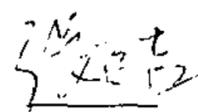


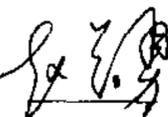
## 关于学位论文原创性和使用授权的声明

本人所提交的学位论文，是在导师指导下，独立进行科学研究所取得的成果对在论文研究期间给予指导、帮助和做出重要贡献的个人或集体，均在文中明确说明。本声明的法律责任由本人承担。

本人完全了解山东农业大学有关保留和使用学位论文的规定，同意学校保留和按要求向国家有关部门或机构送交论文纸质本和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权山东农业大学可以将本学位论文的全部或部分内 容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

保密论文在解密后应遵守此规定。

论文作者签名：

导师签名：

日 期：\_\_\_\_\_

## 七叶树种子特性及种苗品质的研究

【摘要】 本文以七叶树 (*Aesculus chinensis* Bge.) 种子为试验材料, 通过室内、温室和大田试验, 对七叶树种子形态、休眠特性以及萌发生理和影响种苗品质的因素进行了系统全面的研究, 结果表明:

七叶树种子具有独特的物理性状, 为淀粉型种子; 含水量高达 60% 以上; 种子大型, 平均直径达 3.2cm; 而且个体间大小相差悬殊, 最大粒种子和最小粒种子的平均直径相差 3 倍之多, 种子的个体分化导致了种子发芽能力的差异和幼苗的分化。

在低温层积阶段, 脂肪、蛋白质与淀粉含量缓慢降低, 总糖持续增加, 直到胚完成后熟, 休眠解除, 蛋白质含量缓增, 淀粉缓降、脂肪含量突降, 总糖含量增加, 种子进入萌发阶段。

七叶树种子的休眠原因是多方面的, 既存在生理后熟(胚芽分化不完全), 又有种皮的机械束缚作用, 是二者共同作用的结果, 因此属于内源—外源复合休眠类型。为打破七叶树种子内源休眠, 最理想的方法是采用露天沙藏 2~3 个月, 即经过胚的后熟和种子的浅生理休眠两个不同的阶段, 种子具有了较强的发芽能力。同时, 为了打破种子的外源休眠, 可以采用物理手段, 如: 浸水法、切皮法等。

七叶树种子的综合发芽品质中等, 这是由其独特的物理特性决定的。种子级别与种子活力有相关性, 表现为大粒种子和中粒种子的活力较强, 小粒种子的活力较弱。当种子平均直径 < 2cm 时, 种子的活力将受到严重的影响。七叶树种子级别对种子发芽能力也有显著的影响, 中粒种子的发芽能力最强, 表现为发芽率高, 发芽整齐。大粒种子稍次之。当平均值径小于 2cm 时, 种子的发芽能力显著降低。此外, 不同层积处理对种子发芽能力也有影响, 结论是室外低温层积比冰箱层积效果好, 冰箱层积比室内暖层积效果好, 而室内干藏的种子, 未及一个月便由于严重失水而

完全丧失发芽能力。

综合考虑根茎比例、苗木重量、径干粗度和叶片等因素，我们认为七叶树苗木的品质中等。

苗木品质与种子级别有相关性，中粒种子与大粒种子的萌发苗品质优良，同期播种苗表现萌芽早，木质化程度高，抗性强，小粒种子的萌发苗品质较差。不同的播种时间和播种场所对苗木品质有影响，春播好于秋播，大田播种好于温室播种，所以，生产上宜采用翌春大田播种的方式。此外，断胚根处理也可改善七叶树苗木品质，有显著的壮苗效果。建议生产上选择胚根长度在 1.0~2.0cm 的种子，根据情况断胚根 0.2~0.5cm 效果最好。

七叶树种子发芽类型为地下发芽型（子叶留土型），苗木出土后，种内营养耗尽的时间与种粒的大小有关，大粒种子营养耗尽的时间在 3 个月以上，小粒种子在 2 个月以下。这也是种子分化导致幼苗分化的原因之一。

【关键词】 七叶树 种苗 特性 品质

[ summary ] In this text, the *Aesculus Chinensis* seeds are the trial material, and by way of sprouting indoor, sowing in hothouse and plowland, researched on the seed form, sprouting physiology and the influence factors to the property of the seeds and seedling and the system is overall and systematic. Result shows:

The seed possesses unique physics character. and it is the starch type. Water content is more than 60%. The seed is large-scale. The average diameter reaches 3.2cm, and the seeds are greatly different from each other, and the average diameter of the biggest seeds is 3 times bigger than the smallest, and this leads to the difference of the ability of the seed sprouting and the property of the seedling.

In the course of the layer under low temperature, the content of the sugar goes on increasing, and the content of protein, starch and fat reduces slowly. After the embryo finishes after-ripening and dormancy is removed, the protein content increases slowly, the content of starch falls slowly, the content of fat falls greatly and total sugar content increases, and it shows that the seed enters sprouting stage.

The dormancy of the seed is caused by many factors. One is that the embryo does not ripe completely, and the second is machinery hindrance of the seed skin. Therefore it belongs to the compound type of the dormancy.

For breaking the dormancy of the seed caused by internal cause, the best method is to cover the seed in the sand out of the house for 2 - 3 months, that is the stage of after-ripening of the embryo and shallow physiology dormancy, as a result, the seed has possessed the stronger ability of

sprouting . In order to break the dormancy caused by the external cause, the physics means can be used . For example : Soak the seed or cuts the seed skin etc.

The synthesis character of the seeds sprouting is medium , and this is decided by its unique physics property .

The seed rank has something with the seed vigour . The vigour of big seeds and the middle are stronger , and small seeds are weaker .

When the average diameter of the seed smaller than 2cm , the vigour of seed will suffer the serious influence . The ability of sprouting of the seed can be influenced seriously by the seed rank , and the sprouting ability of middle seed is the strongest , and it shows that the rate of germination is higher , and the time is short , and the big seed takes longer time . When the average diameter is smaller than 2cm , the sprouting ability of the seed decreases obviously.

At the same time , the ability of sprouting of the seed can also be influenced by the different stratifications ; and the conclusion is that the ability of sprouting of the seed stratificated outdoor under low temperature is better than layered in refrigerator ; the ability of sprouting of the seed that layered in refrigerator better than that layered indoor in the warm space, and the seed placed indoor will completely lose the ability of sprouting because that the seed loses water seriously in shorter than one month.

Thinks over the factors such as the seeding weight , the stem width , the leaf color and shape and the proportion of the length of root and stem etc ,

We think that the character of the seedling is medium. The seedling's character has something with the seed rank, and of those middle seeds sprout are the best, because they grow faster than the others which were sowed at the same time, and the ability of resisting nature is stronger, and the character of seeding of small seed is a little bad.

Sowing at different time and places have different influence to the seedling character. Sowing in spring is better than that in autumn, and the sowing in outdoor is better than that in the hothouse. So during the course of production, the best method is to sow outdoor in spring.

In addition, the seedling character can also be improved by radicle cutting, and it has notable effect on stronging seedling.

In order to get the best effect, suggesting that we select the seed whose radicle length is between 1.0cm and 2.0cm and cut 0.2 - 0.5cm of it in the production.

The type of the seed sprouting is that cotyledon stays the soil. After the seeding is unearthed, the time that the nutrition exhausts inside the seed relates with the seed rank, and the time of vegetative exhausting in the big seed is more than 3 months, and that in the small seed is less than 2 months, and this is also one of causes that the seed's differentiation leads to the seedling's differentiation.

[ keyword ] Aesculus chinensis seeding property character

## 引言

七叶树 (*Aesculus chinensis* Bge.) 又名梭栲树、天狮栗、七叶枫树，为七叶树科七叶树属的落叶乔木(火树华, 1992)<sup>[15]</sup>。小枝光滑粗壮，顶芽卵形而大，芽鳞交互对生，淡褐色无毛。掌状复叶对生，小叶 5-7 片，长椭圆形或倒卵状长椭圆形，长 9-16 厘米，先端渐尖，基部楔形，叶缘有细密锯齿，下面仅脉上有疏生柔毛；小叶有柄。圆锥花序呈圆柱状，顶生长约 25 厘米，花小，白色，花瓣 4 个，果近球形，径 3-5 厘米，密生疣点，种子深褐色，形如板栗，种脐宽大淡褐色。花期 5 月，果期 9-10 月。

七叶树原产于我国黄河流域各省，因气候变迁，现分布线南移，分布于江苏、浙江等省海拔 700m 以下的山林中<sup>[15]</sup>。目前我国在园林绿化方面对它应用较少，尤其在我国北方，应用更少。而七叶树适应范围很广，对光照要求不严，喜温和湿润气候，较耐寒，耐半荫，畏酷热。在土层深厚、肥沃湿润，排水良好的地方生长良好。所以，我国北方包括华北的大部分地区的气候和土壤条件都比较适合七叶树生长，山东、北京都有少量栽培，长势良好，辽宁小气候条件优越处能安全过冬<sup>[75, 96]</sup>。

七叶树树形优美、冠如华盖，开花时硕大的花序树立于叶簇中，似一个华丽的大烛台，蔚为壮观，极俱观赏价值，是世界四大行道树（悬铃木、椴树、榆树、七叶树）之一，也是优美的庭荫树（李中岳等，2001）<sup>[27]</sup>。

近年来，随着我国城市建设的发展，七叶树作为重要的园林绿化树种，越来越引起园林专家的高度重视。现已被列入新世纪最有开发价值的树种之一<sup>[17]</sup>。随着园林绿化事业的不断发展，七叶树必将茁壮成长为大、中、小城市的阳光大道上。

目前，对于七叶树的研究还处于初级阶段，而且多滞留于树木本身的

研究。如：关于化学成分的研究的<sup>[64.74.67.76.58]</sup>；关于七叶树名字的研究<sup>[67]</sup>关于七叶树播种育苗技术方面的论文也很少，目前只发现两篇（查振道等, 2001; 袁均辉等, 2001）<sup>[1.71]</sup>。

对七叶树种子的处理，多采用层积处理法，因为层积处理是一种最经济、最有效的方法，尤其对生理休眠的种子，层积处理可以增加种子活力、发芽率、初期生长量，使不同种粒间的生理差异降低到最低程度；另据试验（查振道等, 2001）<sup>[1]</sup>，在半密闭状态下，在泥炭中贮藏半年，仍保持100%生活力；查振道等<sup>[1]</sup>采用了覆膜技术，获得了85%的出苗率；（袁军辉等, 2001）<sup>[82]</sup>在播种前用50%甲基托布可湿性粉剂0.2%溶液浸种半小时也可提高发芽率。

种子休眠与萌发生理是现代种子生理中的主要研究内容之一（付家瑞, 1985; 彭幼芬, 1998; 森德典等, 1985）<sup>[7.34.37]</sup>，而由后熟造成的休眠和萌发条件的研究则是其研究的重要部分（管康林等, 1989; 倪德祥等, 1992）<sup>[10.31]</sup>，开展种子生理和萌发条件的研究，对于丰富和完善种子生理研究的内容具有重要的理论价值。种子休眠是一个十分复杂的现象，目前对它的实质还不够十分了解（高贵明等, 1998; 管康林等, 1989; 陈彩霞等, 1997），<sup>[5.11.2]</sup>。尤其对于七叶树，可以肯定的是七叶树的种子具有生理休眠特性，但是对其休眠机理的研究至今还是一个空白。

种子的特性不同，将决定生产中对其采取不同的保存手段和处理方法，这直接影响到种子生命活力以及萌发水平（M.G.R 坎贝尔, 1981; 南京林业学校, 1985）<sup>[30.32]</sup>，因此对种子特性的研究可以避免在生产中由于对种子特性的无知而产生的盲目性。目前，人们对于七叶树的种子的了解，只限于它的基本外形，而对于它的内部结构、生理特性、发芽特性和影响这些特性的因素，还缺乏最基本的了解和研究。

种子品质也是人们在播种育苗中关注的一个焦点，因种子品质的优劣直接关系到出苗率的高低，直接影响到生产效率和经济效益。目前，由于人们对种子品质理解的不同，所以，测定方法也不一样。较常用的有发芽测定法、生活力测定法和活力测定法（郑光华，1993；邹琦，1995）<sup>[89,99]</sup>。虽然这几种方法的侧重点不同，但都从不同的层面对种子的品质进行了评价，预判了种子的发芽潜力。七叶树种子的品质及其影响因素如何，至今尚没有发现相关的报道。

生产中，播种育苗是目前七叶树苗木培育中常用的育苗方式（李中岳等，2001；李霆峰等，1984）<sup>[27,28]</sup>。七叶树苗木先期受种子的影响较大，播种品质优良是培育壮苗的基础；七叶树种粒大，繁育时用种量多，种子的价格又非常昂贵，种子费用占苗木成本较大比重；特别是七叶树种子含水量高；储藏困难，种子处理技术对发芽出苗及苗木质量有着重大影响，种子处理技术不当，常导致种子发芽率低，苗木生长不整齐，浪费种子并影响苗木质量，不过，对七叶树种子品质以及影响因素的研究，至今还未发现相关的报道。因此，在生产中，对于如何选种、如何提高种子的萌发水平，尚急需相关的科学理论指导。

已有的研究没有从根本上解决七叶树种子的储存问题、如何提高出苗率的问题以及如何提供壮苗问题等，这样，七叶树的快速推广应用也就成了一纸空文。而关于七叶树种子特性以及影响种子萌发和苗木品质的因素的系统性研究尚属空白。因此，深入研究其种子特性，提高出苗率，找出壮苗措施，加快苗木繁育速度，扩大应用范围，对尽快丰富北方城市园林景观具有重要的现实意义。

