

濒危植物羽叶丁香种子休眠与萌发特性研究

和子森¹, 陈苏依勒³, 程明¹, 温晋芳¹, 蔡靖¹, 姜在民^{2,*}

西北农林科技大学¹林学院, ²生命学院, 陕西杨凌712100; ³内蒙古阿拉善盟蒙医医院, 内蒙古阿拉善左旗750300

摘要: 以濒危植物羽叶丁香(*Syringa pinnatifolia*)种子为材料, 通过形态观察、种子吸水规律测定及其种子水浸液对白菜种子发芽率的影响等几个方面探究了羽叶丁香种子的基本休眠机制。通过室内发芽试验探究了不同浸种温度和赤霉素(GA₃)浓度对羽叶丁香种子萌发特性的影响, 并且模拟了不同温度和光照条件对种子萌发特性的影响。结果显示, 羽叶丁香种子随温度升高吸水速率加快, 最终吸水率在96%~121%之间, 表明种子吸水性良好, 不具有物理休眠特性; 种子内部含有水溶性萌发抑制物, 具有化学休眠特性, 可通过控制浸种时间解除萌发抑制物的限制; 30°C是羽叶丁香种子最好的浸种温度, 发芽率和发芽势分别达到了86.00%±4.00%和54.00%±8.71%, 发芽指数为5.44±0.44; 浸种处理后的种子放在15和25°C恒温无光照条件下测试所得的发芽指标最好, 发芽起始时间最短, 回归分析结果显示光照是影响发芽率最显著的生态因子; GA₃处理并没有显著提高种子发芽率和发芽势, 但高浓度(400~800 mg·L⁻¹) GA₃处理能够加快胚的生长速率, 缩短萌发持续时间, 说明羽叶丁香种子具有部分形态休眠特性。

关键词: 濒危植物; 羽叶丁香; 种子; 休眠机制

羽叶丁香是木犀科(Oleaceae)丁香属中唯一具有羽状复叶的植物, 是我国特有种, 国家三级保护植物(金山等2008); 直立落叶灌木, 株高1~4 m, 花期5~6月, 果期8~9月(中国科学院中国植物志编辑委员会1992); 在丁香属系统演化及对我国植物区系的研究上, 具有重要的学术意义(姜在民等1999)。羽叶丁香仅在贺兰山以及陕西南部的户县、太白山、周至, 甘肃南部, 青海东部的循化, 以及四川西部的金川、宝兴、康定等地有零星分布(金山等2008), 由于生境恶化和人为活动, 其种群还在逐步缩小, 目前多生长于海拔2 000~2 800 m的山坡灌丛。羽叶丁香夏季枝叶繁茂, 株型优美, 花色素雅而芬芳, 具有较高的观赏价值, 其根茎可入药, 是中医和蒙医的名贵药材, 有镇痛、清热、止痢、平喘之功效(布日额2012)。目前, 对羽叶丁香的研究仅限于分类保护、植物化学成分(奥·乌力吉等2013)以及光合生理(姚军朋等2010)等方面, 对其种子休眠与萌发方面的报道很少。

种子繁殖是被子植物最常见的繁殖方式之一, 羽叶丁香种子野外繁殖率低(姜在民等1999), 经调查发现, 在其母株周围经常分散有较多的从根茎部萌生的幼苗, 这种繁殖方式所得幼苗虽然能适应当地环境, 但繁殖系数低, 幼苗生长势差异较大, 对环境变迁的适应能力弱(蒋万杰等2015), 也无法保证后代的遗传多样性。众所周知, 植物种子的休眠是一种保护机制, 它能够决定物种在恶劣环境中的存活几率, 减少同一物种中的个体竞争, 防

止种子在不适宜的季节萌发(付婷婷等2009)。目前普遍认为种皮或果皮吸水障碍、胚休眠与种子萌发抑制类物质是引起种子休眠的三大主要原因(孙佳等2012)。针对羽叶丁香的特殊生境, 本文拟通过种子吸水测试和室内萌发实验研究浸种温度和时间以及赤霉素(GA₃)预处理等不同萌发条件对羽叶丁香种子萌发特性的影响, 初步探究羽叶丁香种子的休眠机制, 从种子生物学的角度揭示其濒危的原因, 并为羽叶丁香的播种育苗和园林绿化提供一定的理论依据和技术支持。

材料与方法

1 试验材料

试验所用羽叶丁香(*Syringa pinnatifolia* Hemsl.)种子采自内蒙古阿拉善左旗, 此地属温带荒漠干旱区, 为典型的大陆型气候, 以风沙大、干旱少雨、日照充足、蒸发强烈为主要特点; 年降雨量80~220 mm, 年蒸发量2 900~3 300 mm; 年平均日照时间3 100 h以上, 年平均气温7.2°C, 无霜期120~180 d。

2014年9月中旬采回新鲜种子后, 自然阴干, 剥去外壳, 放入广口瓶中室温贮藏备用。

研究羽叶丁香种子的水溶性萌发抑制物所用

收稿 2016-01-25 修定 2016-03-14
资助 林业公益性行业科研专项(201204308).
* 通讯作者(E-mail: jiangzmq@163.com).

