

不同浸种和催芽处理对天女木兰种子的催芽效果

陆秀君^a,王妮妮^a,李天来^b,韩玉芬^a,杨洁^a

(沈阳农业大学 a 林学院, b 园艺学院, 辽宁 沈阳 110161)

[摘要] 【目的】对天女木兰种子进行不同浸种和催芽处理试验,探讨快速解除种子休眠的机理和促进种子萌发的技术。【方法】将天女木兰种子分别用 100, 200, 300 mg/L GA_3 和清水浸种 48 h,然后在室内进行低温层积($(4\pm1)^\circ\text{C}$ 、150 d)和人工控制变温层积($(4\pm1)^\circ\text{C}$ 、50 d $\rightarrow$ ($17\pm1)^\circ\text{C}$ 、25 d $\rightarrow$ ($4\pm1)^\circ\text{C}$ 、50 d $\rightarrow$ ($17\pm1)^\circ\text{C}$ 、25 d)催芽处理,并在层积过程中定期取样测定天女木兰种子的胚长占种子长的比例、呼吸速率、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和蛋白酶活性。【结果】用 GA_3 浸种后进行变温层积催芽的天女木兰种子,胚发育优于相应的低温层积催芽,并随着 GA_3 质量浓度的提高催芽效果越好,且温度条件起主导作用;2 种层积催芽方法下,天女木兰种子的呼吸速率均提高,且经 GA_3 浸种的种子呼吸速率与清水浸种的种子相差不大;天女木兰种子中可溶性糖和可溶性蛋白含量在 2 种层积催芽方法下均比层积前有不同程度提高,不同 GA_3 质量浓度浸种处理间差异不大;用 2 种层积催芽方法催芽的天女木兰种子蛋白酶活性升高,并且随着 GA_3 质量浓度的提高而增强,层积后期蛋白酶活性低于层积初期,变温层积处理的蛋白酶活性高于低温层积处理。【结论】经 300 mg/L GA_3 浸种并进行变温层积的天女木兰种子催芽效果最佳,温度条件在天女木兰种子的层积催芽过程中起主导作用。

[关键词] 天女木兰;催芽试验;层积; GA_3

[中图分类号] S685.991.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2008)05-0135-06

Effect of different soaking and accelerating germination disposals on forced germination of *M. sieboldii* k. koch seeds

LU Xiu-jun^a, WANG Ni-ni^a, LI Tian-lai^b, HAN Yu-fen^a, YANG Jie^a

(a College of Forestry, b College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China)

Abstract: 【Objective】*M. sieboldii* k. koch' seed was researched by different soaking and accelerating germination disposals in order to discuss the mechanism of relieving fastly dormancy and technique of facilitating germination. 【Method】*M. sieboldii* k. koch's seeds were soaked in the liquor of GA_3 100, 200, 300 mg/L and water for 48 h, then stratified them in temperature of indoor stratification($(4\pm1)^\circ\text{C}$, 150 d) and temperature of artificial controlling($(4\pm1)^\circ\text{C}$, 50 d $\rightarrow$ ($17\pm1)^\circ\text{C}$, 25 d $\rightarrow$ ($4\pm1)^\circ\text{C}$, 50 d $\rightarrow$ ($17\pm1)^\circ\text{C}$, 25 d). In the process of stratification samples were fetched termly and embryo measured to kernel length, respiratory rate, solube sugar, solube protein and protease. 【Result】The results showed the growth of the embryo of cold-warm stratification of GA_3 treatments was better than cold stratification of GA_3 treatments, and in the increasing of consistency of GA_3 , the effect of forced germination was more distinct, and the main function was the temperature; After stratification, the respiratory rate enhanced, but the difference of the GA_3 and water soaked seeds was little; solube sugar and solube protein was higher than before in different degrees; After the two different stratifications, the protease increased, and the protease enhanced in the in-

* [收稿日期] 2007-11-19

[基金项目] 沈阳农业大学博士后基金资助项目(777-230409)

[作者简介] 陆秀君(1966—),女,辽宁铁岭人,教授,硕士生导师,主要从事林木种子生理与苗木培育技术研究。

creasing of the consistency of GA₃, in the late period of the stratification the protease was lower than the early stratification, the protease of cold-warm stratification was higher than cold stratification. 【Conclusion】 Effect of *M. sieboldii* k. koch's seed, soaking by GA₃ 300 mg/L and alternating temperature was best, tempreture had dominant role in the process of forced germination of *M. sieboldii* k. koch seeds.

