

HUAQIU ZHONGZI SHENGWUXUE YANJIU



# 花楸种子生物学研究

杨 玲 著



东北林业大学出版社

# 花楸种子生物学研究

杨 玲 著

东北林业大学出版社

---

图书在版编目 (CIP) 数据

花楸种子生物学研究/杨玲著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2008. 4  
ISBN 978-7-81131-124-2

I. 花… II. 杨… III. 花楸—种子—生物学—研究 IV. S792.250.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 047511 号

---

责任编辑: 倪乃华

封面设计: 彭宇



NEFUP

花楸种子生物学研究

Huaqiu Zhongzi Shengwuxue Yanjiu

杨玲著

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路26号)

黑龙江省教育厅印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 5.375 插页 6 字数 148 千字

2008年4月第1版 2008年4月第1次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978-7-81131-124-2

S·479 定价: 21.00 元

## 内 容 简 介

本书以著者近 5 年的研究成果为主线，结合国内外近 40 年的有关研究报道，详细阐述了东北重要野生观果树种花楸的种子生物学研究动态。

全书共 13 章，主要内容有花楸属树种的繁育研究现状，花楸资源及其生物生态学特性，天然花楸果实和种子表型多样性，花楸果实和种子的发育过程，花楸种子生活力测定和贮藏，花楸种子休眠与萌发特性，花楸种子休眠原因和影响因素，低温层积和发芽温度对花楸种子萌发的影响，内源激素对花楸种子休眠与萌发的调控，外源植物生长调节剂和硝酸钾溶液对花楸种子萌发的影响，高压静电处理对花楸种子萌发及幼苗的影响，花楸播种育苗技术及苗木管理。

本书可以为园林和林业中种苗培育、育苗造林，尤其是花楸属树种的种苗培育等生产实践活动提供可靠的操作依据和技术指导，是从事森林培育学、种子生物学、植物生理学、植物胚胎学、植物发育学、植物细胞和组织培养、生物技术研究人员的一本有益的参考书，也适合综合性大学、师范院校和农林院校相关专业的师生教学参考。

## 前 言

花楸是我国北方珍贵的观叶、观花、观果、观形俱佳的优良树种。花楸树形优美，春季满树银花，芳香四溢；夏季羽叶秀丽；秋季羽叶鲜红，金黄至红色的果实挂满枝头，光彩夺目；冬季宿存的红艳果实在瑞雪中耀眼闪光，引人入胜。花楸不仅具有很高的观赏价值，同时也是适宜食用、药用、材用和饲用的经济树种。作为北方城市绿化的“新、奇、特”苗木，花楸具有广阔的市场前景。自然条件下花楸通过种子繁殖。由于目前国内的花楸树种尚处于开发和人工驯化阶段，因此用于苗木繁殖的种子主要来自野生花楸母树，而自然界野生状态的花楸呈单株散生状态，存在天然更新困难、采种母树不足、种子收集困难等问题；更兼花楸种子具有深休眠特性，播种育苗技术较复杂，实生苗生长周期长、成型慢，所以市场上花楸苗木常供不应求。近年来，相关研究报道渐多，特别是有关花楸种子催芽处理以及苗木培育的研究已取得很多成果。鉴于目前生产实践中花楸苗木繁育存在的诸多实际问题，急需向大家介绍这些成果和前景，以推动花楸苗木培育事业的蓬勃发展。

我在国家“十五”科技攻关项目“林业生态工程构建技术与示范”（2004BA510B08）、国家“十一五”科技支撑项目“天然林保育恢复与可持续经营技术研究”（2006BAD03A04）、黑龙江省科技攻关项目“黑龙江省主要珍贵树种保存与造林及绿化树种选育技术的研究”（GB02B103）和东北林业大学青年科研基金项目“花楸体胚发生路径的研究”（2005~2007）的资助下，在对花楸种子生物学、种子处理技术、实生苗培育技术深入研究的基础上，对大量有关文献进行了系统的研究，以自己的研究成果为主线，用翔实的实验证据从形态解剖学、组织学、细胞生物学等不同层次对花楸种子发育、种子休眠原因和萌发影响因素等一些理论上