白菜 [*Brassica pekinensis* (Lour.) Rupr.] 种子, 于2015年8月初购于陕西秦星种苗有限公司, 种子纯度 $\geq 96.0\%$, 净度 $\geq 98.0\%$, 发芽率 $\geq 85.0\%$, 含水量 $\leq 8.0\%$ 。

2 试验方法

2.1 种子形态观察和千粒重测定

随机选取100粒新鲜种子, 观察种子表皮的颜色, 用千分尺测量种子长宽, 8次重复。参照《林木种子检验规程》(GB 2772-1999)相关规定, 采用百粒重法测定种子千粒重, 计算公式为: 千粒重(g) = $10 \times (W_1 + W_2 + \dots + W_8) / 8$, 其中 W_1, W_2, \dots, W_8 为随机选取的每100粒种子的重量。

2.2 种皮透水性及吸水规律测定

分别称取5份羽叶丁香种子各1.0 g, 用纱布包好, 挂上标签, 放于不同的三角瓶中, 种子与水的比例为1:3 (m/m), 然后将它们分别置于20、30、40、50和60°C五个不同温度条件下, 用分析天平称量种子吸水后的质量, 每次称量前用滤纸将种子表面水分吸干。前4个温度条件下, 按4 h内每隔1 h称量一次、4 h后每隔2 h称量一次的程序进行测定; 60°C条件下, 按3 h内每隔0.5 h称量一次、3 h后每隔1 h称量一次的程序进行测定; 记录每次称量的数据。

2.3 浸种温度对羽叶丁香种子萌发特性的影响

使用吸水处理好的种子进行, 种子在试验前用0.3% (m/V)高锰酸钾水溶液消毒30 min, 然后用蒸馏水冲洗3遍。每个浸种温度设置3次重复, 每次重复50粒。先在直径90 mm的培养皿中放入一层滤纸和一层纱布, 种子均匀放在纱布上, 然后将培养皿置于25°C光照培养箱中。每天观察种子萌发情况(胚根突破种皮即视为萌发), 并喷水保持培养皿湿润, 期间记录始发芽时间以及每天的发芽粒数, 直至连续3 d无种子萌发视为发芽结束, 然后计算种子最终的发芽率、发芽势和发芽指数。

2.4 种子水浸液对白菜种子发芽率的影响

将用30°C温水分别浸泡了6、12、24和48 h的羽叶丁香种子的浸泡液处理白菜种子, 每个处理时间设置3次重复, 每次重复100粒, 白菜种子放在内置2层滤纸的90 mm培养皿中, 然后置于25°C无光照培养箱中, 2 d后统计白菜种子萌发率, 并对结果进行单因素方差分析。

2.5 不同萌发条件对种子萌发特性的影响

设置温度和光照2个影响因子, 分8个不同的萌发条件处理, 每个处理设置3次重复, 每次50粒种子。温度处理分为低温和高温2个级别, 分别模拟春末夏初和中夏的温度环境; 温度变化处理分为恒温 and 变温, 分别模拟地下恒温和地表变温的温度环境; 设置黑暗24 h和暗光交替8 h/16 h两个光照处理, 光照强度为 $258 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 分别模拟地下和地表的光照环境(Ayako等2015), 具体如表1所示。试验过程中记录始发芽时间和每天的发芽粒数, 计算发芽率、发芽势和发芽指数。

表1 不同温度和光照处理分布表

Table 1 Distribution table of different temperature and light treatments

处理编号	影响因子		
	温度水平/°C	温度变化	光照变化
T ₁	15	恒温	暗
T ₂	15	恒温	暗/光
T ₃	10/20	变温	暗
T ₄	10/20	变温	暗/光
T ₅	25	恒温	暗
T ₆	25	恒温	暗/光
T ₇	20/30	变温	暗
T ₈	20/30	变温	暗/光

表中光照变化一列的“暗”是指每天24 h黑暗, “暗/光”是指每天黑暗/光照时间为8 h/16 h。

2.6 不同浓度GA₃对羽叶丁香种子萌发特性的影响

试验分50、100、200、400和800 mg·L⁻¹五个不同的GA₃浓度, 以清水为对照, 每一个处理浓度设置3次重复, 每次重复50粒种子, 放在上面试验所得的最佳萌发条件下, 试验过程中记录始发芽时间和每天的发芽粒数, 统计最终的发芽率、发芽势和发芽指数。

2.7 测定指标和数据分析

$$\text{发芽势}(G) = n/N \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{发芽率}(G_r) = \sum(G_t/N) \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{发芽指数}(G_i) = \sum(G_t/D_t) \quad (3)$$

$$\text{吸水率} = (W_x - W_0) / W_0 \times 100\% \quad (4)$$

式中, G_t 表示在第 t 日时的发芽数, n 表示自发芽之日起前5日发芽种子数, N 表示供试种子总数, D_t 表示相应的发芽日数, W_x 表示第 x 次拿出时所测

得的种子质量, W_0 表示初始种子质量。当种子发芽率相同时, 发芽势和发芽指数越高, 表示种子生活力越强, 发芽越整齐, 出苗越一致。试验所得数据用Microsoft Excel 2013和SigmaPlot 12.5进行整理和作图, 用SPSS 19.0对相关数据进行方差分析, 并对不同光照和温度处理的各因子进行多元回归分析。

实验结果

1 种子形态观察和千粒重测定

观察结果显示羽叶丁香种子表皮多数呈褐色或深褐色, 比重占88%; 少数颜色偏黑或呈浅褐色的种子用刀片切开后, 发现其胚已经老化或者不具有胚, 说明不具备发芽能力。种子长约0.49~1.06 cm, 宽约0.09~0.22 cm, 属于小粒种子。种子的千粒重为 4.6579 ± 0.3154 g。