Key words: *M. sieboldii* K. Koch's seed; germination accelerating test; stratification; GA₃

天女木兰 (*Magnolia sieboldii* k. koch) 为木兰科木兰属树种, 又名小花木兰、天女花、山牡丹, 是名贵稀有的香花观赏植物, 也是园林栽培、庭院绿化的理想木本花卉。其花可入药制浸膏, 叶可以提取香精油, 是重要的轻工业原料; 木材还可用来做家具等, 因此是值得推广和进一步开发利用的经济树种。天女木兰为东北地区木兰属植物自然分布的唯一种, 近年来该树种质资源已日趋濒危, 主要原因除了其生境遭到严重破坏外, 更重要的是其种子具有深休眠的特性, 种胚发育不完全, 种子中含有萌发抑制物质等^[1], 因而繁殖难度较大, 自然更新能力较弱。关于天女木兰种子休眠原因及解除休眠的研究已有一些报道^[1-6], 但是天女木兰种子内部进行的代谢错综复杂, 至今尚未探明天女木兰种子深休眠的机理及休眠解除技术。本研究试图探讨不同质量浓度 GA₃ 浸种和温度对天女木兰种子层积催芽效果的影响, 以期探明解除种子休眠的技术, 并为揭示其催芽机理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用种子为天然生长的天女木兰种子, 采自辽宁省老秃顶子自然保护区。种子净度为 70.2%, 千粒重 45.22 g, 含水量 4.98%, 饱满度 68.35%。

1.2 方 法

1.2.1 天女木兰种子浸种处理 将 500 g 天女木兰种子用 2 g/L KMnO₄ 表面消毒 20 min 后, 用清水冲净, 取大约 125 g 种子用清水浸种 48 h (24 h 换水 1 次), 另分别取 125 g 种子放入 100, 200 和 300 mg/L GA₃ 溶液中浸种 48 h。

1.2.2 天女木兰种子催芽方法 将过 2 mm 筛的河沙用 2 g/L 的 KMnO₄ 消毒 1 h, 用清水洗净, 使河沙最后含水率为 60%。将经处理的种子与湿河沙按体积比 1 : 2 混合, 装入直径 10 cm、高 20 cm 的泥盆中进行层积催芽。层积催芽设以下 2 种处理方法:

(1) 室内低温层积。将不同浸种处理的天女木

兰种子放入冷藏箱中, 于 (4 ± 1) °C 的条件下层积 150 d, 定期检查使种沙混合物保持一定湿度。

(2) 室内人工控制变温层积。将不同浸种处理的天女木兰种子进行变温层积处理, 条件为: (4 ± 1) °C 下冷藏 50 d → (17 ± 1) °C 下贮藏 25 d → (4 ± 1) °C 下冷藏 50 d → (17 ± 1) °C 下贮藏 25 d。定期检查使种沙混合物保持一定湿度。

1.2.3 天女木兰种子在层积催芽过程中的种胚观察与生理指标测定 分别于层积催芽的 30, 60, 90, 110, 120, 130, 140 和 150 d, 取不同浸种处理和层积催芽处理的天女木兰种子 30 粒, 测量种胚大小及胚长占种子长的比例, 并观察胚的形态, 以浸种前气干种子为对照; 同时取各处理天女木兰种子 5 g, 测定种子的呼吸速率 (广口瓶法)^[7]; 于层积催芽的 30, 60, 90, 120 和 150 d, 分别取各处理天女木兰种子催芽胚乳 1 g, 测定可溶性糖 (蒽酮法^[8]) 和可溶性蛋白 (考马斯亮蓝 G-250 染色法^[7]) 含量; 在层积催芽 30 和 150 d, 取各处理天女木兰种子胚乳 1 g, 测定其蛋白酶活性^[9]。