的问题做了系统的阐述，并对花楸播种育苗技术和苗木管理进行了详细的阐述。本书中的所有内容都是最近几年内的最新研究成果。应该指出的是，我的研究课题和这本专著的撰写都是我的博士生导师沈海龙教授建议的，而我一直在他的指导下开展工作，因此本书也是我对导师精心培养和教导的回报，是我和我的导师共同研究的成果，在此对他谨表诚挚的谢意。

由于本人的水平有限，加之专业的限制，文献阅读有限，书中尚有许多不完善之处，甚至可能存在错误，欢迎读者批评指正，以促使我不断进步。

杨玲

2007年8月26日

# 目 录

<b>1 绪 论</b> .....	( 1 )
1.1 木本植物种子休眠原因和机制 .....	( 1 )
1.2 木本植物种子催芽技术 .....	( 8 )
1.3 花楸属植物繁殖研究现状 .....	( 10 )
1.4 花楸苗木培育的发展前景 .....	( 15 )
<b>2 花楸资源及其生物学生态学特性</b> .....	( 20 )
2.1 花楸的分类地位与名称 .....	( 20 )
2.2 花楸资源的地理分布与遗传变异 .....	( 20 )
2.3 花楸生物学和生态学特性 .....	( 22 )
<b>3 果实和种子表型多样性研究</b> .....	( 27 )
3.1 材料与方法 .....	( 27 )
3.2 果实和种子表型多样性分析 .....	( 29 )
<b>4 果实与种子形态建成及胚含水量变化研究</b> .....	( 36 )
4.1 材料与方法 .....	( 36 )
4.2 果实与种子形态建成及胚含水量变化 .....	( 37 )
<b>5 种子生活力测定和贮藏方式研究</b> .....	( 42 )
5.1 种子生活力的测定方法 .....	( 42 )
5.2 种子贮藏方式 .....	( 43 )
5.3 种子耐贮性研究 .....	( 44 )
5.4 种子千粒重和生活力的关系 .....	( 47 )
<b>6 种子休眠与萌发特性研究</b> .....	( 48 )
6.1 材料与方法 .....	( 48 )
6.2 种子休眠程度分析 .....	( 50 )
6.3 种子发育过程中休眠特性的形成与 萌发影响因素 .....	( 54 )

<b>7</b>	<b>成熟种子休眠原因和影响因素研究</b> .....	( 61 )
7.1	材料与方法 .....	( 61 )
7.2	成熟种子休眠原因和影响因素分析 .....	( 63 )
7.3	结 语 .....	( 69 )
<b>8</b>	<b>层积时间和发芽温度对种子萌发的影响</b> .....	( 71 )
8.1	材料与方法 .....	( 71 )
8.2	层积时间对种子含水量和生活力的影响 .....	( 73 )
8.3	层积时间和发芽温度对种子萌发的影响 .....	( 74 )
8.4	结 语 .....	( 79 )
<b>9</b>	<b>内源激素对种子休眠与萌发的调控</b> .....	( 81 )
9.1	材料和方法 .....	( 81 )
9.2	内源激素测定的色谱条件 .....	( 83 )
9.3	干燥调制过程对种子内源激素含量和 平衡的影响 .....	( 85 )
9.4	层积过程中种子内源激素含量的动态变化 .....	( 90 )
9.5	层积过程中种子内源激素平衡的变化 .....	( 101 )
9.6	内源激素对种子休眠与萌发的调控 .....	( 106 )
<b>10</b>	<b>外源植物生长调节剂对种子萌发的影响</b> .....	( 108 )
10.1	材料与方法 .....	( 108 )
10.2	外源生长调节剂对种子萌发的影响 .....	( 110 )
10.3	结 语 .....	( 117 )
<b>11</b>	<b>硝酸钾溶液对种子萌发的影响</b> .....	( 120 )
11.1	材料与方法 .....	( 120 )
11.2	硝酸钾溶液对种子萌发的影响 .....	( 121 )
11.3	结 语 .....	( 125 )
<b>12</b>	<b>高压静电处理对种子萌发及幼苗生长的影响</b> .....	( 127 )
12.1	材料和方法 .....	( 127 )
12.2	静电处理对种子生活力的影响 .....	( 129 )
12.3	静电处理对种子萌发的影响 .....	( 132 )
12.4	静电处理对幼苗生长的影响 .....	( 135 )