2 种皮透水性及吸水规律测定

在吸水起始3 h内, 随着温度的升高, 吸水量也在迅速增加, 增加量在0.35~1.02 g之间, 吸水速率排序为 $60^\circ\text{C} > 50^\circ\text{C} > 40^\circ\text{C} > 30^\circ\text{C} > 20^\circ\text{C}$ 温度条件(图1-A), 其中 60°C 下的吸水率最高为102% (图1-B)。3~10 h之间, 60°C 下吸水增加量基本为0, 趋于饱和; 20°C 下吸水增加量为0.43 g, 大于前3 h的增加量0.35 g; 剩余三个温度水平下的增加量在0.34~0.42 g之间, 均小于前3 h的吸水量。10 h之后, 20°C 下种子吸水量一直在缓慢增加, 其余三个温度水平下的吸水量均有小幅下降, 而后才增加直至趋于平稳; 10~24 h之间, 20、30、40和 50°C 下种子吸水量分别为0.18、0.13、0.05、0.08 g, 均明显小于10 h之前的吸水量(图1-A)。由公式(4)计算可得, 最终种子吸水率在96%~121%之间, 50°C 水温下浸种吸水率最高。综合分析可知, 在短时间里只有

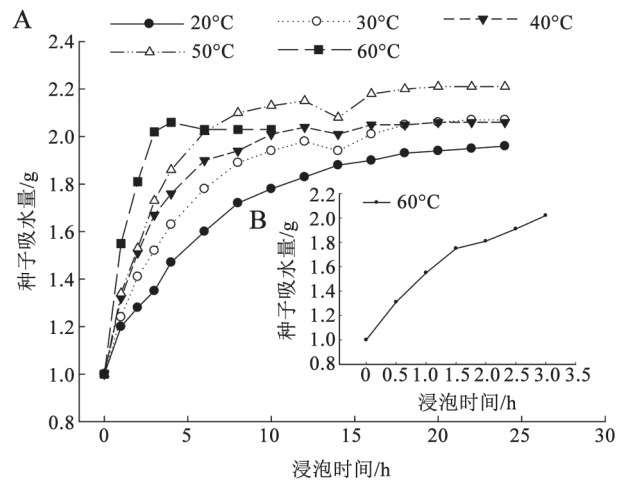


图1 不同浸种温度对羽叶丁香种子吸水规律的影响

Fig.1 Effects of different soaking temperatures on seed absorption rule of *S. pinnatifolia*

A: 五个浸泡温度下的吸水变化曲线对比; B: 60°C 下前3 h的吸水变化曲线。

60°C 能使羽叶丁香种子在3 h内快速达到吸水饱和, 其余温度下均需10 h以上时间, 后续可用种子萌发试验检测吸胀后的种子活力大小。

3 浸种温度对羽叶丁香种子萌发特性的影响

在不同温度下浸泡后发现(表2), 20°C 和 30°C 两个温度条件下羽叶丁香种子的发芽率显著高于其余三个温度下的发芽率, 30°C 下的发芽势显著高于40、50和 60°C 下的发芽势, 发芽指数大小排序为 $30^\circ\text{C} > 20^\circ\text{C} > 40^\circ\text{C} > 50^\circ\text{C} > 60^\circ\text{C}$ 温度条件, 而且 30°C 下的始发芽时间也并列最短, 这说明 30°C 是羽叶丁香种子萌发最佳浸泡温度。

4 羽叶丁香种子水浸液对白菜种子发芽率的影响

由图2可以看出, 每个时间长度的浸泡液处理所得的白菜种子发芽率均小于清水处理, 说明浸泡液能够抑制白菜种子的萌发, 且抑制作用强度

表2 不同浸种温度对羽叶丁香种子萌发特性的影响

Table 2 Effects of different soaking temperatures on seed germination characteristics of *S. pinnatifolia*

温度/ $^\circ\text{C}$	时间/h	始发芽时间/d	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数
20	24	5	77.33 ± 4.62^a	42.67 ± 16.77^{ab}	4.53 ± 0.69^b
30	24	5	86.00 ± 4.00^a	54.00 ± 8.71^a	5.44 ± 0.44^a
40	24	7	50.67 ± 8.32^b	28.67 ± 5.03^b	2.33 ± 0.33^c
50	24	6	12.00 ± 2.00^c	12.00 ± 2.00^c	0.81 ± 0.10^d
60	10	7	4.00 ± 2.00^c	4.00 ± 2.00^c	0.26 ± 0.12^d

表中同列不同小写字母标识表示数据间差异显著($P < 0.05$), 下表同。

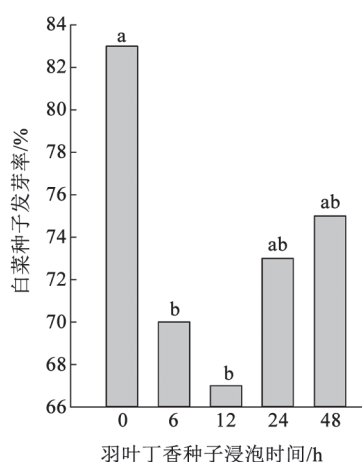


图2 羽叶丁香种子水浸液对白菜种子发芽率的影响
Fig.2 Effect of seed water immersion of *S. pinnatifolia* on Chinese cabbage seed germination rate