鉴于此，本研究在已有研究的基础上，重点对以下问题进行了研究：

(1) 七叶树种子的形态特性及物理特性。(2) 七叶树种子级别与种子活

力及苗木品质的相关性，为生产中的选种工作提供可靠的数据参考。(3) 不同层积处理对种子活力的影响。为七叶树种子选出最好的储存环境。

(4) 断胚根处理对苗木品质的影响，探讨壮苗措施。(5) 不同播种场所及不同播种时间对苗木品质的影响，选择最好的播种条件。(6) 明确七叶树的种子类型、种子出芽方式以及种内营养的耗尽时间。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

于 2002 年 10 月由河南调进七叶树种子, 采摘于 9 月中旬, 购进前在 0℃左右的冷库中带果皮储藏, 储藏的环境湿度在 80%左右。

### 1.2 试验地概况

大田试验设在山东农业大学科技学院树木园中, 位于东经 117° 08', 北纬 36° 11', 海拔 150 米, 属暖温带大陆性气候, 年均气温 12.8℃, 极端最高气温 40℃, 极端最低气温 -22℃, 无霜期 186.6 天。年降水量 600~700mm, 降水分布不均 (7、8 月约占全年降水量的 53%, 6~9 月约占 74%), 春秋旱季干旱严重, 年均相对湿度 65%。(石诰来, 1996)<sup>[36]</sup> 土壤为沙壤土, 容重 1.29g/cm<sup>3</sup>。土壤肥力中等, 有良好的水浇条件。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 种子形态观测

##### 1.3.1.1 外部形态观测 (邢世岩等, 1993)<sup>[54]</sup>

随机提取种子 100 粒, 除去附属物, 洗净气干后仔细观察种子的形状、色泽、光滑度、质感等方面, 总结共同特征。

##### 1.3.1.2 内部构造

观测内部构造时, 随机提取 10 粒种子, 把种子分别沿横轴、纵轴解剖, 观测胚乳、子叶、胚芽、胚轴的形态、色泽等。

#### 1.3.2 物理指标的测定<sup>[40.41]</sup>

用游标卡尺测定种子纵轴直径、横轴直径, 按平均值把种子分为大、中、小三级。

百立法测种子千粒重; 二次烘干法测定种子含水量; 1/100 天平测定种子鲜重、干重。每重复 25 粒, 3 次重复。

### 1.3.3 吸水曲线的绘制

取待测的七叶树种子称重后放入 50℃ 的温水中浸泡，第 1~2 天每 6 小时取出用滤纸吸干后称湿重，以后几天每隔 12 小时测一次，直到吸水量不再增加为止，求得吸水量百分比 (%)。绘出吸水曲线。每重复 25 粒，3 次重复。

### 1.3.4 种子休眠特性研究

#### 1.3.4.1 种子内源休眠研究

##### 1.3.4.1.1 糖含量测定 蒽酮法

标准曲线的制作 取 6 支大试管，按下表数据配制一系列不同浓度的葡萄糖溶液。

管号	1	2	3	4	5	6
加葡萄糖原液 (200ug/ml) 量 (ml)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
加蒸馏水量 (ml)	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
葡萄糖含量 (ug)	0	40	80	120	160	200

每支试管加蒽酮试剂 0.5ml，酸式滴定管加浓  $H_2SO_4$  5ml，摇匀反应 10min，620nm 波长下比色，以标准溶液浓度作横坐标，以消光值作纵坐标绘制标准曲线。

可溶性糖提取 准确称取样品 0.2g，无损地移入三角瓶，加 50ml 82% 乙醇，用带有长玻璃管（长 1m，内径 7mm）的橡皮塞塞进，80℃ 水浴中浸提半小时（每 10min 摇动一次），回流后取出三角瓶冷却，清液移入 100ml 量瓶中，残渣用 82% 乙醇提取 2 次（每次 15ml，浸提 15min），残渣移入量瓶中，蒸馏水定容，干滤纸过滤（吸取一定量滤液用蒽酮法测可溶性总糖，残渣放在 80℃ 烘箱中烘干，以备测淀粉），取 2ml 提取液于大试管中，加入 0.5ml 蒽酮试剂和 5ml 浓  $H_2SO_4$  摇匀，10min 后比色波长 620nm，记录消光值，在标准曲线上查出葡萄糖含量 (ug)。

## 1.3.4.1.2 淀粉含量测定 蒽酮比色法

绘制淀粉标准曲线 取小试管 6 支编号, 按下面方法加入溶液和蒸馏水, 向每管加 0.5ml 2% 蒽酮试剂, 沿管壁加 5.0ml 浓  $H_2SO_4$ , 塞好, 稍微摇动, 出现絮状物时剧烈摇动至蒽酮溶解, 立即放入沸水浴中加热 10min, 冷却, 620nm 波长下比色, 测各管消光值。

管号	1	2	3	4	5	6
淀粉标准液 (ml)	0	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00
蒸馏水 (ml)	2.00	1.60	1.20	0.80	0.40	0
淀粉含量 (mg)	0	40	80	120	160	200

应用公式: 样品含糖量 (%) = [查表所得的糖量 (ug) × 稀释倍数 / 样品重 (g) ×  $10^6$ ] × 100

样品的测定 提取可溶性糖以后的干燥残渣移入 50ml 量瓶中, 加 20ml 蒸馏水, 于沸水浴中煮沸 15min, 加 9.2N  $HClO_4$  2ml 提取 15min, 冷却、定容、混匀, 用滤纸过滤, 取 0.5ml 2% 蒽酮试剂, 沿管壁加 5.0ml 浓  $H_2SO_4$ , 盖上盖子, 用淀粉标准液测出样品在 620nm 波长下的消光值。在标准曲线上查出相应的淀粉含量, 按下式计算:

样品中淀粉含量 (%) = 标准曲线上查得的淀粉含量 (ug) ÷ 样品中 (g) ×  $10^6$  × 样品稀释倍数 × 100

## 1.3.4.1.3 脂肪测定 soxhiet 提取法

干净的小烧瓶 103~105℃ 烘 2h, 干燥器中冷却, 用分析天平称重, 称取 2g 样品, 滤纸包好放入浸提管内, 向已称重的烧瓶倒入二分之一至三分之一体积的无水乙醚, 电热套加热回流 2~4h, 控温在每小时回馏 3~5 次为宜。待乙醚完全流入小烧瓶, 将滤纸包取出, 再回馏一次。从洗涤浸提管, 继续加热, 浸提管内乙醚接近虹吸管上端时倒出, 直至乙醚蒸尽, 停止加热, 吹风, 即将烧瓶中残留乙醚吹尽, 至 103~105℃ 烘箱中烘半小时, 干燥器内冷却, 称重, 小烧瓶增加的重量即为样品脂肪含量。

#### 1.3.4.1.4 蛋白质含量测定 紫外吸收法

提取种子蛋白：称取粉碎过 40 号筛的待测样品 0.5 克，置研钵中，加少量石英砂和 2.0 毫升 30%NaOH，研磨 2 分钟。再加 3 毫升 60%碱性乙醇，研磨 5 分钟。然后用 60%碱性乙醇将研磨好的样品无损地洗入 25 毫升量瓶中，定容，摇匀后静止片刻。取部分浸提液离心 10 分钟（3500 转/分）。吸取上清液 1 毫升于 25 毫升量瓶中，用 60%碱性乙醇稀释并定容。摇匀后即可比色。

比色：在紫外分光光度计上，于 280NM 和 260NM 波长下分别测其消光值，然后根据下式进行计算。）

$$\text{蛋白质 (\%)} = (1.45E_{280} - 0.74E_{260}) \times \text{稀释倍数} \times 100/1000$$

$E_{280}$ ——蛋白质溶液在 280NM 处测得的消光值。

$E_{260}$ ——蛋白质溶液在 260NM 处测得的消光值。

100/1000——蛋白质浓度换算成百分数。

#### 1.3.4.1.5 胚的解剖观测

在层积的不同阶段，分别提取种子 20 粒进行解剖，观察胚的变化。

#### 1.3.4.2 种子外源休眠研究

##### 1.3.4.2.1 种子“温湿”处理 (GORDON 和 BOWE, 1982)

播种前，种子浸入等于它体积数倍的水中，在 3~5℃环境中经 48 小时。把水排除后，用等于种子体积 2—4 倍的湿保水基质，如沙子、蛭石等，同种子掺和。储藏于温暖条件下，20—25℃的恒温或 20℃于 30℃的变温处理 24 小时，如果混合的种子表面看出有点发干就要喷水使之重新潮湿。

##### 1.3.4.2.2 种子切皮处理

采用手工破皮法，在点播前，把种子靠近胚的种皮剥去三分之一，小

心不能伤损种胚，然后按前述方法点播。

### 1.3.5 种子品质测定

#### 1.3.5.1 发芽品质测定

取供试七叶树种子 20 粒，重复 3 次。用 1% 升汞消毒 5 分钟，然后转入光照发芽箱和生化培养箱内进行发芽试验。发芽床采用改进的沙基发芽床。坚持每天记录发芽情况，测算各发芽指标。测算指标如下：

$$\text{①发芽率} = \text{正常发芽种子粒数} / \text{样品种子粒数} \times 100\%$$

$$\text{②平均发芽速} = \Sigma (D \cdot n) / \Sigma n \quad D \text{—种子置床之日起算的天数}$$

n—在 D 天的发芽数

$$\text{③发芽指数 } G_i = \Sigma G_t / D_t \quad G_t \text{—发芽势}$$

D—天数

④发芽势——日平均发芽数达到最高的那一天为止，正常发芽的种子数占样品种子总数的百分比。

#### 1.3.5.2 层积处理

去果皮野外沙藏（一层种子一层净沙，表层覆沙，20cm 左右，沙含水量为其饱和含水量的 60% 左右），至翌年 2 月备用，其间共翻拣 10 次；同期 0—5℃ 冰箱沙藏（沙条件同上）；同期恒温箱暖层积（25℃）；同期室内干燥荫凉处干藏。

#### 1.3.5.3 生活力测定 TTC 染色法 (颜启传, 1992; 郑光华 1979) <sup>[66, 91]</sup>

取不同处理的七叶树种子，用 50℃ 温水浸泡 48h 后，纵向切开，以不损伤胚而暴露胚为佳。再以 0.5% 的 TTC 溶液，在 30℃ 的恒温箱内黑暗条件下染色 12h，检查胚的染色情况。以胚和胚乳全部染色为有活力的种子，着色越好，生命力越强。每重复 25 粒，3 次重复。以室内干藏种子作对照。

#### 1.3.5.4 活力指数测定 (发芽测定)

以测定种子发芽及幼苗生长量为基础,应用公式如下:

$$V_i = G_i \times S$$

$V_i$ —活力指数

$$G_i = \sum (G_t \div D_t)$$

$G_i$ —发芽指数

$G_t$ —在时间  $t$  日的发芽数

$D_t$ —相应的发芽日数

$S$ —幼根长度

### 1.3.6 苗木品质

#### 1.3.6.1 温室播种试验

##### 1.3.6.1.1 苗木指标的测定

从三个级别的种子中分别随机提取种子 20 粒为一组,共取 3 组,在塑料大棚中作床点播,株行距  $5\text{cm} \times 15\text{cm}$ ,覆土  $5\text{cm}$ ,保持土湿润。分阶段观察纪录发芽及出苗的情况,并计算各项指标的平均值。(成苗率、苗高、地径、地上生物量、地下生物量、幼芽出土方式、种子营养耗尽的时间)。

##### 1.3.6.1.2 苗木水势的测定 压力室法

分别从不同级别的种子所萌发的苗木中选取生长天数相同的苗木(60 天),并分别选取上、中、下三个部位的带叶小枝进行试验。样品取下后,蔽光条件下 30 秒内装入压力室的钢筒中,加压,压力增强的速度控制在每秒  $30 \sim 50\text{kPa}$ ,随着压力的缓慢上升,当在样品的切口端出现汁液,切口处变得平滑、光亮且润湿,形成一层水膜时,停止加压并读出水势的绝对值。重复三次,取平均值为该样品的水势值。

##### 1.3.6.1.3 苗木电导率的测定

分别从不同级别的种子所萌发的苗木中;选取生长日期相同的幼苗上

的新鲜叶片 1 克，重复三次，用无离子水清洗 2-3 次，再用滤纸吸干，量取 30ml 无离子水于锥形瓶中，洗净叶片剪碎放在恒温振荡器中，25℃，振荡 3 小时，取出锥形瓶，测出溶液的电导率（初电导 S1），然后将其放入沸水浴中处理 30 分钟，静止、冷却、振荡 3 小时，测其电导率（终电导 S2，完全电导率）。计算相对电导率  $S1/S2$ ，取三次平均值

### 1.3.7 大田播种

从混合均混匀的种子中随机提取种子 20 粒为一组，共取 3 组，分别于当年十月和翌春三月初在大田中作床点播，株行距 5cm×15cm，覆土 5cm，不作防寒、防旱处理。观察纪录发芽及出苗情况，并计算各项指标的平均值。（成苗率、苗高、地径、地上生物量、地下生物量、幼芽出土方式、种子营养耗尽的时间）

### 1.3.8 断胚根处理

取层积后同期催芽的种子 160 粒，分成 4 组，作 4 个不同的断胚根处理，每个处理设 2 个重复，然后按同样方法于同一土壤条件下点播，观察根型，测定苗高、地径、根径。每组 20 粒，作 3 个重复。

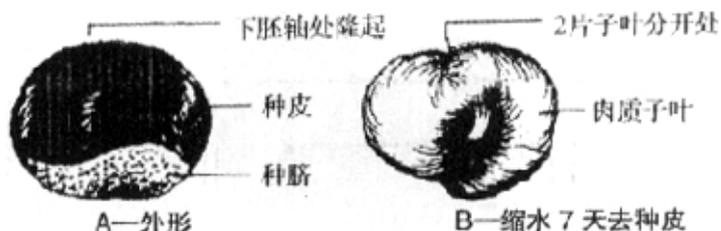
## 2 结果与分析

### 2.1 种子特性及品质

#### 2.1.1 种子特性

##### 2.1.1.1 种子形态特征 图(1.2)

通过实际观察发现，七叶树种子为球形至扁球形，种子大小相差悬殊，平均直径 3.2cm。成熟的种子呈深巧克力色至栗褐色，外皮革质、有光泽，平滑或微具纹络，下胚轴处稍有隆起，缩水后明显。种脐大，浅褐色，无光泽，约占种子外表的三分之一至二分之一。



