物血液的开发利用[J].青海科技,2000,7(3):7-10.
- [6] 贡佳欣,唐善虎,李思宁,等.益生菌发酵牦牛肉血肠的制作工艺优化[J].食品工业科技,2020,41(9):41-48.
- [7] 张治平.血液灌流联合生物制剂治疗除草剂中毒的疗效分析[J].深圳中西医结合杂志,2015,25(1):134-135.
- [8] MALUF J U, FIORESE M L, MAESTRE K L, et al. Optimization of the porcine liver enzymatic hydrolysis conditions[J]. Journal of food process engineering, 2020, 43(4):1-12.
- [9] 郭宁,闫实,于跃跃,等.不同生物有机肥对设施番茄及土壤的影响试验初探[J].中国农技推广,2016,32(8):60-62.
- [10] 李亚男,李开宇.氨基酸液肥在油料作物上的试验效果研究[J].园艺与种苗,2012,32(6):21-22.
- [11] 李志伟,高志岭,刘建玲,等.味精废渣肥对油菜生长和土壤化学性状的影响研究[J].农业环境科学学报,2010,29(4):705-710.
- [12] 刘元林,田晓静,黄汇惠,等.2种蛋白酶水解牦牛血液蛋白工艺优化[J].食品安全质量检测学报,2021,12(6):2377-2384.
- [13] 刘元林,田晓静,黄汇惠,等.风味蛋白酶水解牦牛血液蛋白工艺优化研究[J].西北民族大学学报(自然科学版),2021,42(1):31-37.
- [14] 郑福兴,颜安,高雪,等.水旱处理下小麦叶绿素相对含量全基因组关联分析[J].植物遗传资源学报,2021,22(5):1334-1347.
- [15] PAHLKE G, AHLBERG K, OERTEL A, et al. Antioxidant effects of elderberry anthocyanins in human colon carcinoma cells: A study on structure-activity relationships[J]. Molecular nutrition, 2021, 65(17):1-13.
- [16] SUPRIADIN A, JULIANI H, TANYELA N. Isolation flavonoid compound

- chrysoeriol from ethyl acetate extract of zaitun leaves (*Olea europaea*) [J]. Journal of physics: Conference series, 2021, 1869(1):1-8.
- [17] CHEN Q R, WANG X X, YUAN X L, et al. Comparison of phenolic and flavonoid compound profiles and antioxidant and  $\alpha$ -glucosidase inhibition properties of cultivated soybean (*Glycine max*) and wild soybean (*Glycine soja*) [J]. Plants, 2021, 10(4):1-14.
- [18] HUANG J Y, LIU J L, CHEN M Y, et al. Immobilization of roselle anthocyanins into polyvinyl alcohol/hydroxypropyl methylcellulose film matrix: Study on the interaction behavior and mechanism for better shrimp freshness monitoring [J]. International journal of biological macromolecules, 2021, 184:666-677.
- [19] 鲁莹.不同菠菜品种硝酸盐含量差异性初探[D].南京:南京农业大学,2015.
- [20] 张莹.不同环境因子对菠菜生长发育及生理效应的影响[D].上海:上海师范大学,2020.
- [21] 沈明珠,翟宝杰,东惠茹,等.蔬菜硝酸盐累积的研究:I.不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量评价[J].园艺学报,1982,9(4):41-48.
- [22] ZHANG H, XIANG Y L, HE N, et al. Enhanced vitamin C production mediated by an ABA-induced PTP-like nucleotidase improves plant drought tolerance in *Arabidopsis* and maize [J]. Molecular plant, 2020, 13(5):760-776.
- [23] 刘瑞琪,刘凡,贾智.维生素C对牙周膜干细胞中HDAC1和HDAC6表达的影响[J].天津医科大学学报,2021,27(2):105-107,146.
- [24] 张妮,阿迪力·阿不来提,贾凯,等.氨基酸液体肥料替代氮肥对辣椒生长、产量及品质的影响[J].新疆农业科学,2020,57(5):918-924.
- [25] 韦思庚.浓缩氨基酸液体肥在甘蔗上的应用效果分析[J].南方农业,2018,12(30):142-144.
- [26] 刘文国,杨振华,马志峰,等.大棚油桃应用液体配方肥料效果试验[J].安徽农学通报,2016,22(20):45-46.
- [27] 龙惊惊,李小明,王远,等.液体肥增效剂对黄瓜果实产量和品质的影响[J].北方园艺,2018(17):115-123.
- [28] 彭智平,于俊红,黄继川,等.氨基酸液体肥料对沙糖桔产量及品质的影响[J].广东农业科学,2014,41(6):78-79,109.
- [29] 周素云.氨基酸液体肥料在大葱生产上的应用[J].吉林蔬菜,2008(6):58.