呈先下降再上升的趋势。由此可见, 羽叶丁香种子水浸液中存在水溶性萌发抑制物, 浸种时间不同, 抑制物所产生的抑制强度也有所不同。

5 不同萌发条件对种子萌发特性的影响

由表3可知, T_1 、 T_2 、 T_5 和 T_6 条件下的各个发芽指标都显著高于 T_3 、 T_4 、 T_7 和 T_8 , 这说明恒温催芽比变温催芽要好; T_4 和 T_2 条件下的发芽指标分别大于 T_3 和 T_1 , T_5 和 T_7 条件下的发芽指标分别大于 T_6 和 T_8 , 这说明低温下光照促进羽叶丁香种子萌发, 高温下却抑制羽叶丁香种子萌发, 尤其高温变温条件下抑制作用更明显。从发芽时间来看, T_5 和 T_6 条件下的发芽起始时间最短, 比 T_3 和 T_4 提前了5 d。以发芽率为因变量对不同萌发因子作回归分析, 结果如表4所示, 从 R^2 的值可以看出, 这几个因子基本可以解释发芽率的变化, 其中光照变化是影响程度最显著的因子, 其次是温度水平, 影响最

不显著的是温度变化; 从回归系数可以看出, 温度水平与发芽率呈正相关关系, 温度变化和光照变化与发芽率均呈负相关关系。综上所述, 虽然 T_5 (即 25°C 恒温无光照)条件下的发芽率和发芽势略低于 T_2 , 但 T_5 条件下的发芽指数却高于 T_2 , 说明 T_5 条件下种子发芽更整齐, T_5 是羽叶丁香种子最佳的萌发条件。

6 不同浓度 GA_3 对羽叶丁香种子萌发特性的影响

经过不同浓度 GA_3 处理后, 对于羽叶丁香种子的发芽率和发芽势而言, 各浓度处理间并无显著性差异, 而对于发芽指数来说, 部分处理间有显著性差异, 说明 GA_3 不能显著提高羽叶丁香种子的发芽率, 但高浓度(400 和 $800 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) GA_3 处理却能使出苗更整齐(表5)。由图3可知, 经 GA_3 处理后种子前8 d的发芽速率均高于对照, 之后到萌发结束, 400 和 $800 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理所用时间均低于其他处理, 说明高浓度 GA_3 预处理能够加快种子的萌发速率。

讨 论

羽叶丁香种子具有部分形态休眠和化学休眠特性, 种皮透水性良好, 30°C 是种子的最佳浸种温度, 25°C 无光照条件下的萌发特性最好, GA_3 预处理并不能够显著提高其种子萌发率。种子收获后, 可选择干燥贮藏方式进行贮藏, 翌年可通过清水浸泡解除化学休眠, 选用适当浓度的外源 GA_3 可以缩短催芽过程所用时间, 相对于其野外生境因子来说, 适宜的萌发条件能够显著提高种子萌发率, 这也从侧面说明羽叶丁香濒危的部分原因可能是种子萌发时节的气候条件导致其萌发困难, 进而影响了种群更新速度。

植物的繁殖方式分为有性繁殖和无性繁殖,

表3 不同温度和光照处理下种子萌发特性的结果统计表

Table 3 The results of seed germination characteristics under different temperature and light treatments

萌发条件	始发芽时间/d	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数
T_1	5	86.00±8.72 ^a	68.67±7.58 ^a	13.57±2.52 ^a
T_2	5	94.67±4.62 ^a	79.33±4.62 ^a	16.19±2.81 ^a
T_3	9	47.33±30.29 ^c	16.00±22.54 ^c	4.78±4.24 ^c
T_4	9	59.33±13.32 ^{bc}	27.33±7.58 ^{bc}	8.65±0.99 ^{bc}
T_5	4	89.33±3.06 ^a	76.00±10.39 ^a	16.91±4.36 ^a
T_6	4	86.67±3.06 ^a	64.00±7.21 ^a	13.22±1.89 ^a
T_7	6	74.00±6.00 ^{ab}	42.00±3.46 ^b	10.03±0.72 ^b
T_8	7	53.33±6.43 ^{bc}	15.33±4.62 ^c	5.54±0.78 ^c

表4 不同影响因子与发芽率的回归分析结果

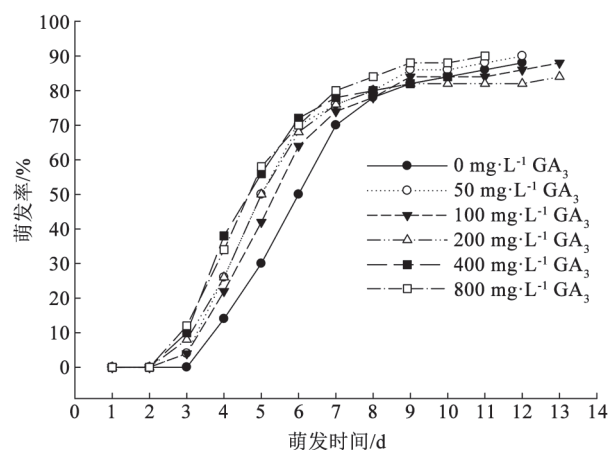
Table 4 The regression analysis results of different influence factors and the germination rate

	非标准化系数		标准系数	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>B</i> 的95.0%置信区间	
	<i>B</i>	标准误差	试用版			下限	上限
(常量)	1.188	0.128		9.315	0.000	0.922	1.454
温度水平	0.020	0.029	0.112	0.701	0.491	-0.040	0.080
温度变化	-0.007	0.057	-0.017	-0.117	0.908	-0.126	0.112
光照变化	-0.327	0.064	-0.815	-5.121	0.000	-0.460	-0.194
调整 R^2				0.534			
模型 F 值				9.799			
模型显著水平				0.000			
标准估计误差				0.13975			
<i>n</i>				24			

B: 样本回归系数; *n*: 样本量大小; *t*: 对方程进行*T*检验后得出的各因子对发芽率的影响程度, *t*的绝对值越大影响越大; *P*: *T*检验的显著性值; R^2 : 线性回归的拟合程度, 即自变量对因变量的解释程度。