图(1)七叶树种子外部形态

Picture (1) The outside form of Aesculus chinensis seed

种子分级 见表(1)：

表(1) 种子分级

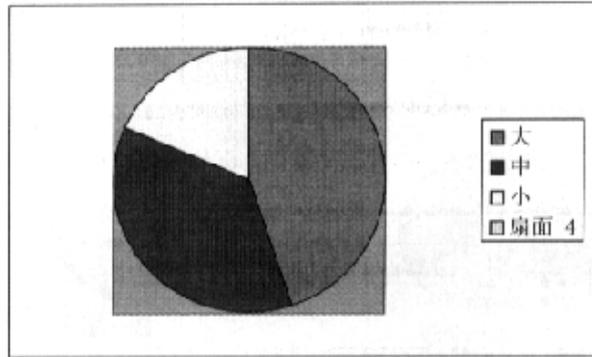
The table (1) The seed is graded

	D 平均	D 纵 max	D 纵 min	D 横 max	D 横 min
总体情况	3.2	4.9	1.8	4.3	1.6
大	4.3	4.9	4.3	4.3	3.7
中	3.5	4.2	3.6	3.4	2.8
小	1.8	2.0	1.8	1.8	1.6

种子分级本身虽然是一项相对简单的作业,但有些树种的种子必须经过适当加工后才能分级,七叶树便是如此。因为七叶树种子外被外果皮,必须除掉才能达到分级的效果。

通过观察得知,七叶树的种子大小差异很大,平均直径在4cm以上的和2cm以下的种子各占约四分之一,在2cm~4cm的占多数,约为二分之一。为此,按平均直径,把种子分成三个等级,大粒种子的平均直径变动

范围在 4cm 以上，中粒种子 2cm~4cm，小粒种子在 2cm 以下。



图(2)种子大小差异情况

Picture (2) the big or small difference  
circumstances of the seed

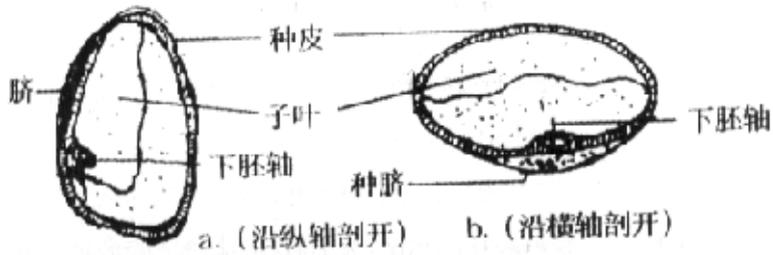
由表和图可见，七叶树种实个体大小相差悬殊。在所调查的样品中，最大粒的种子直径达到 4.9cm，最小的只有 1.8cm，中间跨度 3.1cm，也就是说最大粒和最小粒种子的纵轴直径可以存在 3 倍的关系；横轴直径的中间跨度也达到 2.7cm 将近 3 倍的关系。这也是七叶树种子出苗不整齐、幼苗分化严重的主要原因

#### 2.1.1.2 种子内部结构 图(3)

通过实际解剖可以看出，七叶树种子种皮为革质，种皮内有一层比较柔韧的中种皮。七叶树种子无胚乳，胚充满种子内部，平均直径 3.0cm。子叶肥厚、肉质、呈乳白色，没有缩水情况下，二片子叶完全融合，看不到胚芽，只能看到极短的下胚轴。在室内缩水 7 天观察，胚体缩小，脱离种皮，胚呈乳黄色，表面有纹络出现，两片子叶完全分开。(见图 1-B)

#### 2.1.1.3 种子物理特性

通过实际测定，得出了七叶树的种子属大粒型的，60~65 粒/公斤，



图(3) 种子内部结构

Fig(3) the internal structure of the seed

而且是高含水量的种子(60%以上)。主要指标如下:

鲜重=15.50 克/粒

干重=5.57 克/粒

气干千粒重=15900 克

绝对千粒重 = 5199.3 克

种子相对含水量=64.06%

种子绝对含水量=178.30%

考虑到七叶树种子极易失水而丧失生活力,所以在测定鲜重时,种子在空气中暴露时间不宜过长,只放置了4小时。种子外表呈气干状态,而种子在调运过程中用湿沙储藏,种皮内部可能由于吸水而呈现的润湿状态尚未改变,所以,所测含水量值可能偏高。我们所测的数值已高达60%以上,说明该种子的含水量的确很高。

含水量高,意味着种子中出现了大量的游离水,酶的活性较高,种子的呼吸作用加强(科学出版社,1986)<sup>[22]</sup>,如果呼吸所释放的 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 和热不能及时排除,种子堆便会出现自热、自潮、窒息现象(邹德曼,1985)

<sup>[92]</sup>。Thakurta 和 Dutt (1935-1936) <sup>[29]</sup>测定过木豆 (Cajanus sp.) 在不同含水量情况下的呼吸强度, 结果是: 在种子转入休眠之前含水量为 80.5% 时, 每克干物质每分钟对氧的消耗量为 456.7 立方毫米; 种子临近休眠其含水量为 80.5% 时, 氧的消耗量为 44.8 立方毫米; 含水量为 12.01% 时, 进一步下降到 0.0053 立方毫米; 含水量降到 10% 时, 便到达休眠期, 在休眠期的 57-90 天中, 觉察不出氧的消耗量。所以, 高含水量的种子很难长期保持生命力。

因此, 对七叶树种子的贮存, 保证水湿条件应该放在首位; 另一方面, 湿度过高, 又易于使种子腐烂, 所以贮存位置应选背风、背光的高地, 同时要经常翻动, 一则按时拣出霉烂种子, 二则进行通风送氧释热。播种时, 也应作高床点播, 床高 15cm 左右, 保证覆土潮润, 又不能灌溉过度。另外, 高含水量的大粒种子在运输过程中还应注意轻拿轻放, 以免造成损伤而腐烂。

#### 2.1.1.4 种子吸水特性

##### 2.1.1.4.1 不同级别的种子吸水曲线 (图(4))

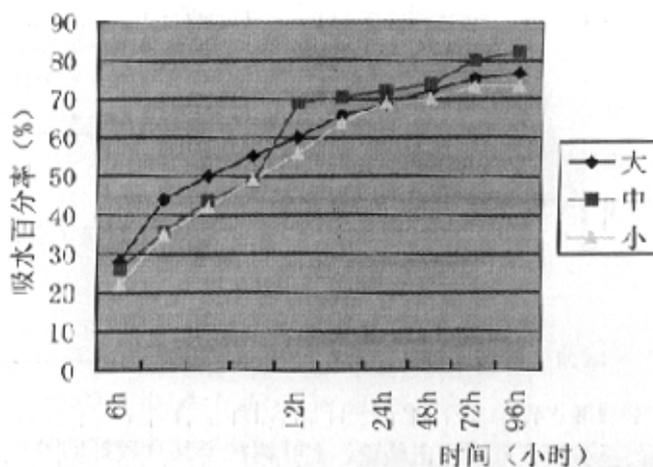
种子整个吸水过程可分为被动吸水和主动吸水两种。

前者靠吸胀吸水, 纯属物理过程, 与种子的代谢无关, 无论种子是否有生命力都能进行吸胀吸水 (中国林学会等, 1987) <sup>[96]</sup>。从图曲线看, 在被动吸水阶段, 大粒种子吸水百分率值偏高, 可能与大粒种子种皮较疏松、与水接触面积较大有关。

从总体上看, 七叶树种子吸水能力是很强的。说明种皮具有极强的透水性。这也就说明了为什么种子易于失水而丧失生活力, 同时又易于在温湿的环境中吸水而导致种子腐烂。

后者是靠种子生命活力所产生的生理吸水, 吸水能力越强, 说明种子

的活力越大(徐本美等, 1986)<sup>[61]</sup>。在主动吸水阶段, 吸水能力出现中粒种子>大粒种子>小粒种子的情况, 证明了种子生命活力和种子级别有关, 由强到弱的顺序为中粒种子、大粒种子、小粒种子。这种特性说明了, 中粒种子的生活力最强。



图(4) 不同级别的种子吸水曲线

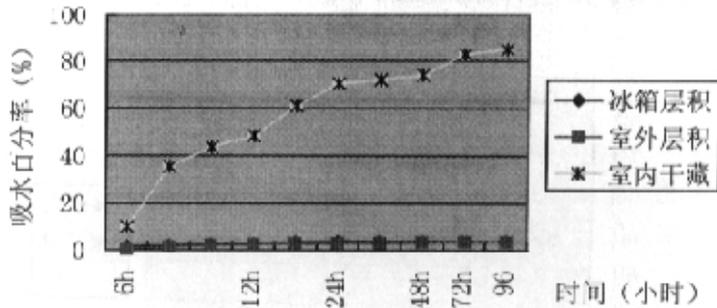
Fig(4) The water curve of the seeds of different ranks

同时, 种皮透水性好, 易于失水和吸水, 这就导致其在储存过程中容易受储存环境的影响而降低其生活力。七叶树种子发芽率低、不耐储藏的原因, 主要是由于七叶树种子这种特性所导致的

#### 2.1.1.4.2 不同处理的种子吸水曲线 图(5)

干藏种子与层积种子经过两种处理后, 吸胀情况有明显差异。层积种子由于始终处于湿润条件下, 吸水比较缓和, 第三天以后即趋于平衡。最终吸水率约 2~4%。而干藏种子则不同, 由于种子风干, 严重失水硬化, 蛋白质变性, 原生质体的透性提高, 胶体的亲水性和组织的保水能力降低,

而大大改变了水分平衡状态（黎锡扬，1983）<sup>[26]</sup>。进一步吸水，导致细胞壁破裂，内含物外渗。干藏的七叶树种子不仅开始时吸水速度较快，而且在第3天还没达到吸水平衡。最终吸水率最高者可达100%。



图(5)不同处理的种子吸水曲线

Fig(5) The water curve of the seeds dealt with different ways

综合以上分析，可以得出结论，七叶树种子具有较好的吸水特性，同时，这也意味着它的易于失水的特性，因此，七叶树种子的储藏环节是很重要的，温度与湿度的处理更是重中之重。

### 2.1.1.5 种子休眠特性

#### 2.1.1.5.1 从层积中内含物的变化探索休眠的原因

根据休眠的成因，休眠简单分类为：外部或种皮休眠；内部或胚休眠；复式休眠——即在同一时间内种皮休眠和胚的休眠同时存在（徐本美，1997；颜育民，1997）<sup>[62,73]</sup>。后来，Nikoleva（1977）<sup>[29]</sup>应用过更细致的休眠分类方式，Gordon 和 Rowe（1982）又以简化方式应用于温带阔叶树和灌木种子，具体如下：

#### A.外源休眠

A ph 物理的 即种皮或果皮阻碍水分交换；

A ch 化学的 果皮或种皮内有抑制素；

A m 机械的 果皮或种皮对胚的生长有机械的抑制作用。

B. 内源休眠（形态学的） 形态学的 即胚的发育不全。

C. 内源休眠（生理学的） 发芽受到生理抑制机制的妨碍。

C1 轻度的 抑制机制弱；

C2 中度的 抑制机制中等；

C3 深度的 抑制机制强。

B-C 形态-生理复合休眠

B-C3 胚的发育不全加上生理抑制机制强；

B-C3e 胚的发育不全加上上胚轴生长的生理抑制机制强。

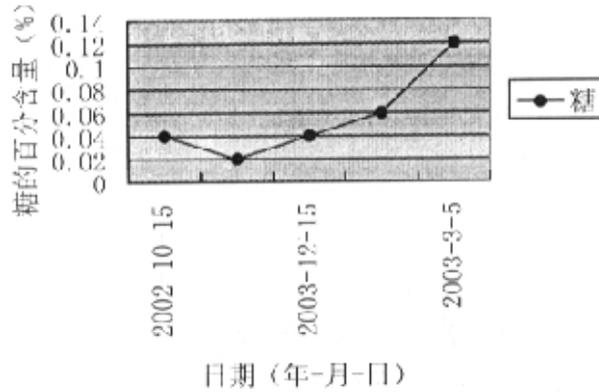
A-C 外源-内源复合休眠 种皮或果皮休眠加上内源生理性休眠的各种组合。

七叶树种子既然需要层积的过程才能萌发，其内部内含物的积累及转化情况，势必与七叶树层积过程有关，我们试图从层积过程中内含物的动态变化中，找出其休眠的原因。

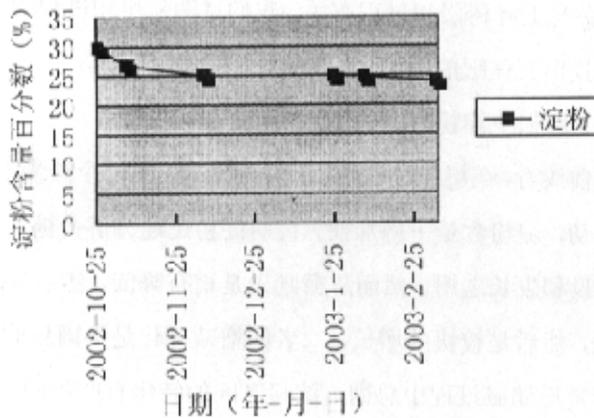
#### 2.1.1.5.1.1 层积中淀粉与糖的动态变化 图(6.7)