---

12.5	静电处理效果的综合评价和均匀实验设计	(139)
<b>13</b>	<b>花椒播种育苗技术及苗木管理</b>	<b>(142)</b>
13.1	种子采集与处理	(142)
13.2	育苗地的自然条件	(143)
13.3	整地及作床	(143)
13.4	播 种	(144)
13.5	苗期管理	(147)
13.6	病虫害防治	(149)
13.7	育苗效果调查	(149)
13.8	注意事项	(149)
13.9	花椒苗木的应用	(150)
	参考文献	(151)
	附 录	(163)

# 1 绪 论

## 1.1 木本植物种子休眠原因和机制

### 1.1.1 种子休眠原因

种子的休眠与萌发是植物为适应环境（气候变化、温度差异、水分条件等因素）保持自身繁殖发展而形成的一种生物学特性，具有重要的意义。因此大多数温带和寒带植物的种子在夏末或秋季散落之后，尽管温度、湿度和光照等条件均适合于其发芽，仍保持休眠状态，直到来年春季才萌发。但对于农业生产、果园育苗和造林而言，休眠的种子若缺乏事先处理或处理的时间、方法不当，将有可能使育苗数量短缺，造林预定方案延迟，从而带来重大损失。

木本植物种子休眠的原因很多，成熟种子有生理休眠、物理休眠、综合休眠、形态休眠和形态生理休眠 5 种常见的休眠类型。有的休眠是由于被覆物造成的，有的休眠是由于胚本身的发育状况所致，有的休眠则是属于生理代谢问题，各种休眠原因一般并不是孤立存在的，而是相互联系相互影响共同控制着种子的休眠，使种子休眠原因复杂化。

#### 1.1.1.1 被覆物与种子的休眠

木本植物果皮（种皮）厚度和结构影响种子休眠，有的是由于果皮（种皮）纤维素木栓化或果胶质加厚；有的是由于果皮（种皮）厚角组织细胞形成大量的果胶质和石细胞，细胞壁上的微团在轴面上的方向呈有规律鱼鳞坑状结构，有碍气体的交换，降低氧的透过率，如元宝枫（*Acer truncatum*）；有的是由于果皮（种皮）外表有角质层，栅栏组织排列紧密并具有一条不透水的明线，

如紫椴 (*Tilia amurensis*)。

Bewley 和 Black 曾提出被覆物引起种子休眠的机制有 5 种：①对胚萌发的机械阻碍；②阻止胚中抑制物质的排出；③存在萌发抑制物质；④阻碍吸水；⑤限制氧气的进入。如 Steinbauer 和 Asakawa 在研究黑桤 (*Fraxinus nigra*) 和日本水曲柳 (*Fraxinus mandshurica* var. *japonica*) 时都认为，胚由于受到被覆组织（果皮、种皮和胚乳）的机械阻碍而不能萌发。Finch 和 Clay 通过测定层积过程中欧洲白蜡种子胚根穿透被覆组织所需的力的变化认为，种皮和胚乳等组织对胚的萌发有阻碍作用，且通过低温层积使胚根端被覆组织的阻力减弱是种子解除休眠、顺利萌发的必需过程。目前，人们已经知道花楸属植物的果肉和果汁中都含有抑制种子萌发的物质，其种子本身具有深休眠的特性，但关于花楸属植物种子休眠的原因及其与被覆物（种皮）的关系还未见报道，还需要进一步对花楸种皮的解剖结构特点及其与种子休眠的关系做深入的研究。