2 结果与分析

2.1 天女木兰种子在层积催芽过程中种胚的发育

为了探讨天女木兰种子休眠与胚发育的关系, 寻找解除休眠的途径, 采用不同浸种处理和不同层积催芽处理, 在层积过程中观察种胚的发育状况, 计算胚长占种子长的比例, 结果见表 1。浸种前种子的胚不易剥离, 种胚长占种子长的比例为 13.51%, 浸种后油状胚乳因吸水而变成乳白色的浆状, 胚容易剥离。从表 1 可以看出, 采用不同层积催芽方法, 天女木兰种子在催芽 30 d 时, GA₃ 浸种的种子胚长增加幅度较清水浸种大, 并且随着 GA₃ 质量浓度的增加, 胚长占种子长的比例逐渐提高, 其中又以变温层积的效果优于低温层积; 催芽 90 d 时, 用 300 mg/L GA₃ 浸种的种子经变温层积后, 种胚长占种子长的比例已达 23.98%, 比同期低温层积清水浸种的种子高 2.87%; 催芽 130 d 时, 变温层积不同浸种处理的种子中均有个别种子已经“露白”, 且用 300 mg/L GA₃ 浸种的天女木兰种子胚长占种子长

的比例已达到 44%;继续催芽 20 d,变温层积不同浸种处理的部分种子胚根已经伸出,平均胚长占种子长的比例达到 53%以上,此时变温层积的种子已有 20%左右发芽。不同浸种处理的种子在低温层积催芽 120 d 时,种胚增长率的变化幅度较同时期

相应变温层积各处理的小;催芽 150 d 时,部分种子才有“露白”现象,此时清水浸种和 100~300 mg/L GA₃ 浸种的种子胚长占种子长的比例分别达到 40.12%,41.81%,42.37%和 42.55%。

表 1 天女木兰种子在不同浸种和催芽处理下胚长占种子长的比例

Table 1 Ratios of <i>Magnolia sieboldii</i> k. koch embryo to kernel length of different soaking and accelerating germination treatments		%							
催芽方法 Germination accelerating method	GA ₃ 质量浓度/ (mg · L ⁻¹) Mass concentration of GA ₃	层积催芽时间/d Stratification days							
		30	60	90	110	120	130	140	150
低温层积 Cold stratification	清水 Water	19.34	19.37	21.11	22.98	25.88	30.79	37.13	40.12
	100	19.65	20.56	21.28	22.42	27.47	32.55	37.88	41.81
	200	19.73	20.99	21.56	26.49	27.69	33.66	38.64	42.37
	300	20.66	20.98	21.89	26.61	27.81	33.75	39.89	42.55
变温层积 Cold-warm stratification	清水 Water	19.11	20.63	22.13	30.26	36.13	42.73	48.58	53.46
	100	19.73	21.14	23.14	32.48	37.88	42.56	48.97	54.55
	200	20.59	21.44	22.75	32.57	38.56	43.48	49.13	54.36
	300	20.63	22.00	23.98	33.30	37.93	44.00	50.82	55.69

2.2 天女木兰种子在层积催芽过程中呼吸速率的变化

种子内外正常而顺利的气体交换是种胚萌发的先决条件之一。种子通过呼吸代谢可以获得萌发所需的物质和能量,用以调节种子的发育和萌发。

由表 2 可以看出,层积催芽 60 d 时,不同浸种处理的天女木兰种子经低温层积的呼吸速率大于相应各变温层积,且以 300 mg/L GA₃ 浸种的种子呼吸速率最大,达 6.276 mg/(g · h);催芽 60~90 d,2 种层积方法的种子呼吸速率均开始下降,此时变温层积各处理刚由高温层积阶段进入低温层积阶段,

因而呼吸速率开始减慢,其中层积催芽 90 d、300 mg/L GA₃ 浸种的变温层积处理种子呼吸速率达到最低值 4.724 mg/(g · h);总体来看 0~90 d 这一阶段,变温和低温层积各处理维持在一个相对缓和的呼吸水平,随后种子呼吸速率均开始增加,直至催芽 150 d 达到最大。从表 2 还可以看出,各浸种处理变温层积后期种子呼吸速率的增加速度快于低温层积,低温层积期间种子呼吸速率一直保持在较低水平,且经过不同质量浓度 GA₃ 浸泡的种子,呼吸速率高于清水浸种,但二者相差不大。