表5 不同浓度GA₃对羽叶丁香种子萌发特性的影响Table 5 Effects of different concentrations of GA₃ on seed germination characteristics of *S. pinnatifolia*

GA ₃ 浓度/mg·L ⁻¹	始发芽时间/d	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数
0	4	89.33±0.03 ^a	76.00±0.10 ^a	16.91±4.36 ^a
50	3	89.33±0.05 ^a	72.67±0.03 ^a	14.05±2.14 ^{ab}
100	3	86.00±0.02 ^a	68.67±0.10 ^a	11.78±2.03 ^b
200	3	86.00±0.10 ^a	77.33±0.16 ^a	16.24±1.79 ^{ab}
400	3	84.00±0.11 ^a	78.00±0.10 ^a	18.27±2.20 ^a
800	3	90.00±0.03 ^a	80.00±0.06 ^a	18.51±1.09 ^a

图3 不同浓度GA₃对羽叶丁香种子萌发进程的影响Fig.5 Effects of different concentrations of GA₃ on seed germination process

种子繁殖就属于有性繁殖, 这种繁殖方式既能保证后代种群的遗传多样性, 又能增强幼苗的抗逆性和生长潜力, 是植物引种驯化最易成功的一种

繁殖方式(赵冰等2014)。影响种子繁殖的因素有很多, 包括外部生态环境因素和内部生理因素, 对不同植物来说, 影响种子萌发的主要因子也有差异(Zhang等2015; 李鲜花等2015; 王丹等2015; 张洁等2015)。

水分是种子繁殖和植物生长必不可少的环境因子之一。羽叶丁香种子属于小粒种子, 在成熟之后, 一般随风散布(于顺利等2007), 种子中的含水量很少, 无法激活胚胎生长和种子萌发所需的一系列酶, 也无法将种子中的营养物质溶解成生长可利用的状态, 这也可能是导致羽叶丁香种子野外繁殖率低的重要原因之一。物理休眠是由于种子具有坚硬的种皮, 透水透气性弱所致(喻梅等2012)。本研究通过不同水温的浸泡处理, 发现羽叶丁香种子虽然坚硬且种皮含有一层紧密排列的柱状厚壁细胞层(姜在民等1999), 但不影响种子的透气和透水性, 说明羽叶丁香种子不具有物理休眠特性; 适宜的浸种温度能增强种子的酶促反应

过程和呼吸作用(国志锋等2014)。在30°C条件下浸种24 h, 然后再在25°C条件下催芽, 种子萌发的各项指标均达到了最高, 始发芽时间也最短, 说明30°C是最佳浸种温度, 这与紫丁香(*Syringa oblata*)和红丁香(*Syringa villosa*)的最佳浸种温度略有不同(赵璐等2011)。从吸水速率来看, 羽叶丁香种子的吸水速率会随着浸种温度的升高而加快, 从而缩短种子达到饱和所需的时间, 但如果温度过高会导致种子呼吸速率过快而出现胚胎死亡的现象, 这在育种工作中是不可取的。多项研究表明, 植物种子萌发抑制物是引起种子休眠的一个重要原因(孙佳等2012; 王晓娟等2011; 郑艳玲等2008), 用不同浸泡时间的羽叶丁香种子液处理白菜种子, 发现种子内部含有水溶性萌发抑制物, 具有化学休眠特性, 而且抑制物的抑制作用强度会随着羽叶丁香种子浸泡时间的增长呈现先下降再上升的趋势, 所以在浸种时应控制好种子浸泡时间, 解除发芽抑制物的影响。

不同植物所需的适宜温度和光照条件也不尽相同(Motsa等2015; 宋杰等2010; 赵冰等2014), 本研究设置了8个温度和光照处理组合, 对比各个处理下的不同发芽指标, 由回归系数可知(表4), 恒温比变温更适合羽叶丁香种子的萌发, 说明在野生状态下, 埋于地表的种子比裸露于地面上的种子更容易发芽; 低温条件下光暗交替比无光照处理下的发芽指标要好, 这可能跟羽叶丁香生长地海拔高、郁闭度低有关系, 但是对于高温条件, 则是无光照处理下的发芽指标更好, 说明在育种催芽过程中不同的萌发温度需要的光照条件也不一样。回归分析结果显示, 相比温度, 光照对羽叶丁香萌发率的影响更显著。相关研究表明, 种子萌发的需光性与水分和温度具有耦合作用(张敏等2012), 即一定的温度和水分条件能够影响种子萌发的光需求, 本研究结论表明羽叶丁香种子在低温下的光需求明显高于高温, 也验证了这种耦合作用。野外的强光常伴随着大的蒸发量, 种子会因缺水而避免萌发或者死亡(李文良等2008), 羽叶丁香生长地大多属于干旱半干旱地区, 少见实生幼苗, 对比本实验结果可初步断定其种子为强迫休眠型, 即只要气候适宜, 条件合适即可萌发, 这与鸡冠滇丁香(*Luculia yunnanensis*)的休眠类型相同(万友名等2010)。