#### 1. 1. 1. 2 内源抑制物与种子的休眠

抑制物质按照 Kockemann 的观点可分为两种类型，一种是存在于种皮和种子中容易在光和其他物理、化学因素作用下失效的物质；另一种是存在于多汁果肉中，物理、化学特性尚不太清楚的物质。后来 Rehm 提出另一种分法，即存在于干燥种子之中的抑期物质和种子发芽后产生的抑制物质两类。较为全面地说，抑制物质除了前面两位学者所述及的类型外，还应包括由某一种子或植物体产生抑制其他种子发育的物质。

木本植物种子中的内源抑制物是多种多样的。由于脱落酸 (ABA) 广泛存在于休眠的种子中，其含量又往往随种子休眠的解除而降低，因而被认为是最普遍的萌发抑制剂。ABA 存在于种子的不同部位，但都能通过干扰胚的代谢过程而使胚休眠。ABA 在种子的不同部位含量不同，而不同的种子处理后发生的变化也不同。除了 ABA 外，还存在其他抑制种子萌发的抑制物，如酚类（山茱萸）、氢氰酸（亚麻科和蔷薇科）、氨（藜科和豆科）、芥子

油（十字花科和白花菜科）、有机酸（葡萄科和芸香科）、醛类（禾本科和樟科）、香豆素类（刺楸）以及不饱和内脂（芸香科和毛茛科）等。在考虑抑制物质对种子休眠的作用时，不能简单地认为种子休眠是某种抑制物质作用的结果，可能是某些抑制物质共同调节种子的萌发过程。

#### 1.1.1.3 胚发育状况与种子的休眠

许多林木种子形态成熟时，经常有胚发育不完全的现象，所以人们对胚发育状况与种子休眠关系进行了研究。

##### (1) 胚的形态休眠

有些植物的果实已经成熟，自然脱落，但种胚尚未发育完全，需经过一段时间的成长，种胚才能发育完全，这种休眠称为形态的胚休眠或未成熟胚的休眠。此时种子本身的发育已达到最高的干重，并且已干燥并离开母体，但是胚发育仍不完整，甚至分化尚未开始，因此播种后在短期内无法萌发。欧洲赤松（*Pinus sylvestris*）和欧洲云杉（*Picea abies*）、水曲柳（*Fraxinus mandshurica*）、人参（*Panax ginseng*）、西洋参（*Panax quinquefolium*）、银杏（*Ginkgo biloba*）和玉兰（*Magnolia dunudata*）等种子从母体脱落时，种胚尚小，需经数月才能充分成长、萌发。油棕（*Elaeis guineensis*）种子甚至需要几年的后续发育。

##### (2) 胚的生理休眠

有时在对某一具体树种的胚发育状况与种子休眠关系的研究中，人们的观点并不一致，如对白蜡树属植物胚发育状况与种子休眠关系的研究。Asakawa 认为日本水曲柳种子的休眠与种胚发育不完全有关。Steinbauer 的研究表明，不同白蜡树属植物种子萌发的温度与种子成熟时胚的大小有关，并通过离体胚萌发试验认为离体胚是不休眠的。Ferency 对欧洲白蜡的研究表明，胚充满胚腔时，无论事先冷湿处理与否，胚都是不休眠的。而 Villiers 和 Wareing 对欧洲白蜡的研究表明，种子成熟时种胚形态是完全的，胚在萌发前只是各器官大小的变化，表现为细胞的分裂和增大，但他们认为前人得到的离体胚是非休眠的结论由于其实验条件的原因是不正确