表 2 不同浸种和催芽处理对天女木兰种子呼吸速率的影响

Table 2 Effect of respiratory rate of <i>Magnolia sieboldii</i> k. koch seeds with different soaking and accelerating germination treatments		mg/(g · h)							
催芽方法 Germination accelerating method	GA ₃ 质量浓度/(mg · L ⁻¹) Mass concentration of GA ₃	层积催芽时间/d Stratification day							
		30	60	90	110	120	130	140	150
低温层积 Cold stratification	清水 Water	5.700	5.913	4.963	5.377	5.872	6.827	7.846	8.403
	100	5.422	6.043	4.996	5.464	5.641	6.860	7.865	8.448
	200	5.162	6.223	5.125	5.391	5.883	6.858	7.885	8.449
	300	5.412	6.276	5.445	5.657	5.804	6.904	7.889	8.456
变温层积 Cold-warm stratification	清水 Water	5.700	5.265	5.252	5.513	6.562	8.381	10.758	12.797
	100	5.422	5.651	4.768	5.425	6.598	8.491	10.756	12.840
	200	5.162	6.210	5.006	5.410	6.704	8.623	10.756	12.966
	300	5.412	6.230	4.724	5.539	6.751	8.700	10.770	12.974

注:气干种子呼吸速率为 5.294 mg/(g · h)。
Note:Respiratory rate of air-dried seeds is 5.294 mg/(g · h).

2.3 天女木兰种子在层积催芽过程中可溶性糖含量的变化

糖是生物体重要的能源和有机物碳源,为一切

生物体提供生命活动所需的能量,并作为合成其他生命所必需物质的原料^[10]。在层积催芽过程中,种子需要消耗自身贮藏的糖类等养分来维持一些较低

的生理代谢,为即将到来的形态及生理分化做物质上的准备。

从表 3 可以看出,不同浸种和催芽处理的天女木兰种子,其可溶性糖含量呈现以下变化趋势:在层积催芽 0~60 d,各浸种和催芽处理的种子可溶性糖含量呈上升趋势,并且随着 GA₃ 质量浓度的增加而增大;在催芽 60 d,各处理的种子可溶性糖含量均达到了峰值,其中 300 mg/L GA₃ 浸种的变温和低温层积种子可溶性糖含量分别是 1.715%和 0.667%,

此时变温层积中各浸种处理的天女木兰种子可溶性糖含量高于相应的低温层积处理;随后,各处理种子中可溶性糖含量开始下降,直到催芽 90 d 时均又达到较低,其中变温层积中各处理种子的可溶性糖含量降低速度较快;在催芽 90~150 d 时,变温层积各浸种处理种子的可溶性糖含量又开始增加,而低温层积各 GA₃ 处理的种子可溶性糖含量先增加后下降,但此阶段各浸种和层积处理种子可溶性糖含量总体波动不大。

表 3 不同浸种和催芽处理对天女木兰种子可溶性糖含量的影响

Table 3 Effect of soluble sugar of <i>Magnolia sieboldii</i> k. koch seeds with different soaking and accelerating germination treatments							%
催芽方法 Germination accelerating method	GA ₃ 质量浓度/(mg·L ⁻¹) Mass concentration of GA ₃	层积催芽时间/d Stratification day					
		30	60	90	120	150	
低温层积 Cold stratification	清水 Water	0.413	0.479	0.409	0.326	0.411	
	100	0.458	0.584	0.395	0.485	0.410	
	200	0.451	0.635	0.350	0.573	0.501	
	300	0.467	0.667	0.366	0.495	0.456	
变温层积 Cold-warm stratification	清水 Water	0.413	1.433	0.402	0.550	0.558	
	100	0.458	1.511	0.315	0.408	0.433	
	200	0.451	1.556	0.236	0.318	0.535	
	300	0.467	1.715	0.238	0.287	0.425	

注:气干种子可溶性糖含量为 0.23%,可溶性糖含量用质量分数表示。
Note: Soluble sugar of air-dried seeds is 0.23%, mole fraction represent soluble sugar.

2.4 天女木兰种子在层积催芽过程中可溶性蛋白含量的变化

蛋白质是最基本的生命物质之一,是细胞组分中含量最丰富、功能最多的生物大分子^[11]。种子层积催芽后,随着蛋白酶活性的提高,种子内贮藏的蛋白质被水解为可溶性蛋白,可以更好地用于种子萌发。从表 4 可以看出,变温层积中各浸种处理的天女木兰种子在层积催芽 0~90 d 可溶性蛋白含量逐渐上升,其中催芽 30~60 d 增加速度最快,于 90 d 达到峰值,此时用 300 mg/L GA₃ 浸种的种子可溶