从上图曲线看，在层积过程中，淀粉的含量处于一个缓慢下降的过程，到次年三月初，淀粉含量下降加快，说明淀粉迅速分解为糖，以供种子萌发、幼苗呼吸和生长之用。然而总糖则先是稍有降低，然后处于一个缓慢的积累过程，然后是较快的增长，二者的增减变化是不同步的，这与一般淀粉类种子采后储藏过程中总糖与淀粉之间的转化有所不同，这极可能与七叶树种子的内含物状态有关，七叶树种内脂肪的含量较高，在4%以上，我们知道，脂肪在种子萌发时分解生成的甘油在种子内并不积累，它可以转变为糖；此外，这也许与七叶树特殊的成熟过程有关，据资料，具有后

熟过程的银杏种子在层积过程中，总糖与淀粉的变化有如此趋势（曹帮华等, 1995, 2000; 徐本美, 1986）<sup>[3.4.59]</sup>。



图(6) 层积过程中糖含量的动态变化  
Trends of the changes of sugar content in the course of layer



图(7) 淀粉的变化

Picture (7) the change of starch

### 2.1.1.5.1.2 层积中蛋白质含量的变化 图(8)

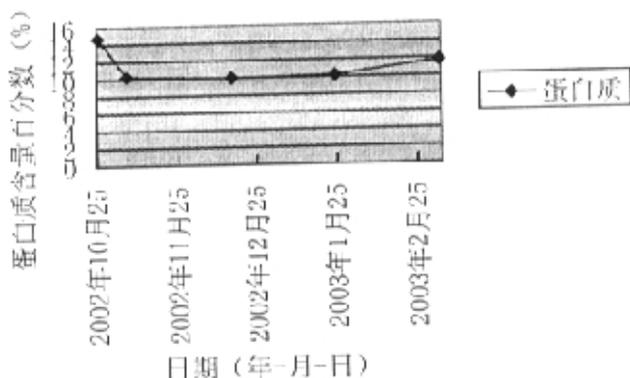
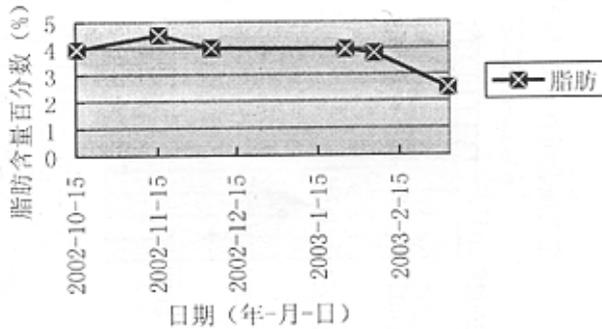


图 (8) 蛋白质含量的变化

Picture (8) Change of the protein content

在 10 月中旬, 蛋白质含量急剧下降, 可能是因为在此期间, 七叶树种子的胚处于分化期, 所以要大量消耗种子内储藏的蛋白质(唐锡华, 1985)<sup>[41]</sup>。到 11 月中旬, 伴随着胚的分化速度的变慢, 蛋白质变化较小。层积过程中, 七叶树种子的蛋白质含量基本保持在稳定状态, 变化不大, 翌年二月末, 萌发前蛋白质含量又开始上升, 说明萌发初期, 蛋白质水解, 是在分解各种蛋白质的酶的催化下进行的。又蛋白质水解生成的氨基酸, 一部分用以合成储藏组织内的酶 (如各种水解酶), 但大部用以合成正在生长中的胚的各种蛋白质 (颜育民等 1985)<sup>[7]</sup>。关于这一点, 与存在后熟现象的银杏的种子内蛋白质的变化也基本吻合, 只是在七叶树种子中, 种内蛋白质急剧降低的时间较银杏提前一些 (15 天左右), 可能是由于七叶树种胚的后熟时间较短。总之, 根据蛋白质的含量的变化我们可以推断, 其种胚的后熟是存在的。

2.1.1.5.1.3 层积中脂肪含量的变化 图(9)



图(9) 脂肪含量的变化

Picture(9) The trends of the change of fat content

赖力等(赖力等,1989)<sup>[23]</sup>认为,红松种子的后熟与脂类物质转化为碳水化合物有某种关系。从脂肪的变化看,在十月份,脂肪含量在逐渐增加,说明种子在采收后,仍然在继续着成熟过程(唐守正,1984)<sup>[43]</sup>,这证明七叶树种子后熟过程的存在。层积后,种内的脂肪基本保持在缓慢下降状态,等到翌春三月初,由于种子开始萌发,储藏在种子内的脂肪便发生分解,因此种子内的脂肪含量开始较大幅度的下降。

通过种子内以上四种内含物在层积过程中的动态变化看,都表明七叶树种子在采收后继续着成熟过程,直到11月初,完成胚的后熟过程,各项指标基本处于稳定状态,一直到次年三月初,各内含物又都开始增减变化,种子进入萌发状态。因此,我们可以断定,七叶树种子胚的后熟是造成七叶树休眠的原因之一。

同时,内含物在层积中的动态变化都表明,七叶树种子后熟基本在11月前结束,因此,在相对比较温暖的地区,当年秋播种的种子,有的在深秋就可以发芽。所以,生产中如果采用当年随采随播的培育方式,则

应注意观察，一旦出现这种情况，应及时进行防寒，以免幼苗冻伤。

#### 2.1.1.5.2 从胚的生长情况探索休眠的原因

在层积过程中的不同阶段,通过对七叶树种子进行解剖,笔者发现,在没有层积以前,子叶、胚芽、胚根是完全融合的,只能看到底端的下胚轴,看不到子叶。层积一个月后,在胚轴的先端处,两片子叶融合处稍有一条细纹络,是水融状子叶的影子,预示着胚芽开始分化;层积后两个月左右时,再解剖观察,可以清晰的看到4mm左右的胚芽,完全脱离两片子叶,此时,胚的各部俱全(胚根、胚轴、胚芽、子叶),说明胚完成了分化,也完成了它的后熟过程,此时,种子只要在适宜的条件下就可以萌发(王怡陶等,1991;张良诚,1981)<sup>[50,79]</sup>。此后在层积过程中,胚的生长基本处于稳定状态,胚芽基本不再伸长。直到次年二月中旬以后,种胚又重新恢复生长,胚芽增长迅速,胚根膨大,为突破种皮做准备。

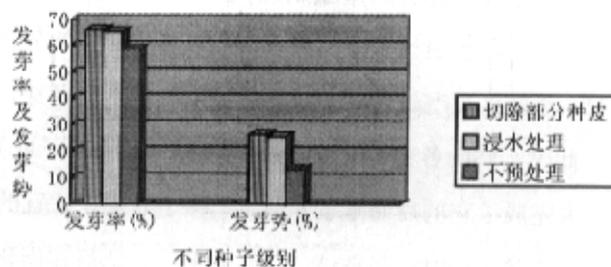
#### 2.1.1.5.3 物理处理法探索休眠的原因 图(10)

七叶树的种子具备革质外种皮,会对胚的萌发产生机械阻碍作用。因此,进行了打破外源休眠的处理试验<sup>[35,23,37.]</sup>。

打破物理性种皮休眠的预处理方法有很多,比如:不伤害胚和胚乳的种皮软化、刺孔、磨损或划破等(张培玉等,1996,郭明军等,1997)<sup>[78,85]</sup>。最简单的方法是在播种前把每粒种子的种皮切开或钻孔,曾发现这类方法在菲律宾是用于豆科的大粒种子,如Afzelia属、合欢属等(Seeber和Agpaca,1976)。化学性种皮休眠其因与种皮内具有抑制胚发芽的化学物质存在,对此往往可用一些能溶解出这些化学物质的液体来克服。把种子在自然条件下浸入水中24小时的反应很好(Kemp,1975)<sup>[29]</sup>。本试验采用的浸水处理法可以兼有软化硬种皮和浸析出化学抑制物质的作用,因此,对打破化学抑制物质以及物理性种皮休眠或二者兼而有之的休眠是有

效的(王炎, 1997)<sup>[52]</sup>。而对克服物理性休眠有效的去种皮处理法对克服化学性休眠则无效(项殿芳等, 1997; 杨晓玲等, 1997, 1998)<sup>[63, 68, 69]</sup>。

从结果看, 预处理的种子比没经过预处理的种子发芽效果好, 说明七叶树种子的确存在外源休眠。从两种预处理所得的不同实验数据看, 切除



图(10) 不同预处理对种子萌发影响

Fig(10) The influence of different pretreatments to the seed sprouting

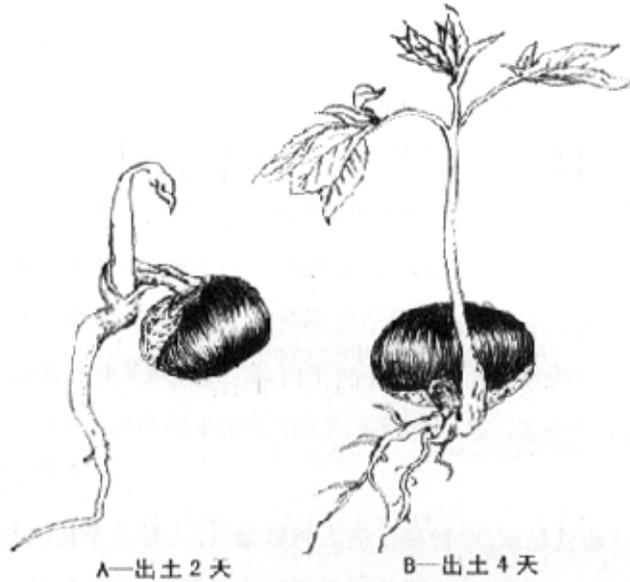
部分种皮的效果更明显一些, 出苗率更高, 出苗也更整齐(见图10)。另据(袁军辉等, 2001)<sup>[71]</sup>试验还发现, 播种前用50%可湿性粉剂0.2%溶液浸种半小时也可提高发芽率。

以上情况说明, 七叶树种子存在外源休眠, 主要是由于种皮的机械阻碍作用造成的, 基本可以排除种皮的抑制物质的存在情况。

综上所述, 可以得出结论, 七叶树种子的休眠是内源与外源因素共同作用的结果, 目前我们可以肯定的是, 内源因素主要是胚的后熟, 更具体地说是由于胚没有完全分化。外源因素主要是种皮的机械阻碍作用。至于种皮的阻碍作用的机理, 以及种内是否会存在抑制物质, 还有待于进一步研究。

## 2.1.2 种子品质

### 2.1.2.1 种子发芽方式 图(11)



图(11) 七叶树种子出土类型

Picture( 11 ) Sprouts type of  
*Aesculus chinensis* seed

根据下胚轴伸长的程度,与子叶对地表的关系,通常分成三种萌发方式:地上萌发、地下萌发、地面萌发(南京林业学校,1985)<sup>[32]</sup>。通过观察我们发现,七叶树种子在发芽过程中,胚轴不伸长,子叶留在地下,附着在幼苗根部,可达半年以上,所以他属于地上发芽型(或叫子叶留土型)。子叶上部的幼芽生长很快,因其不仅可以利用子叶中储藏的养料,而且早生绿叶,制造养料,所以比地上发芽型的植物生长的快。

### 2.1.2.2 种子生活力 (发芽测定法) 表(3)

表(2) 种子级别与种子活力的关系

The table (2) seed rank and the relation of seed vigour

级别 Rank	平均直径(cm) The average diameter	发芽指数 The index sprouts	幼根长度(cm) Young root length	种子活力指数 The seed vigour index
大	4.3	3.31	4.00	13.24
中	3.5	3.41	3.90	13.30
小	1.8	2.61	2.05	5.35

种子活力是表示种子质量的一项重要指标(孙时轩, 1985)<sup>[33]</sup>。种子活力是指种子的健壮度, 它包括发芽潜力、生长潜力和生产潜力, 因此, 种子的活力比生活力更能进一步表明种子的质量; 是种子一切生理特性的总和。发芽测定法是以测定种子发芽及幼苗生长量为基础, 并将两者联系起来, 用活力指数来表示。它是种子内部全部生理生化作用的结果, 能反映种子活力的全貌, 是测定种子活力的灵敏生理指标(生物学报, 2000)<sup>[35]</sup>。

表(2)数据显示, 中粒种子活力指数最大, 大粒种子稍次之, 小粒种子则远远小于前二者。这说明大粒种子活力最强, 且与中粒种子相差不大, 小粒种子活力最弱, 远低于前二者。这种差别主要是由于种子的成熟程度导致的。过小的种子胚可能没有充分成熟, 势必影响其萌发能力。其次, 没有充分成熟的种子, 内含物呈易溶状态, 含水量高, 储存期间易腐烂而影响其活力。大粒与中粒相比, 前者稍低, 可能是因为种粒过大, 淀粉含量高, 种皮疏松, 贮藏过程中较易失水所致。这个结果与前面所测种子生理吸水能力的结果是一致的。

### 2.1.2.3 种子发芽能力

从发芽率数值看, 七叶树的发芽率不高, 属中等水平。这主要与七叶树种子的特性有关, 该种子含水量很高, 又需要较长的发芽时间, 所以,

表(3) 发芽能力

The table ( 3 )		The ability sprout	
发芽率(%) Rate of germination	发芽势(%) The power of sprout	平均发芽速 equal soeed to sprout	发芽指数 The index of sprouts
70.7	56.1	18.07	3.11

如果种子在一定天数以内不能发芽,一则在高温高湿的条件下容易发生腐烂;二则如果发芽环境湿度小,又极易发生种子失水而丧失生活力。这些是导致七叶树种子发芽率低下的一部分原因。

本试验在发芽势测定时,对测定方法进行了选择。关于发芽势,目前有几种测定方法(Ford-Roberton, 1971)<sup>[29]</sup>:一种是指某一样品在一定时期(作为势期 energy period),例如在最适宜的或规定的条件下7天或4天内,发芽种子的百分率。第二种为某一样品在达到发芽高峰时期的发芽百分率,通常以24小时内发芽数最多的那一天作为发芽高峰期。