GA₃是植物中非常重要的一种激素, 已经证明GA₃可以通过增强休眠的释放而促进种子的萌发, 但对于不同植物它的作用机制也不尽相同(杨荣超等2012; 郑蔚虹等2004; 唐安军2014)。Rhie等(2015)认为GA₃能够代替高温打破鲜黄连种子的休眠, 刘林等(2015)也认为用适宜浓度的GA₃浸泡可诱导种子内部水解酶的合成, 有效改善紫斑杜鹃(*Rhododendron strigillosum*)和三花杜鹃(*Rhododendron triflorum*)种子的萌发情况。本实验中GA₃虽然没有显著提高种子的发芽率和发芽势, 但是高浓度(400~800 mg·L⁻¹) GA₃处理能够缩短种子萌发持续时间, 有利于育种工作的进行, 原因是GA₃在种子萌发过程中能够提高胚胎生长的速率(Rhie等2015), 使胚提早突破种皮。低浓度GA₃处理时发芽指数低可能是由于GA₃和脱落酸(ABA)的拮抗作用(黄桃鹏等2015), 且彼此抑制对方的代谢(李振华和王建华2015), 即GA₃的含量少时, 种子内部ABA含量相应上升, 导致发芽速率减慢, 而有关其基因调控机理方面的原因还有待进一步研究。Baskin和Baskin (2004)总结了一套种子休眠分类系统, 即种子休眠可以分为生理休眠(physiological dormancy)、形态休眠(morphological dormancy)、形态生理休眠(morphophysiological dormancy)、物理休眠(physical dormancy)和复合休眠(combination dormancy)五大类, 其中具有形态休眠的种子通常需要较长时间让其胚生长至足够的体积之后才能萌发。根据浸泡和GA₃处理结果, 羽叶丁香种子具有部分形态休眠特性, 即新采集的种子播种前需要先进行干藏和浸种等预处理, 使胚胎完成伸长生长之后才能萌发。

播种育苗建议: 种子处理选择在春末夏初进行, 大致在3月中旬, 可将选好的种子用400~800 mg·L⁻¹ GA₃在30°C条件下浸泡24 h, 然后用0.3%高锰酸钾溶液消毒30 min, 混适量湿沙避光恒温催芽, 保持湿润, 温度选择15~25°C为最佳。避光1周左右后拿出即可用于播种育苗, 基本可以保证发芽率在90%左右。

参考文献

- Ao W, Wang QH, Wang XL, Dai N, Wuniqi (2013). Extraction and structure elucidation of three lignans from peeled dried roots and stems of *Syringa pinnatifolia*. *Chin Tradit Herb Drugs*, 44 (7): 790–793 (in Chinese with English abstract) [奥·乌力吉, 王青虎,