性蛋白含量达到 0.400 mg/g,清水浸种的种子达到 0.367 mg/g;催芽 90 d 后变温层积中各浸种处理种子的可溶性蛋白含量开始下降,直至 150 d 各处理可溶性蛋白含量又下降到较低值,此阶段以 300 mg/L GA₃ 浸种处理下降速度最快。低温层积中各浸种处理的天女木兰种子,在层积催芽 0~60 d 可溶性蛋白含量迅速增加,并且在 60 d 各浸种处理种子的可溶性蛋白含量均高于同期变温层积处理;催芽 60~150 d 时,各浸种处理种子可溶性蛋白含量变化趋于平稳。

表 4 不同浸种和催芽处理对天女木兰种子可溶性蛋白含量的影响

Table 4 Effect of soluble protein of <i>Magnolia sieboldii</i> k. koch seeds with different soaking and accelerating germination treatments							mg/g
催芽方法 Germination accelerating method	GA ₃ 质量浓度/(mg·L ⁻¹) Mass concentration of GA ₃	层积催芽时间/d Stratification day					
		30	60	90	120	150	
低温层积 Cold stratification	清水 Water	0.130	0.357	0.352	0.350	0.346	
	100	0.135	0.350	0.350	0.345	0.351	
	200	0.148	0.376	0.385	0.356	0.355	
	300	0.152	0.364	0.420	0.344	0.339	
变温层积 Cold-warm stratification	清水 Water	0.130	0.299	0.367	0.347	0.336	
	100	0.135	0.298	0.379	0.359	0.342	
	200	0.148	0.286	0.369	0.342	0.328	
	300	0.152	0.289	0.400	0.371	0.333	

注:气干种子可溶性蛋白含量为 0.117 mg/g。Note: Soluble protein of air-dried seeds is 0.117 mg/g.

2.5 天女木兰种子在层积催芽过程中蛋白酶活性的变化

蛋白酶是一种能催化蛋白质水解成小肽或氨基酸的水解酶^[12]。本研究表明,层积催芽处理前,天女木兰种子的蛋白酶活性很低,层积催芽后种子内部的生理生化代谢活动开始增强,蛋白酶被活化。由表 5 可以看出,层积催芽 30 d,各浸种和催芽处理

种子的蛋白酶活性均比层积前迅速提高,并且随着浸种时 GA₃ 质量浓度的增加而增强;层积催芽 150 d,各处理种子的蛋白酶活性较层积初期降低,其中变温层积中各浸种处理种子的蛋白酶活性较低温层积处理低,并且 2 种催芽方式均表现为浸种时 GA₃ 质量浓度越大,种子的蛋白酶活性越强。

表 5 不同浸种和催芽处理对天女木兰种子蛋白酶活性的影响

Table 5 Effect of protease of <i>Magnolia sieboldii</i> k. koch seeds with different soaking and accelerating germination treatments							
				μmol			
催芽方法 Germination accelerating method	GA ₃ 质量浓度/ (mg · L ⁻¹) Mass concentration of GA ₃	层积催芽时间/d Stratification day		催芽方法 Germination accelerating method	GA ₃ 质量浓度/ (mg · L ⁻¹) Mass concentration of GA ₃	层积催芽时间/d Stratification day	
		30	150			30	150
低温层积 Cold stratification	清水 Water	2.878	1.972	变温层积 Cold-warm stratification	清水 Water	2.878	1.365
	100	3.490	2.057		100	3.490	1.510
	200	3.972	2.117		200	3.972	1.747
	300	4.442	2.300		300	4.442	1.925

注:蛋白酶活性用被水解氮的物质的量(μmol)表示,气干种子的蛋白酶活性为 0.451 μmol 。
Note: Amount-of-substance of hydrolyzed nitrogen stands for protease, Protease of air-dried seeds is 0.451 μmol .

3 结论与讨论

本研究结果表明,在不同浸种处理和层积催芽条件下,天女木兰种子的种胚发育不同,用 GA₃ 浸种的催芽效果优于清水,且随着 GA₃ 质量浓度的增加,催芽效果增强。这是因为 GA₃ 能诱导产生水解酶,使种子中的贮藏物质从大分子水解为小分子,从而便于种胚利用,促进胚后熟;并且 GA₃ 可显著降低种子内源 ABA 含量,提高种子内源 GA 含量^[13]。用 GA₃ 浸种的种子又以变温层积催芽的效果优于低温层积,且比低温层积催芽的种子提前 1 个月发芽,即提早使种胚完成了形态成熟,明显缩短了发芽时间。采用 GA₃ 浸种和变温层积催芽处理有利于打破天女木兰种子休眠,这与杜凤国等^[14]对天女木兰的研究结果一致。因此认为,温度条件在天女木兰种子解除休眠过程中起主导作用。此外,本研究结果与对刺楸、辽东槲木等种子的研究结果也一致^[15-18]。