本试验采用了第二种方法。因为,这两种测定方法对于七叶树这样大粒、含水量高的种子来说,本试验认为,前一种方法的误差比较大,因为七叶树种子的特性决定其发芽时间是较长的,人为限定一个时间,不一定能把它的发芽高峰包括进去,而在发芽高峰到来之前,其发芽数的多少很随机。第二种方法就更科学,它直接把发芽高峰考虑进来,更能准确的恒定其种子萌发的整齐性(中山包, 1998; Khan, 1989)<sup>[93,94]</sup>。

从结果看,七叶树种子发芽不够整齐,这与其种子本身的不整齐性有关,七叶树种子个体上大小相差悬殊,从而影响到到种子发芽的整齐性。发芽指数和平均发芽速一样,综合了发芽率和发芽所用的时间两个因素来评定种子品质,本试验所得的数值进一步说明了,七叶树种子的萌发居于中等水平,这除了与七叶树种子独特的物理性状有关外,还与它的发芽类型有关,地下发芽型的种子一般需要比地上发芽型的种子更长的萌发时间

(邢世岩等, 1995)<sup>[55]</sup>。

2.1.2.4 影响种子发芽能力的因素

2.1.2.4.1 种子级别对发芽能力的影响

表(4) 种子级别与发芽能力的关系

Table (4) The reality rank is planted and the relation sprouting the ability

级别 Rank	平均直径 (cm) The average diameter	发芽率 (%) The rate of germination	发芽势 (%) The power of sprouts	平均发芽速 equal of speed of sprout	发芽指数 sp The index of sprouts
大	4.3	70.1	58.1	18.04	3.31
中	3.5	71.0	60.0	18.03	3.41
小	1.8	65.1	50.2	18.14	2.62

表(5) 种子级别与发芽率相关性方差分析

Table (5) kind solid rank and the rate of germination correlation analysis of variance

变异来源 Variance source	离差平方和 The dispersi on sum of squares	自由度 Degrees of freedom	方差 Variance	F F value	F0.05 (2,6)
组间	62	2	31	6.2*	5.14
组内	30	6	5		
总和	92	8			

设  $X_{A2}=70$   $X_{A3}=70$   $X_{A1}=65$ , 在不同水平间作 q 检验, 将各水平平均数按大小顺序排列, 见表 6

表 6 Table (6)

	$X_{Ai}-X_{A1}$	$X_{Ai}-X_{A3}$
$X_{A2}=71$	6*	1
$X_{A3}=70$	5	
$X_{A1}=65$		

表(7) 种子级别与发芽势相关性分析

Table (7) The analyse of correlation of sprouting power and the seed ranks

变异来源 Variance source	离差平方和 The dispersion sum of squares	自由度 Degrees of freedom	方差 Variance	F F value	F <sub>0.05</sub> (2, 6)
组间	168	2	31	17.99**	5.14
组内	28	6	4.662		
总和	196	8			

通过方差分析,我们可以发现,种实级别与发芽能力有显著的相关性。虽然大粒种子与中粒种子在发芽率上差异不明显,但二者与小粒种子的发芽率有显著差异。种子级别与发芽势之间也有极显著的相关性。

综合发芽率、发芽势、平均发芽速和发芽指数来看,种子的级别不同,其差异是很明显的。而四种指标的数值一致性的说明了:中粒种子的发芽能力最强,大粒种子次之,小粒种子的发芽能力远远低于前二者。这与前面我们分级别测定种子活力的结果是一致的,也是基于同样的原因,在此不重述。

综合以上分析,说明种子级别直接影响到种子的发芽潜力,而且这种影响是显著的,因此,在生产中,如果采用播种育苗的培育方式,播种前对种子的分级选择是必要的。同时,建议生产中尽可能选取直径在 2cm 以上的种子进行生产,这样才能保证较高的发芽率和出苗的整齐。

#### 2.1.2.4.2 不同层积处理对种子发芽能力的影响

影响种子生命力的环境因子,包括储藏环境的相对湿度和温度。种子是一种多孔毛细管的胶质体,有很强的吸湿能力,他能直接从潮湿的空气中吸收水气(徐本美等,1987;颜启传,1992)<sup>[60.72]</sup>。相对湿度越高,种子的含水量就增加的越快。在一定条件下,经过一定的时间以后,种子含

表(8) 不同层积处理对七叶树种子发芽的影响

Table(8) The influence of different treatments to germination of *Aesculus chinensis* seeds

处理 Treatment	天数 (d) Time	发芽率(%) Germination percent	开始天数 Starting day	结束天数 Ending day
冰箱层积	90	69	9	26
冰箱层积	50	27	15	62
冰箱层积	130	65	10	27
室外层积	50	22	13	51
室外层积	90	71	7	21
室外层积	130	69	8	23
室内干藏	30	0	—	—
室内干藏	20	2	19	—
室内干藏	10	11	9	43

水量不再增加。这时的种子含水量称为平衡含水量。如果储藏环境的相对含水量低于种子的平衡含水量，种子就会处于失水状态。相反，随着相对湿度的升高，和种子含水量的增加，就会增强种子的呼吸作用(郑光华, 1962)<sup>[90]</sup>，七叶树种子含水量高，易于失水而丧失生活力，所以，在层积处理过程中，保证适宜的湿度是很重要的，对于七叶树，成熟的经验是沙的含水量为其饱和含水量的60%。同时，种子的生命活动和温度有密切关系。对于一般的种子，储藏期间的适宜温度是0—5℃，尤其是七叶树种子属高含水量型的种子，它的储存温度最好不要低于0℃，否则易受冻或由于低温而引起环境湿度降低，导致种子失水而降低生活力。

从表(8)我们可以看出，冰箱层积和室外层积效果是基本相同的，稍有不同的是室外层积处理的种子裂口时间早，有部分种子在2月中旬开始裂口，3月初随着气温的回升，不必催芽处理部分种子已开始露白发芽。冰箱层积的种子在相同时间内裂口率低，若一直在冰箱内层积，直到5月初也会出现开始露白，缓慢萌发的情况。这种差别可能是两种储藏环境的

温度和湿度共同作用的结果。

七叶树种子层积处理时间超过 90 天, 种子可以具有较高的萌发率 (>65%), 发芽势较高。层积时间超过 4 个月, 萌发率反而稍有降低, 可能是由于该种子含水量高, 种皮透水性好, 太长时间的层积可能造成水分散失较多所致。而层积处理小于 60 天的种子只能部分发芽, 发芽进程慢, 发芽率低 (<30%)。室温条件下 (15~25℃) 进行干藏处理的种子, 在开始的第 10 天时除去外种皮, 种子保鲜效果很好, 但到第 20 天时, 种子开始出现明显的失水, 到第二年 2 月末, 种子内含物已完全硬化, 呈现干瘪缩小。原来饱满而后来干缩的七叶树种子浸种后也吸胀, 但是, 用 TTC 染色时没有一粒着色, 完全失去生活力, 说明种子一经失水便丧失生活力。但如果在持续的高温条件下由于种子的呼吸强度高, 物质代谢旺盛, 在高温高湿条件下种子往往容易发生霉变或腐烂, 指示种子的生活力下降 (张良诚, 1996; 赵习平, 1998)<sup>[60, 62]</sup>。所以, 综合考虑, 七叶树种子低温层积效果最好, 而且, 室外层积比室内冰箱层积裂口早, 不受室内空间的限制, 生产上常用此法。

## 2.2 苗木品质

七叶树的苗干直而且高, 苗干不是很粗壮, 枝叶茂盛, 色泽正常。从根系情况看, 该苗木为直根系, 侧根和须根都不多, 而且较短。出土 60 天, 主根长度可达 10cm 以上, 地径 0.6cm 左右。苗木干重平均为 9.08 克, 平均湿重为 31.119 克 (出土 70 天指标)。综合以上的苗木形态特征, 七叶树苗木健壮程度中等, 主要表现在苗木茎干不够粗壮, 根系不发达, 侧根较短。

下面我们结合七叶树品质的影响因素进一步了解七叶树苗木的品质。

### 2.2.1 种子级别与苗木品质的关系

## 2.2.1.1 种子级别与苗高及地茎的关系

表(9) 温室播种后第18天的指标

Showing (9) The quota of seeding sowed  
in hothouse after 18th days

直径 Diameter	样本数量 Sample quantity	苗 高/cm seeding High /cm		地 径/cm Ground stem/cm	
		总 计 Always Meter	平 均 值 Average value	总 计 Always Meter	平 均 值 Average value
D<2cm	60	420	7.0	18	0.3
D=2-4cm	60	690	11.5	27	0.45
D>4cm	60	810	13.5	30	0.50

表(10) 种子级别与苗高的相关性分析

Table (10) The correlation analysis of high and seed rank

变异来源 The variation source	离差平方和 The dispersion sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F	F0.01(2,6)
组间	66.5	2	33.25	711.9	10.9
组内	0.28	6	0.0467		
总和	66.78	8			

表(11) 种子级别与地径的相关性分析

Table (11) The correlation analysis of ground stem and the seed rank

变异来源 The variation source	离差平方和 The dispersion sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F	F0.01(2,6)
组间	0.065	2	0.0325	32.5**	10.9
组内	0.006	6	0.01		
总和	0.071	8			

分析表明，种子级别对苗高及地径的影响都是极显著的。这是因为，在播种育苗中，幼苗的状况在很大程度上受到种子本身性状的影响，前面我们已分析了不同级别的种子，其生活力是不一样的，中粒和大粒的种子表现优良；其二，七叶树的种子是大粒营养型的，其种粒内含营养物质的

多少，直接影响着对幼苗的营养供应如表(12)所示：

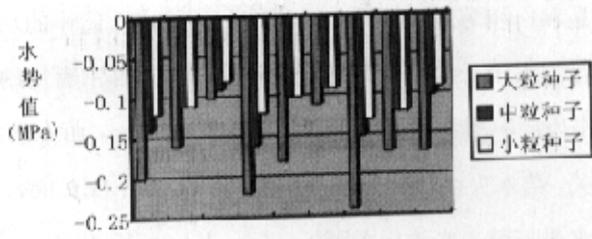
表(12)种子级别与种内营养耗尽时间

Table ( 12 )The correlation analysis of the exhausts time of nutrition inside the seed and seed rank

级别 Rank	留土种子鲜重(克) Stay the fresh heavy of soil seed			营养耗尽时间(天) The exhausts time of nutrition (d)
	出土 12 天 unearthed 12 days	出土 40 天 unearthed 40 days	出土 70 天 unearthed 70 days	
大	9.27	4.36	3.329	< 97
中	7.27	2.71	1.25	< 70
小	3.51	1.89	1.08	< 40

从表(11)所示数据我们可以发现,子叶中的营养耗尽时间(标准为种子几乎恒重)与种粒的大小有关,大粒种子营养耗尽的时间平均在 90 天以上,中粒种子在 70 天左右,小粒种子在 50 天以下。基于上述原因,所以,大粒种子萌发的幼苗最高最壮,小粒种子萌发的幼苗则最为细弱。

2.2.1.2 种子级别与所萌发幼苗的水势的相关性 图(12)



图(12)不同级别种子所萌发幼苗的水势情况

Fig(12)The flow of water circumstances of the seedlings sprouted by different rank seeds

水分是苗木不可缺少的物质,在木本植物中水分至少占 50%以上,(王沙生等, 1991)<sup>[61]</sup>。苗木生命活动在很大程度上决定于体内水分状况,可

以说苗木体内生理活动只有在水分参与的情况下才能正常进行。大量研究和实践表明，造林后苗木死亡的一个重要原因就是苗木水分失调。所以，将水分状况作为苗木质量的生理指标是很重要的。

水分是苗木体内变化最大，最易丧失，而且对苗木生命力有重大影响的因子，用水分来反映苗木的质量是可行的，但是以鲜重或干重为基础的含水量，由于影响因素较多，这种测定常常不是很有用的，含水量一般用组织烘干重的百分数来表示(张留庆等，1998)<sup>[77]</sup>。但是，因为随着时间而发生的干重变化常常不是与组织中实际水量的变化成比例的，在含水量上的变化不一定反应原生质水合作用或生理作用的变化(西北农业大学)<sup>[57]</sup>。如光合作用、呼吸作用和运输作用这些过程常常在组织干重上造成大的变化。因此，不能准确反应苗木体内水分状况，现已不再采用。

大多数生理学家用水势这个术语来描写土壤和植物的水分亏缺(郑然等，1981)<sup>[84]</sup>，水势是一个系统中水分的化学势与同一温度下纯自由水的化学势之差。水分的化学势是表示一单位质量的水分做功的能力，这个做功能力是和一相等质量的纯自由水在同一地点所能作的功相比较的。水势的测定在苗木由于水分缺乏而造成伤害方面是非常有用的，而且快速简捷。水势作为反应植物水分状况最主要的指标之一。苗木活力与其水分状况密切相关，苗木失水会降低水势(彭幼芬，1960; Bot. Rev, 1975)<sup>[39, 103]</sup>，苗木的含水量与苗木水势关系密切(Isr. J. bot, 1980-81)<sup>[102]</sup>。随着含水量的增大，水势逐渐升高，开始缓慢而后加快，这与苗木失水速率变化相一致。

从图(12)可以看出，大粒种子( )中粒种子( )小粒种子萌发苗的水势绝对值，也就是说大粒种子的平衡压最大，说明大粒种子的苗木体内的含水量最低，苗木木质化程度高，抗性强，对同期播种的苗木萌芽早，生