- 王秀兰, 代那音台, 乌尼奇(2013). 山沉香中3个新木脂素的提取与结构解析. 中草药, 44 (7): 790-793]
- Ayako K, Teruyoshi N, Wajiro S (2015). Seed dormancy and germination characteristics in relation to the regeneration of *Acer pycnanthum*, a vulnerable tree species in Japan. *J For Res*, 20 (1): 160-166
- Baskin JM, Baskin CC (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Sci Res*, 14 (1): 1-16
- Burie (2013). Study on resources situation and medicinal national botany of endangered plants Helan lilac (*Syringa pinnatifolia* Hemsl. var. *alashanensis* Ma et S. Q. Zhou) in the Helan mountains. Proceedings of the Academic Seminar on the 6th Chinese National Botany and the 5th Asia Pacific National Botany, 198-202 (in Chinese with English abstract) [布日额(2013). 贺兰山濒危植物贺兰山丁香 *Syringa pinnatifolia* Hemsl. var. *alashanensis* Ma et S. Q. Zhou 的资源现状及药用民族植物学研究. 第六届中国民族植物学学术研讨会暨第五届亚太民族植物学论坛论文集, 198-202]
- CAS Flora of China Editorial Board (1992). Flora of China. Beijing: Science Press (in Chinese) [中国科学院中国植物志编辑委员会(1992). 中国植物志. 北京: 科学出版社]
- Fu T, Cheng H, Song S (2009). Advances in studies of seed dormancy. *Chin Bull Bot*, 44 (5): 629-641 (in Chinese with English abstract) [付婷婷, 程红焱, 宋松泉(2009). 种子休眠的研究进展. 植物学报, 44 (5): 629-641]
- Guo Z, Yuan L, Gao A, Zheng J (2014). Study on *Syringa villosa* seed germination characteristics and 1a seedling growth characteristics. *Hebei For Sci Technol*, (3): 18-21 (in Chinese) [国志锋, 苑林, 高昂, 郑健(2014). 红丁香种子萌发特性及1a生播种苗生长特性研究. 河北林业科技, (3): 18-21]
- Huang TP, Li MJ, Wang R, Ling L (2015). Progress in study of gibberellins biosynthesis and signaling transduction pathway. *Plant Physiol J*, 51 (8): 1241-1247 (in Chinese with English abstract) [黄桃鹏, 李媚娟, 王睿, 李玲(2015). 赤霉素生物合成及信号转导途径研究进展. 植物生理学报, 51 (8): 1241-1247]
- Jiang WJ, Wu JG, Ren JW, Bin YB, Wang T (2015). The research of characteristics of *Lonicera oblata*. *Chin Horticult Abstr*, (5): 36-38 (in Chinese with English abstract) [蒋万杰, 吴记贵, 任建武, 宾宇波, 汪涛(2015). 北京濒危植物丁香叶忍冬生态特征初步研究. 中国园艺文摘, (5): 36-38]
- Jiang Z, Cai J, Cui H (1999). The anatomical features of the seed for the precious, rare and endangered plants—*Corylus chinensis* and *Syringa pinnatifolia*. *Shaanxi For Sci Technol*, (3): 14-16 (in Chinese with English abstract) [姜在民, 蔡靖, 崔宏安(1999). 华榛、羽叶丁香种子形态构造特点的研究. 陕西林业科技, (3): 14-16]
- Jin S, Hu TH, Li ZG, Xing SH, Cui GF (2008). Species diversity of *Syringa pinnatifolia* community in Helan Mountains. *J West China For Sci*, 37 (4): 40-44 (in Chinese with English abstract) [金山, 胡天华, 李志刚, 邢韶华, 崔国发(2008). 贺兰山羽叶丁香分布区的植物物种多样性特性研究. 西部林业科学, 37 (4): 40-44]
- Li WL, Zhang XP, Hao CY, Zhang H (2008). Characteristics of seed germination of the rare plant *Cercidiphyllum japonicum*. *Acta Ecol Sin*, 28 (11): 5445-5453 (in Chinese with English abstract) [李文良, 张小平, 郝朝运, 张慧(2008). 珍稀植物连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)的种子萌发特性. 生态学报, 28 (11): 5445-5453]
- Li XH, Zhang Y, Luo CY (2015). Effect of cold stratifying treatment on seed germination of *Syringa pekinensis*. *J Shanxi Agr Sci*, 43 (3): 277-279 (in Chinese with English abstract) [李鲜花, 张颖, 罗彩云(2015). 低温层积处理对北京丁香种子萌发的影响. 山西农业科学, 43 (3): 277-279]
- Li ZH, Wang JH (2015). Advances in research of physiological and molecular mechanism in seed vigor and germination. *Sci Agr Sin*, 48 (4): 646-660 (in Chinese with English abstract) [李振华, 王建华(2015). 种子活力与萌发的生理与分子机制研究进展. 中国农业科学, 48 (4): 646-660]
- Liu L, Zhang L, Niu X, Liu H, Wu D (2015). Effect of GA₃ on seeds germination of two species *Rhododendron*. *Seed*, 34 (7): 5-7 (in Chinese with English abstract) [刘林, 张良英, 牛歆雨, 刘洪对, 吴德粉(2015). GA₃对2种杜鹃种子萌发特性的影响. 种子, 34 (7): 5-7]
- Motsa MM, Slabbert MM, van Averbek W, Morey L (2015). Effect of light and temperature on seed germination of selected African leafy vegetables. *S Afr J Bot*, 99: 29-35
- Rhie YH, Lee SY, Kim KS (2015). Seed dormancy and germination in *Jeffersonia dubia* (Berberidaceae) as affected by temperature and gibberellic acid. *Plant Biol*, 17 (2): 327-334.
- Song J, Guan WL, Gui M (2010). Effects of light and temperature on germination of *Luculia intermedia* Hutch. seed. *J West China For Sci*, 39 (3): 73-75 (in Chinese with English abstract) [宋杰, 关文灵, 桂敏(2010). 光照和温度对中型滇丁香种子萌发的影响. 西部林业科学, 39 (3): 73-75]
- Sun J, Guo J, Wei S (2012). Overview on inhibitors of plant seed germination. *Seed*, 31 (4): 57-61 (in Chinese) [孙佳, 郭江帆, 魏朔南(2012). 植物种子萌发抑制物研究概述. 种子, 31 (4): 57-61]
- Tang AJ (2014). Morphophysiological dormancy and changes of endogenous ABA and GA₄ contents in seeds of *Musella lasiocarpa*. *Plant Physiol J*, 50 (4): 419-425 (in Chinese with English abstract) [唐安军(2014). 地涌金莲种子形态生理休眠及激素的动态变化. 植物生理学报, 50 (4): 419-425]
- Wan YM, Wang Y, Li ZH, Ma H, Liu XX, Zhang YL (2010). The effects of different treatment condition on seed germination characteristics of *Luculia yunnanensis*. *J Anhui Agr Sci*, 38 (4): 1811-1813, 1831 (in Chinese with English abstract) [万友名, 王雁, 李正红, 马宏, 刘秀贤, 张艳丽(2010). 不同处理条件对鸡冠滇丁香种子萌发的影响. 安徽农业科学, 38 (4): 1811-1813, 1831]
- Wang D, Wang JJ, Chao KT, You JC (2015). Dormancy and germination characteristics of *Vicia japonica* A. Gray. *Seed*, 34 (7): 8-11 (in Chinese with English abstract) [王丹, 王俊杰, 朝克图, 尤金成(2015). 东方野豌豆种子休眠及萌发特性研究. 种子, 34 (7): 8-11]
- Wang XJ, Zhang FL, Yang ZR, Hao LZ (2011). Relationship between characteristic of *Allium mongolicum* seed coat, embryo, seed leach liquor and seed dormancy. *Plant Physiol J*, 47 (6): 589-594 (in Chinese with English abstract) [王晓娟, 张凤兰, 杨忠仁, 郝