天女木兰种子在层积过程中呼吸速率的变化表现为:无论是变温层积催芽还是低温层积催芽,经过 GA₃ 和清水浸种 2 组种子的呼吸速率相差不大,说明在本试验质量浓度范围内,GA₃ 浸种对天女木兰种子后熟过程中呼吸的影响并不明显,而层积催芽时的温度条件对呼吸速率的影响起主导作用。总体上层积后种子的呼吸强度提高,这也表明经层积的种子糖酵解过程和线粒体活性得到加强,从而有可

能提供较多的能量用于种子萌发。
不同浸种和催芽处理的天女木兰种子,在层积催芽初期由于种子的代谢活动较强,物质转化较快,从而使可溶性糖和可溶性蛋白积累较多,尤其是层积催芽 60 d,变温层积各处理种子积累的可溶性糖含量较低温层积处理高;层积后期由于种子要为即将到来的胚的快速发育提供大量能量,所以可溶性糖和可溶性蛋白含量下降。总之,在层积催芽过程中,天女木兰种子中可溶性糖含量和可溶性蛋白含量均较层积处理前增加,为即将到来的形态及生理分化做好物质上的准备,这与黄儒珠等^[19]对南方红豆杉的研究结果一致。

层积催芽后天女木兰种子蛋白酶活性升高,且用 GA₃ 浸泡的种子活性高于清水浸种,并且随着 GA₃ 质量浓度的增加活性增强。层积后期各处理种子的蛋白酶活性较层积初期降低,可能由于此时种子已处于萌发阶段,大量贮藏蛋白被利用,而蛋白酶活性与贮藏蛋白质的动员和供应是相符合的,层积后期低温层积处理的种子蛋白酶活性高于变温层积处理。由本研究可以看出,蛋白酶活性的变化趋势与蛋白质含量的变化一致,但不成比例关系,这可能与种子层积处理过程中同时存在蛋白质的合成与降解有关。

通过对天女木兰种子在层积催芽后熟过程中的胚长占种子长的比例、呼吸速率、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量及蛋白酶活性变化的研究可知,其代谢变化错综复杂,许多问题还有待于进一步探讨。

[参考文献]