长快，这与其种子内部所含营养物质较多有关。同时也说明了大粒种子培育的苗木生长迅速，苗木干重与鲜重比大，苗木健壮。

### 2.2.1.3 种子级别与所萌发的幼苗的电导率的相关性(表 13、图 13)

从表 7 结果看, 中粒种子萌发的幼苗电导率最小, 小粒种子萌发苗电导率最大。根据植物组织水分状况以及植物细胞受损情况与组织的导电能力密且相关, 而且, 水分含量越高, 植物组织导电能力越强; 干旱以及任何环境胁迫所造成植物膜的损坏, 会使细胞膜透性增大, 对水和离子交换控制能力下降, 甚至丧失。因此, 通过对苗木导电能力的测定, 可在一定程度上反映苗木水分状况和细胞受害情况, 指示苗木活力。据此, 上表的结果可揭示中粒种子萌发苗最壮, 小粒种子萌发苗最弱。这个结果与表 7 的结果(大粒种子萌发苗最壮)有出入, 可能是因为苗木的导电能力还

表(13) 电导率的测定(单位: MS/cm)  
The table ( 13 ) measurement of specific  
conductance ( unit : MS/cm )

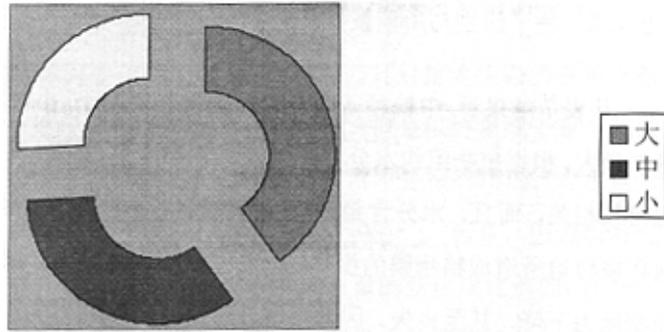
种子级别 The seed rank	萌发幼苗的相对电导(S1/S2 Seedling sprout first to conductance ( S1/S2 )
大粒种子	0.06080
中粒种子	0.05592
小粒种子	0.05633

DDS-307 型电导仪(上海精密科学仪器有限公司)

蒸馏水调仪器:003

受到测定时的温度、水分和测定部位的影响。但有一点还是可以确定的, 即小粒种子萌发幼苗的活力远低于其他二者, 这一点可以从其电导率远大于其他二者看出。

### 2.2.1.4 种子级别与苗木干鲜比重 图(13)



Picture (13) The ratio of the weight of dry and fresh of seedling of 70 days

从图(13)所显示的结果看,种子的大小与其萌发苗木的干鲜比重有直接的关系,其比值表现为大粒种子萌发苗干鲜比重最大,说明其萌发苗生长发育相对较快,木质化程度高;而小粒种子的萌发苗干鲜比重最小,因此,其苗木的含水量高,木质化程度低,抗性较差。这与我们在测水势试验中所得的结果是互相吻合的。

以上我们对七叶树种子级别与苗木品质的关系从苗高、地径、水势和电导率以及干鲜比重几个方面进行了相关性分析,分别从不同的角度对幼苗的品质进行评定,所得的结论基本一致,即大粒种子和中粒种子的萌发苗品质优良,小粒种子的萌发苗品质较差。这充分说明,种子级别对苗木品质是有影响的,从方差分析的结果看,这种影响是显著的,也正是由于这种影响的存在,导致了七叶树当年幼苗的分化。因此,在生产选种过程中,应把种子级别的影响放在首位考虑,尽力选择平均直径在2cm以上的种子,才能确保出苗的整齐、生长均匀,避免由于幼苗分化严重而带

表(14) 种苗生长方差分析 Table (郎奎键, 1987) <sup>[23]</sup>

Table( 14 ) seed and yangplant growth analysis of variance

不同层 The different layers	变异来源 The variation originates	离差平方和 the dispersion sum of squares	自由度 degree of freedom	方差 variance	F	F0.01(2,6)
积处理	组间	584	2	292	146	10.9
和种子	组内	12	6	2		
生活力	总和	596	8			
种子级	组间	0.0086	2	0.004	43**	10.9
别与	组内	0.0006	6	0.0001		
水势	总和	0.0092	8			
种子级	组间	0.00006025	2	0.00003012	27.04**	10.9
别与	组内	0.00006687	6	0.00001114		
电导率	总和	0.00006694	8			
种子级别	组间	0.0258	2	0.0129	43**	10.9
与干/鲜	组内	0.0018	6	0.0003		
比值	总和	0.0276	8			

来的缺苗、补苗的麻烦。

当然,对种子的分级应该慎重。由于种子大小和形状变异部分原因是由遗传造成的,所以对种子园种子的分级可能导致过渡的遗传分化及在分级后各部分内遗传多样性的损失 (Simak, 1982) <sup>[20]</sup>。

### 2.2.2 不同播种场所、不同播期与苗木品质的关系

表(15) 出苗后第70天的指标

Table (15) The quota of seeding 70 days after

	出苗率 (%)	苗高	地径	干重 (g)/鲜重 (g)	电导率	
水势	Rate of	Seeding ground	Ratio of the weight	Specific		
Water	Emergence	high	stem	of fresh and dry	conductance	
power						
温室翌春播种	69.8	26.0	0.80	0.25	0.05768	-0.12
大田翌春播种	70.7	24.5	0.81	0.27	0.06008	-0.15
大田当年播种	55.1	17.6	0.66	0.21	0.07320	-0.10

A—温室春天播

B—大田春天播种

C—大田秋天播种

表(16)不同播种条件与苗木品质的相关性方差分析

Table(16) The analysis of variance seeding property  
And different sowing condition

T	变异来源 The variation originates	离差平方和 the dispersion sum of squares	自由度 degree of freedom	方差 variance	F	F <sub>0.01</sub> (2, 6)
种子级别 与 出苗率	组间	457.15	2	228.575	550.12*	10.9
	组内	2.493	6	0.4155		
	总和	459.64	8			
种子级别 与 苗高	组间	120.42	2	60.21	143.36**	10.9
	组内	252	6	0.42		
	总和	122.94	8			
种子级别 与 地径	组间	0.0882	2	0.0441	12.97	10.9
	组内	0.0204	6	0.0034		
	总和	0.1086	8			

对上表作多重比较, 见表(17. 18. 19)

表(17)

	$X_i - X_c$	$X_i - X_A$
$X_B = 70.7$	15.6**	0.9
$X_A = 69.8$	14.7**	
$X_C = 55.1$		

$D_{0.05}(3, 6) = 1.62$   $D_{0.01}(3, 6) = 2.36$

表(18)

	$X_i - X_c$	$X_i - X_B$
$X_A = 26$	8.4**	1.5
$X_B = 24.5$	6.9**	
$X_C = 17.6$		

$D_{0.05}(3, 6) = 1.62$   $D_{0.01}(3, 6) = 2.37$

表(19)

	$X_A - X_C$	$X_A - X_B$
$X_A = 0.90$	0.24**	0.09
$X_B = 0.81$	0.15*	
$X_C = 0.66$		

$D_{0.05}(3, 6) = 0.146$     $D_{0.01}(3, 6) = 0.213$

我们可以看出, 温室播种与大田播种, 对苗木品质的影响是明显的, 前者的出苗率和苗高偏高, 而地径和干鲜比重后者偏高, 这只是表观特征的差别。从苗木电导率及水势的情况看, 温室播种的苗木电导率和平衡压较小。

再看不同播期的苗木, 当年播种苗的出苗率、苗高、地径、干鲜比的数值都小于翌春播种苗和温室播种苗, 苗木电导率和水势的数值也指示出当年播种苗的活力最差。

种子萌发时发生的一些主要生理变化是: 吸水后有机物转化和呼吸转旺, 随后胚开始生长。胚的生长是较简单的生理过程协调配合的结果, 是断定萌发的标志。当外界环境发生了变化, 影响到个别生理过程间的协调形式, 就必然反映到生长过程上来, 或者影响到生长的速度, 或是因其形态上的差异, 关系到幼苗齐整、匀称、健壮的问题。这些表观现象的背后, 便是苗木的生理指标的差异: 包括电导率、水势等。

种子萌发要求综合的外界条件, 除开极少数种子要求特殊的萌发条件外, 一般是适当温度, 足够的水分和空气, 任何一个条件得不到满足都不能萌发。萌发过程和幼苗生长的情况决定于上述条件的综合效应。上述条件中任何一个条件改变时, 都会给这一过程带来多方面的影响: 直接的或间接的、有利的或不利的。

影响萌发的一个重要条件就是温度, 因为植物只有在一定的温度范围内才能生长。当温度超过所需的最低限度, 生长随之加快起来, 直到生长

最快的速度；超过此温度后温度再增加，反而因其生长速度的急剧下降，到温度高限后，生长即停止。所以，单从温度情况看，温室的温度肯定要高于大田的温度，因此更利于胚的生长和种子的萌发（赵兰勇，1995）<sup>[87]</sup>。但是，也正是由于温室内温度过高，引起了幼苗生长过旺而不够健壮。特别是过高的夜温，往往更加强了光线不足的影响，促进植物徒长。而大田在初春温度是较低的，导致苗木生长较慢，也正是其生长的减缓，才使得其地径较粗，这样达到了培育壮苗的目的，增强对不良条件的抗性。关于这一点，从表中所显示的电导率和水势的数值也可以得到证明。因此，在北方，凡用保温方法育成的蔬菜、果树的幼苗，在移植以前一定要适当的降低温度<sup>[81]</sup>。对于植物的健康与强壮最适合的温度，我们称他为协调的最适点（张若惠等，1993）<sup>[83]</sup>。显然，协调的最适点对育苗实践意义更为重大，但测定协调的最适点比测定纯粹生理过程的最适点要困难得多。因为生长的协调与否不仅受温度的影响，同时也受光照、水分、矿质等条件的控制（杨守坤，1995）<sup>[85]</sup>。

再从湿度的角度分析，翌春播种与当年播种相比：首先，种子的发芽对环境条件是有要求的，发芽的第一个过程是吸水膨胀，此时水是基本条件。播种用的土壤土，其适宜的水量大约是其饱和含水量的60%，可以给种子供应水分。因此，温室播种和大田翌春播种都能保证种子萌发所需的水分供应。而当年播种的情况下，土壤含水少，种子经过一个冬季，也有水分散失。其次，当年大田播种的种子没有经过层积处理，其生理生化指标与经过层积处理地种子不在同一水平。其三，当年大田播种，种子所处的环境因子具不可控性，比如病虫害、人畜伤害等。以上这些因素不仅造成出苗率低下，而且间接的导致苗木品质的低下。

大田翌春播种与温室播种相比：因为昼夜的变温对许多树种种子的发

芽更为有利，国际种子检验协会的规程（1976），规定 190 多个种属的发芽温度中，约有 60%的种属要求给以 20-30℃的变温，也有少数种属要求给以 10-30℃的变温。大田处于自然状态下，白天和夜晚的温度是不恒定的，这样就提供了一个较大幅度的变温条件，而温室中昼夜温度的变幅是较小的，可能满足不了种子发芽所需的温差。

此外，在温室的微环境中，可能有些人为控制的条件是不适的，比如：浇水过多、种植盆的透气性差，都会影响氧气的供应以及呼吸时二氧化碳的排放，当二氧化碳的浓度累计到 17%，发芽就会受抑制；二氧化碳增加到 5%，种子就会窒息而死亡（邢世岩，1993）<sup>[53]</sup>。以上这些因素，造成大田播种比温室播种出苗率偏高。同时，也正是由于大田播种苗处于自然的环境中，难免会受到一些不可控的自然因素的干扰，比如空气湿度、温度、强风等，这种环境胁迫所造成植物膜的损坏，会使细胞膜的透性增大，对水和离子交换控制能力下降，因此表现为大田播种苗的水势偏低、电导率偏大。这种苗木活力的指示与我们所测得的苗高与地径的指标所反映的苗木状况是一致的。

综上所述，最佳的播种条件是大田春播。

### 2.2.3 断胚根处理对苗木品质的影响

七叶树的根发生在地下，是支持植物躯体、吸收水分与吸收养分的器官。至于地上器官，在一定条件下也吸收少量水分，但是对植物的水分供应来说，没有根那么重要。根生长在土壤中，它的周围环境中一般有充足的水分，在吸水过程中，起着决定性的作用。根系越庞大，其吸收水和无机盐的能力越强。因此，如何使根系更加庞大，成为许多专家学者探讨壮苗措施的焦点（曹帮华等，2000）<sup>[5]</sup>。

表(20) 不同发芽阶段断根对七叶树种子生长的影响

Table(20) The influence to growth of Aesculus chinensis seed after Radicle cutting at different germination stages

断前胚根长 (cm) Radicle length Before cutting	处理 Treatment	30 天后平均生长情况			
		苗高 (cm)	根茎 (cm)	茎高比	二级根数量
1.5	CK	24.4	0.50	0.016	5.14
	断 0.1	26.7	0.67	0.015	7.29
2.0	CK	23.1	0.48	0.019	3.11
	断 0.3	25.9	0.55	0.015	4.13
3.0	CK	25.4	0.49	0.018	4.98
	断 0.5	23.5	0.60	0.020	8.80
	断 1.5	21.3	0.68	0.020	6.84

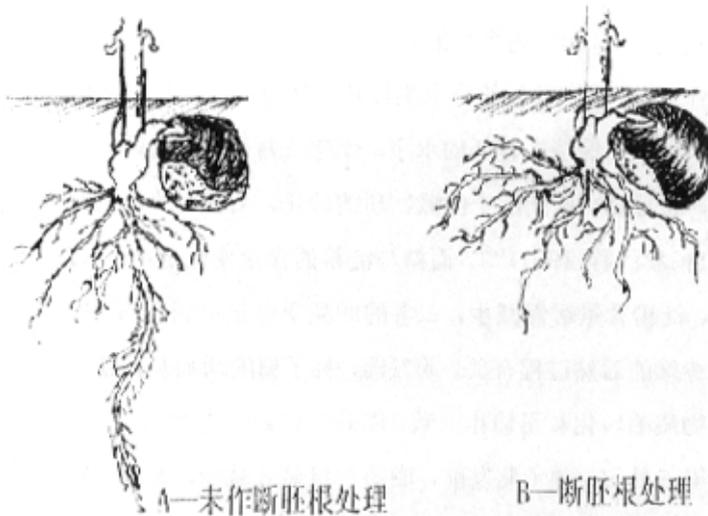
七叶树属于直根型树种，主根粗壮、伸直，侧根较短。为了提高根系质量，便于起苗和栽植、减少移栽缓苗期，根据经验，常在催芽后或播种同时，对长约 1.0cm 的胚根进行 0.2-0.3cm 的断胚根处理。关于断胚根处理的研究，邢世岩<sup>[54]</sup>和曹帮华<sup>[6]</sup>分别得出断胚根处理对苗高和地径影响不大，而江苏农学院试验证明断根处理三年、四年生苗木苗高和地径明显大于不断根的对照苗木。本试验在对七叶树根系特征充分了解的基础上，借鉴了以上的某些处理方法，作了如上研究(表 20)。