(上接第89页)

研究结果表明,3种白蜡属植物种子均存在休眠现象。种子层积90d,白蜡属种子的发芽率均高于其他时间处理组。200~300mg/L赤霉素是3种白蜡属植物种子适宜浓度区间。低温层积结合赤霉素处理是3种白蜡属植物种子的最优预处理方法。在今后的试验中,可以适当延长种子层积时间及寻找更适合白蜡属植物种子萌发的赤霉素浓度。

## 参考文献

- [1] 魏震, DICK REARDON, 吴云, 等. 白蜡窄吉丁虫在中国的研究现状及分布调查[J]. 昆虫学报, 2004, 47(5): 679-685.
- [2] 张喆. 国外花曲柳窄吉丁危害与防治现状简介[J]. 天津农林科技, 2004(2): 27-28.
- [3] 苓建强. 白蜡属不同树种对花曲柳窄吉丁的抗性机制[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [4] 王磊. 云南沧浪中新世单翅类翅果化石研究: 以栲属为例[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- [5] 邬家林. 四川栲属(*Fraxinus*)植物资源[J]. 中国中药杂志, 1989, 14(8): 3-4, 61.
- [6] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第61卷[M]. 北京:

科学出版社, 1992.

- [7] 权健, 王婷, 白芳芳, 等. 部分白蜡属植物收集及其在天津和宝鸡两地的引种栽培[C]//2014年中国植物园学术年会论文集. [出版地不详]: [出版者不详], 2014: 67-71.
- [8] STEINBAUER G P. Dormancy and germination of fraxinus seeds[J]. Plant physiology, 1937, 12(3): 813-824.
- [9] 张鹏, 孙红阳, 沈海龙. 温度对经层积解除休眠的水曲柳种子萌发的影响[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(1): 21-24.
- [10] ASAKAWA S. Thermoperiodic control of germination of *Fraxinus mandshurica* var. *japonica* seeds [J]. Journal of the Japanese forestry society, 1956, 38(7): 269-272.
- [11] 凌世瑜. 赤霉素对水曲柳种子解除休眠的作用[J]. 林业科学, 1986, 22(1): 78-85.
- [12] 刘润妮, 周珊, 刘长命. 大叶白蜡种子休眠机理及预处理方法的研究[J]. 陕西农业科学, 2012, 58(2): 106-110.
- [13] 刘雅琦, 张建, 李刚, 等. 对节白蜡种子发芽特性的研究[J]. 种子, 2016, 35(10): 27-31.
- [14] 吴超然, 王雪芹, 刘恒星, 等. 两种老鹳草属种子萌发特性研究[J]. 北方园艺, 2017(14): 65-69.
- [15] 曹兴, 张秀省. 赤霉素对三种白蜡种子发芽率的影响[J]. 河北林果研究, 2008, 23(1): 12-15.
- [16] 叶景丰. 美国白蜡种子的休眠处理及其育苗技术研究[J]. 黑龙江农业科学, 2015(3): 61-63.