- [1] 李 澎,陆秀君. 天女木兰种子休眠原因的初步探讨 [J]. 种子,2006,25(2):36-39.
Li P,Lu X J. Preliminary study on reasons of seed dormancy of *Magnolia sieboldii* K. Koch [J]. Seed,2006,25(2):36-39. (in Chinese)
- [2] 陆秀君,李天来,倪伟东. 天女木兰种子休眠原因的研究[J]. 沈阳农业大学:自然科学版,2006,35(7):703-706.
Lu X J,Li T L,Ni W D. Study on the dormant characteristic of *Magnolia sieboldii* K. Koch seeds [J]. Journal of Shenyang Agricultural University:Natural Science Edition,2006,37(5):703-706. (in Chinese)
- [3] 周凌娟. 天女木兰、白玉兰离体培养的研究和木兰属几种植物杂交育种初探 [D]. 沈阳:沈阳农业大学,2002:26-31.
Zhou L J. Study on culture *in vitro* of *M. sieboldii* k. koch and *Michelia* and preliminary study on crossing breeding of several *Magnolia* plants [D]. Shenyang:Shenyang Agricultural University,2002:26-31. (in Chinese)
- [4] 杜凤国,王 欢,刘春强,等. 天女木兰研究现状及保育对策 [J]. 西北师范大学学报:自然科学版,2006,42(6):68-71.
Du F G,Wang H,Liu C Q. The research situation and conservation strategies of *Magnolia sieboldii* K. Koch [J]. Journal of Northwest Normal University:Natural Science Edition,2006,42(6):68-71. (in Chinese)
- [5] 田 洪,于翠兰,赵占英,等. 天女木兰的栽培技术[J]. 吉林蔬菜,1997(6):25.
Tian H,Yu C L,Zhao Z Y,et al. Cultural technique of *Magnolia sieboldii* K. Koch [J]. Journal of Jilin Vegetable,1997(6):25. (in Chinese)
- [6] 王志杰,田宝宁. 天女花种子催芽方法研究初报 [J]. 河北林学院学报,1996,11(3/4):196-199.
Wang Z J,Tian B N. Preliminary study on *Magnolia sieboldii* K. Koch germination methods[J]. Journal of Hebei Forestry College,1996,11(3/4):196-199. (in Chinese)
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京:高等教育出版社,2003:162-164,184-185.
Li H S. Plant physiology biochemistry experiment principle and technology [M]. Beijing:Higher Education Publishing House,2003:162-164,184-185. (in Chinese)
- [8] 郝建军,刘延吉. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2001:144-145.
Hao J J,Liu Y J. Plant physiology experiment technology [M]. Shenyang:Liaoning Science and Technology Publishing House,2001:144-145. (in Chinese)
- [9] 汤章城. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,2004:149-150.
Tang Z C. Modern plant physiology experiment guide [M]. Beijing:Science Publishing House,2004:149-150. (in Chinese)
- [10] 王三根. 植物生理生化[M]. 北京:中国农业出版社,2001:26.
Wang S G. Plant physiology and biochemistry[M]. Beijing:Chinese Agriculture Publishing House,2001:26. (in Chinese)
- [11] 吴显荣. 基础生物化学 [M]. 北京:中国农业出版社,2000:38.
Wu X R. Foundation biochemistry [M]. Beijing:Chinese Agriculture Publishing House,2001:38. (in Chinese)
- [12] 陈石根,周润琪. 酶学 [M]. 长沙:湖南科技出版社,1987:135.
Chen S G,Zhou R Q. Zymology [M]. Changsha:Hunan Science and Technology Publishing House,1987:135. (in Chinese)
- [13] 李宏博,刘延吉,李天来. GA₃ 对辽东槲木种子解除休眠中信号分子变化的影响 [J]. 园艺学报,2006,33(2):414-416.
Li H B,Liu Y J,Li T L. The effect of GA₃ on the related signal molecule changes during the breaking bormancy in *Aralia elata* seed [J]. Acta Horticulturae Sinica,2006,33(2):414-416. (in Chinese)
- [14] 杜凤国,王 欢,杨德冒,等. 天女木兰种子形态及生物学特性 [J]. 北华大学学报,2006,7(3):269-272.
Du F G,Wang H,Yang D M,et al. Morphology and biology characteristic of *Magnolia sieboldii* K. Koch seed [J]. Journal of Beihua University,2006,7(3):269-272. (in Chinese)
- [15] 宁 伟,范文丽,李宏博,等. 变温及 GA₃ 处理对辽东槲木种子解除休眠过程中代谢调控的影响[J]. 园艺学报,2006,33(3):649-652.
Ning W,Fang W L,Li H B,et al. Effect of alternating temperature and gibberellin (GA₃) on metabolic control of Japanese *Aralia* (*Aralia elata*) seed in dormancy breaking process [J]. Acta Horticulturae Sinica,2006,33(3):649-652. (in Chinese)
- [16] 何利平. 刺楸种子休眠原因及解除休眠的研究 [J]. 陕西林业科技,2003(4):22-24.
He L P. Study on the dormancy of *Kaiopanax septemiobus* seed and its break [J]. Shaanxi Forestry Science and Technology,2003(4):22-24. (in Chinese)
- [17] 张 鹏,孙红阳,沈海龙. 温度对经层积处理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):20-24.
Zhang P,Sun H Y,Shen H L. Effect of temperature on germination of stratified seeds of fraxinus mandshurica Rupr [J]. Plant Physiology Communication,2007,43(1):20-24. (in Chinese)
- [18] Susan C G,Susan E M. *Multiple mechanisms* for seed dormancy regulation in shadscale [J]. Canndian Journal of Botany,2003,81(6):601-610.
- [19] 黄儒珠,郭祥泉,方兴添,等. 变温层积处理对南方红豆杉种子生理生化特性的影响[J]. 福建师范大学学报:自然科学版,2006,22(2):95-98.
Huang R Z,Guo X Q,Fang X T,et al. Effect of cold-warm-cold stratification treatment on physiological and biochemical characteristics of *Taxus chinensis* var. *mairei* seeds [J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition,2006,22(2):95-98. (in Chinese)