结果看，胚根小于 2.0cm 进行断根处理，可以使茎高生长显著增加；当胚根超过 3.0cm 时进行，不同程度断根处理，会抑制径的生长和侧根总长的增长，侧根的诱导促进不明显，而且断根程度越大，抑制作用越明显；试验还发现，几种处理都会使根径明显增大；此外还发现，若在根茎以上剪切，种子不能再发展，而当胚根长度小于 1.0cm 时，根茎部不明显，断根长度不好掌握，建议生产中采用胚根在 1.0-2.0cm 左右，视胚根长度断 0.1-0.5cm，能取得良好的效果。总之，发芽后期断胚根处理能够促进根系发育和苗高生长，但是，因为当胚根长超过 3.0cm 后，已开始木质化，这是断根处理麻烦，而且徒手断根后切口不平滑，影响根的再生能力。所

以生产中宜早断根处理，否则，一方面根太长不利于移栽定植；另一方面，容易形成窝根，影响以后的苗木质量。

我们还发现，断根的苗木，不仅侧根的长度明显加大，侧根数量也明显增加。在根的先端分裂最旺盛的部分叫做分生区，分生区后面表皮细胞能发生根毛，根毛能增大根的吸收面积。由于侧根数量的增加，根毛的发生量也随之大量增加。因此，断胚根处理无疑是大大的增加了根系的吸收面积。根系吸收面积的庞大使苗木生长更加迅速，因其能够从土壤中吸收大量的水分和养分。即使土壤中的水分和养分不太多，也能完成吸收任务。

请看图(14)所示的断根后根系所发生的变化：



图(14) 根

Picture (14) Root

### 3 讨论：

### 3.1 七叶树的种子特性

七叶树种子属大粒型，平均鲜重达 15.50 克/粒，平均直径达 3.2cm。同时，七叶树种子含水量极高，相对含水量在 60%以上，绝对含水量为 178.30%。同时，其种子种皮的透水性较强。这也就说明了为什么七叶树种子不耐储藏，极易失水而丧失生活力，或者在温湿环境中容易发生腐烂。鉴于这种特性，对该种子的贮存，保证水湿条件应该放在首位；同时，湿度过高，又易于使种子腐烂，所以贮存位置应选背风、背光的高地，同时要经常翻动，一则按时拣出霉烂种子，二则进行通风送氧释热。播种时，也应作高床点播，床高 15cm 左右，保证覆土潮润，又不能灌盖过度。另外，高含水量的种子在运输过程中还应注意轻拿轻放，以免造成损伤而腐烂。

### 3.2 七叶树种子层积过程中内含物的动态变化

在层积到 11 月后，种胚的形态生长基本结束，生长速度减慢，蛋白质含量随之下降，并保持在较低的水平，翌年三月初，萌发前，蛋白质含量开始增长，说明萌发初期由于储藏物质的转化，又有新的与萌发有关的蛋白质合成(杨孝汉等, 1991)<sup>[70]</sup>。而糖与淀粉的含量变化是：层积过程中，糖含量增加，淀粉含量缓慢减少，二者的增减变化是不同步的，这可能与七叶树种子特殊的后熟过程有关。萌发前，种子糖的增加及淀粉含量的减少与萌发时物质的转化和运输相一致。脂肪含量处于先增加，然后相对稳定，直至来年三月初，种子萌发前，脂肪含量显著减少，大部分转化为碳水化合物，供种子萌发时呼吸及苗木生长之用。

### 3.3 七叶树种子休眠成因及解除

#### 3.3.1 种子休眠成因

种子休眠是经过长期的自然选择保留下来的生物学特性，对植物本

身而言是一种保护（郭维明，1996）<sup>[12]</sup>。但也给实际生产带来诸多不便。探索解除休眠的方法，无疑具有很大的实践意义

### 3.3.1.1 七叶树种源与休眠

一般说来，种子休眠基本上是由所遭遇的环境条件和植物的遗传特性共同作用的结果（管康林，1984）<sup>[13]</sup>。树木与环境相互影响而统一为整体。休眠是不同生态型或种源对外界的重要适应性对策，种源影响种子休眠的有无和深浅，以及发芽的条件。掌握种子在休眠习性上的地理变异规律，是进行种子区划、鉴别、检验和播种育苗等工作的基础。但种子休眠习性与种源气候的关系，在不同树种间似乎存在很大的差异。白皮松的特点是，越是来自干旱地区的种源，种子休眠愈深，而华山松、油松则是条件较有利的地区休眠较强，条件差的反而弱。来自北方种源的美国白松种子，比南方种源的种子休眠要弱些；而糖槭、欧洲白蜡等种源愈往北，就愈比南方种源的种子休眠深。这种因种而异的特点增加了研究的复杂性。Mc Williams 认为，对于种群间种子休眠习性的差异，最可能的说法是为了适应当地生境，种子的发芽要求发生了相应的进化性变异（颜育民，1997）<sup>[73]</sup>。七叶树分布范围很广，从亚热带至温带地区都有分布，本试验采用河南产七叶树种子作单一试验，鉴于工作量太大，没有分不同产地不同种源作比较试验，所以，对于七叶树，其种子休眠可能因种源不同而存在的差异尚无法定论，有待于作更深入的研究。

### 3.3.1.2 七叶树种子休眠的原因

从其在层积过程中种子内含物的动态变化看，与存在后熟现象的银杏种子极为相似。内含物动态变化表明采收后，一直到11月初，种子一直处在成熟的生长过程中直到完成生长后熟，各内含物基本停止变化，处于相对稳定阶段。说明七叶树种子存在胚的后熟过程，这是导致其休眠产生

的原因之一，因此，可以说七叶树种子休眠的主要原因为了完成后熟。或者说，七叶树种子需经过一定阶段的生理后熟才能萌发。当然，目前许多实验证明（郭维明，1991；黄玉国，1987、1990；谭志一，1983，王文章，1979）<sup>[14.16.18.19.42.49]</sup>，种子休眠与内部的一些激素有关，生理后熟与其并不矛盾，因为后熟过程本身就是各抑制因子的解除过程。

研究认为（郑彩霞，1999；）<sup>[97]</sup>，胚的形态后熟又分为胚的发育不全和胚的分化不完全，前者指胚的体积较小，需温暖和低温处理完成种子发育，如水曲柳、欧洲白蜡、银杏等<sup>[42.43.86]</sup>；后者指胚没分化或分化不完全，完成后熟首先要创造条件促进胚的分化，然后在适宜条件下完成其继续发育，如刺楸、人参等种子。至于七叶树。通过解剖发现，从采下至层积结束，胚都表现充满状态，只是胚芽从无到有，因此，可断定其休眠原因为胚分化不完全。

（张良诚等，1981）<sup>[58]</sup>通过对种皮透水性的研究认为，红松种子休眠是因为外种皮阻碍种子吸水而使种子不能萌发。（谭志一等，1983）<sup>[33]</sup>通过夹破外种皮的萌发实验证明，红松种子休眠的能是机械或透气性障碍。张良诚、赖力等通过测定种子呼吸提出种皮的透气障碍可能是诱导休眠的主导因素<sup>[58]</sup>。王怡陶通过实验证明，外种皮对通透性均有一定的障碍，我们通过种子的吸水曲线看，种皮的透水性很好，所以，种皮的透水性不可能成为种子休眠的原因。从打破外源休眠的试验结果看，切皮试验主要是解除种皮对种胚的束缚作用，而浸水试验既解除了种皮的束缚作用，同时又可以溶解掉种皮中可能存在的抑制物质。结果是两种处理后，种子的萌发水平基本相同。

因此，综合以上分析，七叶树种子休眠是内外因素共同作用的结果，是复合型休眠。内源休眠的主要原因是种胚没有完全分化；外源休眠的主

要原因主要是种皮的机械束缚作用。所以，建议生产中打破休眠，促进萌发时可以综合考虑以上因素，解除内源休眠和外源休眠共同作用，会收到更好的萌发效果。

### 3.2.2 解除种子休眠的最佳方法

低温层积处理是生产实践中常用的打破休眠的方法，尽管对其中许多实质性问题的机理目前还不清楚。对七叶树种子进行室外层积、室内层积、冰箱冷藏和室内干藏四种处理，结果处理效果差异明显。室内暖层积对七叶树种子胚分化有良好效果，种子萌芽早（1月份以前部分萌芽），但发芽不整齐，且持续的高温高湿条件种子呼吸强度高，物质代谢旺盛，能量消耗多，不利于播种前储藏，而且已发生腐烂。试验表明室外层积和冰箱层积对保持种子生活力和发芽能力具有较好的效果。室外层积发芽率略高于冰箱低温层积。考虑到暖层积利于胚的分化生长，低温层积利于胚的发育、生活力的保存和发芽能力的提高，因此，推断实行变温层积或许会收到更好的效果。因为本研究没有做这个处理，应该是本文的不足之处。

同时还应考虑到种皮的机械阻碍作用。（徐本美，1986，1996）<sup>[51.54]</sup>用裂口处理对打破桧柏种子休眠收到满意结果，（谭志一等，1983）<sup>[33]</sup>也有试验说明，夹破红松休眠种子的外种皮萌发率可达58%~62%。包括用溶液浸泡的方法解除种皮休眠（王文章，1979；杨守坤，1995）<sup>[37.46]</sup>，本试验采用切皮法和温湿处理法，取得了较好的效果。

鉴于七叶树种子是复合型休眠，所以，在生产催芽过程中，应综合考虑，采取恰当的技术处理手段，以保证较高的萌发水平。

### 3.3 如何提高种子萌发水平及苗木品质

本试验从不同的种子级别、不同的层积处理、不同的播种时间和不同的播种环境以及断根壮苗等诸多因素切入，综合种子吸水情况、活力、发

芽率、发芽势、平均发芽速、发芽指数以及萌发苗的苗高、地径、电导率、水势、干鲜比重等各项指标，深入研究了影响七叶树种子萌发及苗木品质的因素，对这些因素作综合分析，结果发现在生产选种中，应选平均直径在 2cm 以上的种子，才能保证其具备良好的遗传性状，保证发芽潜力。在对种子进行层积过程中，最好的层积方式是秋天采收后立即去果皮野外挖坑沙藏，以保证种子能保持较高的生活力，为萌发提供良好的生理准备。对于播种条件来说，建议生产上采用春天大田播种，为种子提供最适宜的萌发条件。断根处理对七叶树壮苗有一定的效果。建议生产中采用胚根在 1.0-2.0cm 左右，视胚根长度断 0.1-0.5cm，能取得良好的效果，明显扩大根系有效吸收面积，提供矮而壮、根系发达的苗木，便于起苗移栽，提高成苗率，提高生长速度，尽快扩大七叶树的应用范围，丰富我国北方城市园林景观。

### 3.4 种子发芽

根据 GB2772-1999《林木种子检验规程》所规定的大、中粒种子发芽试验，一般用沙基发芽床作为传统的发芽方法。沙基发芽床一般保水效果好，但在不透水的发芽容器内用沙作发芽基质，水分不好控制，不但容易造成积水或过干，而且种子埋在沙里不容易逐日观察统计。本试验采用改进的沙基发芽床，将种子半埋于沙基，经常喷水，保持种子表面湿润，效果良好。试验中还采用改进的滤纸发芽床，在培养皿底部垫一层海绵保水，其上再铺两层率纸，摆种后再盖一层率纸，盖上盖后放置于光照发芽箱内发芽。这两种发芽方法对于七叶树种子发芽都取得了良好的效果。类似的方法也有学者进行过探讨研究，黄玉国在研究刺楸种子休眠和发芽<sup>[16]</sup>问题<sup>[18]</sup>时，将摆有种子的培养皿倾斜一定的角度，这样可以使种子由于向地性，胚根向下生长，不弯曲，容易测量，减少了误差，效果很好。这些

方法的摸索和借鉴，给研究带来很大的方便。同时，研究方法的改进，时的研究结果更准确和科学。

#### 4 结论

七叶树种子具有独特的形态特性，含水量高达 60%以上，种子大型，平均直径达 3.2cm, 而且个体间大小相差悬殊，最大粒种子和最小粒种子的平均直径相差 3 倍之多，种子的个体分化导致了种子活力的差异和幼苗的分化。

七叶树种子是淀粉型，其含量占干重的 50%以上。

七叶树种子含水量高达 60%以上，并具有较强的吸水能力，主要是因为其种皮的透水性能良好，也正因如此，导致种子不耐储藏。

在低温层积阶段，脂肪、蛋白质与淀粉含量缓慢降低，总糖持续增加，直到胚完成后熟，休眠解除，蛋白质含量缓增，淀粉缓降、脂肪含量突降，总糖含量增加，种子进入萌发阶段。

七叶树种子的休眠原因是多方面的,既存在生理后熟(胚芽分化不完全), 又有种皮的机械束缚作用, 是二者共同作用的结果, 因此属于内源—外源复合休眠类型。因此, 在生产催芽过程中, 应充分考虑其休眠特性, 采取恰当的催芽方式。