- 丽珍(2011). 沙葱种皮特性、种胚及种子浸提液与种子休眠的关系. 植物生理学报, 47 (6): 589–594]
- Yang RC, Zhang HJ, Wang Q, Guo YD (2012). Regulatory mechanism of plant hormones on seed dormancy and germination (review). Acta Agrestia Sin, 20 (1): 1–9 (in Chinese with English abstract) [杨荣超, 张海军, 王倩, 郭仰东(2012). 植物激素对种子休眠和萌发调控机理的研究进展. 草地学报, 20 (1): 1–9]
- Yao JP, Chen L, Cui HX, Yao T (2010). Responses of photosynthesis and heat-tolerance in seedling of four lilacs to high-temperature. Grassl Turf, 30 (5): 50–55, 58 (in Chinese with English abstract) [姚军朋, 陈莉, 崔洪霞, 姚拓(2010). 丁香属植物光合机构的热响应特征研究. 草原与草坪, 30 (5): 50–55, 58]
- Yu M, Zhou S, Wu X, Wang J, Chang L, Wang J (2012). Dormancy break approaches and property of dormant seeds of wild *Cryptotaenia japonica*. Acta Ecol Sin, 32 (4): 1347–1354 (in Chinese with English abstract) [喻梅, 周守标, 吴晓艳, 汪劫, 常琳琳, 王继明(2012). 野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法. 生态学报, 32 (4): 1347–1354]
- Yu SL, Chen HW, Li H (2007). Review of advances in ecology of seed mass. Chin J Plant Ecol, 31 (6): 989–997 (in Chinese with English abstract) [于顺利, 陈宏伟, 李晖(2007). 种子重量的生态学研究进展. 植物生态学报, 31 (6): 989–997]
- Zhang J, Yang L, Wang H, Wang H (2015). Water permeability of seed coat and bio-effect of seed extraction material of *Tilia amurensis*. Forest Eng, 31 (2): 1–4 (in Chinese with English abstract) [张洁, 杨立学, 王海南, 王会仁(2015). 紫椴种皮透性及种子浸提物生物效应的研究. 森林工程, 31 (2): 1–4]
- Zhang M, Zhu JJ, Yan QL (2012). Review on influence mechanisms of light in seed germination. Chin J Plant Ecol, 36 (8): 899–908 (in Chinese with English abstract) [张敏, 朱教君, 闫巧玲(2012). 光对种子萌发的影响机理研究进展. 植物生态学报, 36 (8): 899–908]
- Zhang T, Song J, Fan J, Gu F (2015). Effects of saline-waterlogging and dryness/moist alternations on seed germination of halophyte and xerophyte. Plant Spec Biol, 30 (3): 231–236
- Zhao B, Dong JY, Zhang DL(2014). Effects of different temperature, light and GA₃ concentration on seed germination of *Rhododendron concinnum*. Seed, 33 (5): 26–30 (in Chinese with English abstract) [赵冰, 董进英, 张冬林(2014). 温度、光照和赤霉素浓度对秀雅杜鹃种子萌发的影响. 种子, 33 (5): 26–30]
- Zhao L, De YJ, Li JQ, Lin T, Xiong CC, Wang Y, Zhang J, Zhang XH (2011). Research on suction temperature and time of *Syringa amurensis* and *Syringa villosa*. J Inner Mongolia Agr Univ, 32 (3): 318–321 (in Chinese with English abstract) [赵璐, 德永军, 李建强, 林涛, 熊翠翠, 王一, 张健, 张秀华(2011). 两种丁香种子适宜浸种温度和时间的研究. 内蒙古农业大学学报, 32 (3): 318–321]
- Zheng W, Qi H, He J (2004). Effects of gibberellin on seed germination and seedling growth of lilac. For Sci Technol, 29 (4): 4–6 (in Chinese with English abstract) [郑蔚虹, 齐恒玉, 何俊莉(2004). 赤霉素对紫丁香种子萌发及幼苗生长的影响. 林业科技, 29 (4): 4–6]
- Zheng YL, Sun WB, Zhao XF (2008). Seed dormancy and germination of *Manglietiastrum sinicum* Law, a globally critical endangered plant in China. Plant Physiol Commun, 44 (1): 100–102 (in Chinese with English abstract) [郑艳玲, 孙卫邦, 赵兴峰(2008). 极度濒危植物华盖木的种子休眠与萌发. 植物生理学通讯, 44 (1): 100–102]

Seed dormancy and germination characteristics of *Syringa pinnatifolia*, an endangered plant in China

HE Zi-Sen¹, CHEN Suyile³, CHENG Ming¹, WEN Jin-Fang¹, CAI Jing¹, JIANG Zai-Min^{2*}

¹College of Forestry, and ²College of Life Science, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shannxi 712100, China; ³Mongolian Medicine Hospital in Alxa League of Inner Mongolia, Alxa Left Banner, Inner Mongolia 750300, China

Abstract: *Syringa pinnatifolia*, an endangered plant in China, was chosen to explore the dormancy mechanism of its seeds through morphologic observation, water-absorption regulation determination and the effect of seed soaking liquid on the germination percentage of Chinese cabbage seed. The effects of different seed soaking temperatures and different concentrations of GA₃ on seed germination characteristics were studied by indoor germination experiment. The different temperatures and light conditions were simulated to explore the best germination conditions. The results show that the water absorption rate of *S. pinnatifolia* seed increased with the raise of the soaking temperature. The final absorption rate ranged from 96% to 121%, which explains that it has good water absorption performance and indicates no physical dormancy. There is water-soluble germination inhibitors inside the seed, which has chemical dormancy characteristics that can be relieved by controlling the soaking time. The best soaking temperature is 30°C. In this condition, its germination percentage and germination vigor reached (86.00±4.00)% and (54.00±8.71)%, respectively, and the germination index was 5.44±0.44. The soaked seeds had the optimal germination data and the shortest germination starting time at constant temperatures of 15 and 25°C in dark. The regression analysis results of different influence factors and the germination rate show that light was the most significant factor. GA₃ treatment did not significantly improve seed germination rate and germination vigor, but high GA₃ concentration (400~800 mg·L⁻¹) treatment could increase the growing speed of the embryo and shorten the germination time, which shows that the seed has morphological dormancy.

Key words: endangered plant; *Syringa pinnatifolia*; seed; dormancy mechanism

Received 2016-01-25 Accepted 2016-03-14

This work was supported by Special Scientific Research Fund of Public Welfare Profession of Forestry (Grant No. 201204308).

*Corresponding author (E-mail: jiangzmz@163.com).