的, 并通过改变实验条件得到了不同的结论。他们认为胚即使完全长大, 仍然是休眠的, 需要一个低温阶段以形成正常的植株。造成这些分歧的原因可能是白蜡树属植物种子成熟时除了胚的体积比较小, 需要继续发育长大以外, 还需要一个生理后熟过程。有的林木种子虽然采收后胚已经分化完善, 但在适宜条件下仍然不能萌发, 必须经过一段时间才能完成一些内部有机物和植物激素等物质转化的生理后熟过程。在后熟期完成以前, 种子处于休眠状态, 如苹果、梨、杏等果树的种子成熟后需要经过一段时间积累种子萌发所需要的物质才能萌发。同样, 东北红豆杉的种子在秋季采收后虽然种胚结构完整, 但胚体积小, 不具备萌发能力, 需要后熟, 变温前期的暖温处理可加速胚的发育。

有些胚的生理休眠是整个胚的休眠, 但有些则是胚的局部休眠, 如牡丹 (*Paeonia suffruticosa*) 是上胚轴休眠; 而蓼属 (*Polygonatum*) 等是上胚轴和胚根休眠。有时胚的休眠不仅表现在胚轴的缺陷上, 也表现在子叶的代谢阻抑上。也有的胚休眠是由于子叶中存在抑制剂抑制休眠胚轴的生长。切除一片或两片子叶可以解除欧洲卫矛 (*Euonymus europaeus*)、欧洲白蜡 (*Fraxinus excelsior*)、榛 (*Corylus avellana*)、桃 (*Prunus persica*) 和苹果 (*Malus sylvestris*) 等种子的胚轴休眠。但后熟过程本身就是各抑制因子的解除过程, 到底是哪几种因子在树木种子休眠中起关键作用, 还需要进一步研究证实。

### 1.1.2 种子休眠机制

王永飞等曾把种子休眠机制研究中的两个主要学派分别称为“古典学派”和“法国学派”。把其中支持休眠是由激素调控的学派称为“古典学派”。在种子休眠机制研究中的另一个主要学派是“法国学派”。法国学派认为休眠是一个复杂的问题, 在此过程中激素只是起表面作用。该学派认为种子的休眠是由许多外部和内部因素控制的一个复杂的过程。现在这个过程中有两个过程被确定了, 即核酸代谢和渗透调节。

### 1.1.2.1 内源激素对种子休眠的调控

随着研究手段越来越先进和研究方法上的重大突破,人们对各类激素的生物合成途径及其调控研究也有了新的认识。在激素受体、激素感受和信号转导方面,在激素对基因调控方面,在激素的确切生理作用方面都取得了重大的进展。

Khan 和 Warters 提出的三因子调节学说是内源激素调控种子休眠假说的经典代表。此学说认为赤霉素 ( $GA_3$ )、细胞分裂素 (CTK) 和脱落酸 (ABA) 分别在萌发中起着原发、许可与抑制作用;  $GA_3$  为萌发最初所必需, CTK 的作用是减缓 ABA 的抑制, 使  $GA_3$  的作用得以实现。此三种激素相互作用决定着种子的休眠与萌发。赵海珍通过测定不同层积处理时间水曲柳种子内源激素的动态变化认为, 在种胚充分发育成熟后, 种子内源促—抑物之间的平衡决定着种子的休眠萌发, 只有当某一平衡建立时, 种子才能预感萌发, 否则便处于休眠, 即便是抑制物水平不高的情况下也是如此。种子的休眠与萌发是一系列复杂的生理生化过程与适当的外界因子相互作用的综合表现, 激素的调节作用固然重要, 但不能离开物质基础和能量基础。在种子萌发中, 贮藏物质的水解转化及强烈的呼吸代谢首先为萌发提供雄厚的物质基础及能量基础, 而激素则在休眠向萌发转变的关键时刻起决定作用的, 并允许萌发实现。

目前, 在内源激素与种子休眠萌发关系的研究中, 人们关注最多的仍然是  $GA_3$  和 ABA。ABA 是生长抑制剂, 它可诱导种子的休眠, 而  $GA_3$  能解除 ABA 的作用, 也有人认为两者的平衡关系是休眠的关键。ABA 能抑制  $\alpha$ -淀粉酶的形成, 降低植物糖的代谢速度, 同时它也改变某些酶的活性, 抑制 DNA 和 RNA 的合成, 还与核酸和蛋白质的合成有关。而  $GA_3$  能促进种子在贮藏和萌发过程中内部大分子物质降解的代谢过程, 因为它可以促进许多水解酶的活性, 如赤霉素能促进蛋白酶的活性, 使贮藏蛋白水解, 赤霉素还可以激发异柠檬酸裂解酶的活性, 异柠檬酸裂解酶是脂肪降解为可溶性糖的关键酶。目前的研究证明,  $GA$  诱导  $\alpha$ -淀粉酶的产生并调节核酸代谢。由于赤霉素的生物合成受光质、光周期以及温度的

调控,因此赤霉素可代替低温处理和光照打破种子的休眠。在对红松和山桃种子的休眠特性研究中认为,种子的休眠萌发受控于生长抑制和代谢抑制两个不同的机制,生长抑制使种子的胚根不能伸长进而突破种皮,其中起决定性作用的是种子内源 ABA,而代谢抑制则主要影响种子萌发过程中物质的转化以及后期的正常生长,其中起决定作用的是  $GA_3$  及其他 GA 类物质,只有在这两种抑制均被解除的情况下,种子才能正常、迅速地萌发并健康成苗。

在种子休眠机理的研究中,除赤霉素和脱落酸外,对其他激素在种子休眠中的作用也有研究。一般认为生长素在调节种子休眠方面没有作用,而细胞分裂素能打破种子休眠,施用外源细胞分裂素物质能打破种子休眠,但是它促进种子发芽对有些树种是成功的,对有些树种是无效的,无效的原因可能是施用的激素很少渗透到胚内或使用的种类和浓度不恰当。乙烯能打破许多种子的休眠,无论是直接使用气体乙烯,还是使用乙烯释放剂(如乙烯利等)均有效。

### 1.1.2.2 环境因素对种子休眠的影响

研究种子休眠问题不能仅仅考虑某一试验材料的休眠原因及机理,而忽略了不同来源的试验材料本身的休眠特性差异。一般来说,种子休眠基本上是所遇到的环境条件和植物遗传特性共同作用的结果,休眠是不同生态型或种源对外界的重要适应性对策。休眠程度反映了种子萌发对环境(包括温度、光照、水分和氧气)需求的宽窄。发芽的环境范围越宽,表明种子休眠的程度越浅。反之,发芽范围越窄,休眠程度越深。活种子能否萌发取决于种子本身的休眠程度以及外界环境条件。

不同种源红松种子休眠特性的研究表明,各种源种子的休眠程度不同。白皮松种子休眠特性的种源变异也很明显,地理位置相距越远则种子休眠特性差异越大,而且内源激素的相对含量同样表现出明显的地理变异,产地的气候条件越有利于白皮松的生长,则其所产种子中促进发芽的激素相对含量越高,种子表现出的休眠程度越浅。种子中内源激素含量尤其是相对含量的变化受产地环境

变化的影响,环境条件越有利于植物生存、生长,种子中促进萌发的激素及相对值增加(如CK, CK/GA<sub>3</sub>, CK/ABA),种子则倾向于萌发;反之,种子则向休眠加深的方向发展。糖槭(*Acer saccharum*)种源愈向北方地区,种子休眠就愈深,白皮松(*Pinus bungeana*)种子越来自干旱地区休眠越深。Nikolaeva和Vorobjeva对欧洲白蜡的研究表明,成熟种子胚的长度存在着种源变异。种子的胚率(胚长/胚乳长)南部大于中东部和西部,南部种子休眠程度也较另外两个地区弱。

### 1.1.2.3 基因表达对种子休眠的调控

人们从20世纪80年代就开始用分子生物学的方法研究种子的休眠和萌发。目前人们利用QTL分析、突变体和基因表达模式分析已经识别了一些与种子休眠和萌发有关的特异性基因,但研究对象主要集中在遗传背景较清楚的农作物上,对木本植物的研究很少有报道。Agrawal等在水稻中已经成功地分离出一种*Tos17*-转座子诱导母体发芽(非休眠表现型)的突变体,并发现这种突变体缺失玉米黄质环氧化酶基因,而这种酶与ABA合成途径有关,从而说明ABA对控制种子休眠也有非常重要的作用。Raz等通过对番茄种子成熟突变体*leafy cotyledon (Lec)*, *fusca3 (Fus3)*和*abi3*的详细研究后发现三者经历早熟萌发的时间不同。*Lec1*和*Fus3*位点可能调控发育停滞,这些基因突变可能导致非成熟胚的连续生长。而ABA代表了另一种抑制萌发机理,它在控制种子休眠的时间上比前两者要晚一些,并促进了*Lec1*和*Fus3*位点所控制的发育停滞。

种子休眠性状的表达是一系列基因表达的综合体现,涉及一系列复杂的生理生化代谢反应和许多信号分子的转导等。基因芯片技术和蛋白质组学分析技术的应用为研究种子休眠和萌发机理提供了新的方向和新的手段。但目前还局限于一些植物种类并仅处于初级阶段,更多地还停留在观测种子萌发过程中蛋白质是否表达及其表达的水平。所以,今后的研究方向和重点不仅是识别更多的基因及表达蛋白,且应进一步对萌发过程的特异性基因及蛋白质做功能评



定。在此基础上,深入地研究种子萌发过程中蛋白质之间的相互作用,最终目标将是研究代谢物组或生理组的靶物,真正在蛋白质水平上进行种子休眠和萌发研究。

## 1.2 木本植物种子催芽技术

种子处理的方法有很多,常规的有温水浸种(刺槐、乌桕和凤箱果)、低温层积催芽(红松和白玉兰)、腐蚀种皮(蔷薇)、变温处理(欧洲白蜡、牡丹、人参)等,其中低温层积处理是生产中解除林木种子生理后熟常用的方法。松柏等裸子植物、胚休眠的蔷薇科植物在经过一段时间 $1\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 湿冷处理后,休眠逐渐消失。猕猴桃(*Actinidia chinensis*)、金银花(*Lonicera japonica*)、华山松(*Pinus armandii*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等经 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温层积处理后皆能提高发芽率,且发芽迅速整齐。由于不同树种种子休眠原因和休眠程度不同,因此其所需层积条件和时间也各不相同,有时甚至需要各种处理方法综合应用。如凌世瑜和董愚得对水曲柳的研究表明,解除种子休眠需要经过 $8\sim 10$ 个月,先放在暖温( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )下 $4\sim 5$ 个月,再放在低温( $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ )下 $4\sim 5$ 个月。Suszka等认为欧洲白蜡种子催芽的最佳层积条件是先暖温( $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ )16周后再低温( $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ )16周。常用的种子层积处理基质包括沙子、泥炭块或两者的混合物等。大多数植物种子经湿冷处理解除休眠后,需要移到较高的温度下才会发芽,这是因为种子萌发所需的温度较高;若萌发所需的温度低则可直接在湿冷床上发芽,如蔷薇科一些植物的种子。

近年来播种前的种子处理技术有了一些新发展,大致可以分为以下几种。

### 1.2.1 物理诱变

物理诱变有静电场处理、紫外线或激光照射、红光照射等。据对刺槐种子的研究表明,经静电处理后种子萌发生理指标和苗木生