从生活力和发芽率、发芽的整齐度看, 七叶树种子的品质中等, 这主要是由七叶树种子独特的物理特性决定的。即高含水量和种皮的透性导致储存过程中生活力的降低, 种子个体差异造成较低的发芽势和发芽速度。因此, 生产中选种和恰当的层积手段是很重要的。

打破种子休眠, 采用露天沙藏 3~4 个月, 即经过胚的后熟和种子的浅生理休眠两个不同的阶段, 种子便具有了较强的发芽能力。同时, 为了

打破种子的外源休眠，可以采用物理手段，如：浸切皮法，浸水法、酸性溶液处理等。

七叶树种子的发芽类型为地上发芽型，即发芽后，子叶不出土，留在土壤中为苗木提供养分。因此，七叶树苗木在生长的初期阶段，其长势受种子的影响很严重，种子的分化会导致幼苗的分化。

为了解决生产中出苗不整齐的问题，按级别选种是必要的，因为种子级别与种子活力有相关性，表现为大粒种子和中粒种子的活力较强，小粒种子的活力较弱。当种子平均直径 $<2\text{cm}$ 时，种子的活力将受到严重的影响。又七叶树种子级别对种子发芽能力有显著的影响，中粒种子的发芽能力最强，表现为发芽率高，发芽齐整。大粒种子稍次之。当平均值径小于 $2\text{cm}$ 时，种子的发芽能力显著降低。所以，生产中选中应尽可能选直径在 $2\text{cm}$ 以上的种子，才能保持较高的萌发水平。

为了使种子具有较大的发芽潜力，应慎重选择层积方式。室外低温层积比冰箱层积效果好，冰箱层积比室内暖层积效果好，而室内干藏的种子，未及一个月便由于严重失水而完全丧失发芽能力。层积的时间过长，会因种子失水而降低生活力，时间太短（低于2个月），则种子可能不能完成胚的后熟，也会影响萌发水平。所以，层积时间在2~3个月为佳。

提高苗木品质，也应注意选择大中粒的种子进行播种，因为中粒种子与大粒种子的萌发苗品质优良，同期播种苗表现萌芽早，木质化程度高，抗性强，小粒种子的萌发苗品质较差。

提高苗木品质，还应注意选择最佳的条件（播种时间和播种场所）春播好于秋播，大田播种好于温室播种，所以，生产上宜采用翌春大田播种的方式。

断胚根处理对七叶树壮苗取得了良好的效果。建议生产上选择胚根长

度在 1.0~2.0cm 的种子, 根据情况断根 0.2~0.5cm 效果最好。

七叶树种子在出土后, 种内营养耗尽的时间与种粒的大小有关, 大粒种子营养耗尽的时间在 3 个月以上, 小粒种子在 2 个月以下, 营养耗尽的平均时间在 70 天左右。

### 参考文献

- [1] 查振道等, 七叶树育苗试验. 陕西林业科技, 2001, 2: 40~42
- [2] 陈彩霞, 王九龄, 智信. 国内外红松种子休眠与催芽问题研究动态[J]. 世界林业研究, 1997, 5: 3~9
- [3] 曹帮华, 李玉敏, 周松海. 银杏种子萌发生理的初步研究[J]. 山东林业科技, 1995, 1: 11~14
- [4] 曹帮华, 蔡春菊, 银杏种子贮藏期间外部形态与内部物质的变化[J]. 泰安业林科技, 2000. 2: 15~18, 26
- [5] 曹帮华, 蔡春菊, 银杏种子生理的研究进展[J]. 山东林业科技, 2000, 1: 40~42
- [6] 曹帮华, 蔡春菊. 断胚根处理对银杏种子萌发及幼苗生长的关系[J]. 山东农业科学, 2003 (定稿)
- [7] 付家瑞, 种子生理[M]. 科学出版社, 1985
- [8] 范国强, 廉秀容, 不同品种银杏种子成分分析[J]. 经济林研究, 1998, 16 (1): 29~30
- [9] 高贵明, 孙世正, 刘涌涛, 银杏播种育苗技术的研究[J]. 河北林业科技, 1998, (2): 4~5
- [10] 管康林, 树木种子休眠特性的研究综述[J]. 浙江林学院学报, 1989, 3 (2): 99~109
- [11] 管康林. 略述种子休眠与萌发研究中的几个问题[J]. 种子, 1989, 1: 46~49
- [12] 郭维明, 李纬, 郭迁翹. 水曲柳种子后熟期间内源抑制物的特点及其与更新的关系[J]. 东北林业大学学报, 1990, 19 (4): 14~22
- [13] 管康林. 略述种子休眠与萌发研究[中的几个问题[J]. 种子, 1984, 1: 46~49
- [14] 郭维明, 李纬, 郭迁翹. 水曲柳种子后熟期间内源抑制物的特点及其与更新的关系[J]. 东北林业大学学报, 1990, 19 (6): 44~52
- [15] 火树华. 树木学[M]. 北京: 中国林业出版社. 1992
- [16] 黄玉国. 抑制物质在刺楸种子休眠中的作用[J]. 东北林业大学学报, 1987, 15

(2): 18~23

- [17] 侯元凯等, 新世纪最有开发价值的树种——七叶树, 中国环境科学出版社, 2000, 1
- [18] 黄玉国, 刺楸种子中性与酸性抑制物质的研究[J]. 植物学报, 1987, 29 (3): 283~292
- [19] 黄玉国, 刺楸种子层积过程中内源激素的动态变化及激素在种子休眠中的作用 [J]. Bullion of Botanical Research, 1990, 10(4):121~128
- [20] 湖南省林业学校, 森林生态与经营学. 中国林业出版社, 1998, 1:40~41
- [21] 上海植物生理学会. 植物生理学试验手册[M]. 上海科学技术出版社, 1985
- [22] 科学出版社, 植物与水分关系研究法. 1986, 1
- [23] 郎奎键, 唐守正. 系列程序及数理统计、调查规划、经营管理[M]. 北京: 中国林业出版社. 1987
- [24] 李正理, 张新英. 红松后胚离体培养的研究 具雌配子体与离体后培养的比较观察. 植物学报, 1962, 10:179~185.
- [25] 赖力, 郑光华, 红松种子休眠与种皮的关系. 植物学报, 1989, 31(12):928~933
- [26] 赤霉素对蛋白质合成的调节控制作用[J]. 植物生理学通讯, 1983, 5: 21~26
- [27] 李中岳等, 世界著名观赏树——七叶树. 中国林业, 2001, 8:24
- [28] 李霆等, 美国木本植物种子手册. 中国林业出版社, 1984
- [29] 联合国粮食及农业组织, 林木种子处理指南. 北京出版社, 1991
- [30] M. G. R. 坎内尔 F. T. 拉斯特, 树木生理与遗传改良. 中郭林业出版社, 1981, 1
- [31] 倪德祥, 邓志龙. 植物激素对基因表达的调控[J]. 植物生理学, 1992, 28 (6): 461~466
- [32] 南京林业学校, 植物学. 中国林业出版社, 1985, 6:1
- [33] 孙时轩等. 林木种苗手册. 中国林业出版社, 1985, 1

- [34] 森德典著[日], 彭幼芬译. 种子休眠与萌发的生理生化[M].
- [35] 北京林业大学. [J]生物学报, 自然科学出版社 1998 33 (3): 18-19. 2(), 2000  
13(5):53—54.]
- [36] 石浩来. 青石山区主要经济树种抗旱性及旱作栽培措施的研究[M]山东农业大学硕士论文, 1996
- [37] 彭幼芬. 世界林木种子生理研究的概况和趋势[J]. 世界林业研究, 1998, 2:8~12
- [38] 彭幼芬, 黎盛隆, 刘厚芬. 种子生理学[M]. 中国工业大学出版社, 1994
- [39] 彭幼芬. 微量元素促进樟木种子发芽和幼苗生长研究初报[J].  
林业科学, 1960, 2:106~113
- [40] 山东农业大学植物生化教研室. 生化实验技术[M]农业出版社, 1995
- [41] 山东农业大学植物科学系. 植物生理实验技术[M], 2000.
- [42] 谭志一, 董愚得, 房耀仁, 高荣孚. 红松种子休眠与脱落酸及外种皮的关系.  
中国科学, 1983 (B), 9:816~822.
- [43] 唐守正. 多元统计方法[M]. 北京:中国林业出版社. 1984
- [44] 唐锡华. 关于种子的生理差异和胚的发育[J]. 种子, 1985, 3:1~7.
- [45] 陶嘉龄. 种子生理和种子标准[M]浙江农业大学, 1981
- [46] 王怡陶. 红松种子休眠、后熟和萌发生理的研究. 东北林业大学硕士论文, 1991
- [47] 王文章, 陈杰, 刘恩举. 红松种子休眠与种皮的关系. 东北林业大学学报,  
1986, 4:83~86.
- [48] 王文章, 刘恩举, 陈杰. 红松种子抑制物的提取、分离和鉴定[J].  
中国科学, 1980, 9: 899~906
- [49] 王文章. 红松种子抑制物的初步研究[J]. 植物生理学报, 1979, 4: 343~351
- [50] 王怡陶. 红松种子休眠、后熟和萌发生理的研究[M].

东北林业大学硕士论文, 1991

- [51] 王沙生, 高荣孚. 植物生理 (第二版). 北京中国林业出版社, 1991
- [52] 王炎, 赵敏, 金嘉林. 北五味子种子休眠特性及内源抑帛蛾质的研究[J].  
中国中药杂志, 1997, 20 (1): 10~12
- [53] 邢世岩. 银杏丰产栽培[M]. 济南科技出版社. 1993
- [54] 邢世岩. 银杏优良单株种子品质的研究 I: 形态品质[J]. 落叶果树, 1993, 3: 15~18
- [55] 邢世岩. 银杏优良单株种子品质的研究 II: 生理品质[J]. 落叶果树, 山东林业  
科技, 1995, 4: 17~20
- [56] 邢世岩, 郭成胜, 韩峰. 银杏种子品质与苗木生长特性的研究[J]. 林业科技通  
讯, 1997, 6: 4~7
- [57] 西北农业大学主编. 基础生物化学实验指导[M]. 陕西科学技术出版社.
- [58] 西北农林科技大学林学院. 七叶树提取物抗氧化性能的研究 1998, 3
- [59] 徐本美, 顾增辉, 龙雅宜. 金丝桃种子发芽生理的研究[J]. 种子, 1986, 6: 36~  
38
- [60] 徐本美, 龙雅宜. 种子最适萌发温度的探讨[J]. 植物生理学通讯, 1987, 3: 34~  
37
- [61] 徐本美. 目前我国种子活力研究和应用的进展[J]. 种子, 1986, 3: 8~12.
- [62] 徐本美. 论木本植物种子休眠与萌发的研究方法[J]. 种子, 1997, 4: 56~58
- [63] 项殿芳, 张培玉, 齐永顺, 郭明军. 山楂种子休眠与萌发生理的研究 IV: 山楂  
种子内果皮及种皮与种子休眠的关系[J]. 河北农业大学学报, 1997, (11) 2:  
1~5
- [64] 西北农林科技大学林学院. 七叶树提取物抗氧化性能的研究, 1998. 1
- [65] 杨守坤. 不同处理及播种方式对银杏种子发芽率和保存率的影响[J]. 湖北林业  
科技, 1995, 1: 13~14

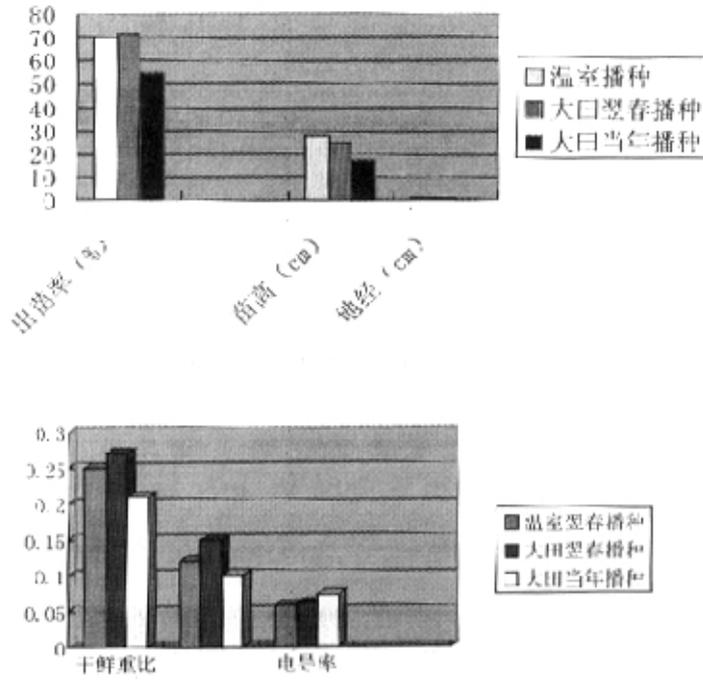
- [66] 颜启传. 四唑测下种子生活力手册[M]. 北京：农业出版社, 1992
- [67] 杨秀伟等, 应用 2DMR 技术研究院七叶树皂甙元的结构;
- [68] 杨晓玲, 张培玉, 项殿芳, 齐永顺. 山楂种子休眠与萌发生理的研究 IV: 种壳种皮透气性与种子休眠[J]. 河北农业大学学报, 1997, (11) 4: 26~29
- [69] 杨晓玲, 张培玉, 齐永顺, 项殿芳. 山楂种子休眠与萌发生理的研究 IVV: 层积、GA、及 ABA 处理对山楂种子多酚氧化酶活性的影响[J]. 河北农业大学学报, 1998, (12) 4: 69~71
- [70] 杨孝汉, 胡婉仪, 孙湘宁. 玉兰种子休眠解除过程中的生物大分子的变化[J]. 园艺学报, 1991, 18 (1): 75~80
- [71] 袁军辉等. 七叶树育苗试验与调查. 山西林业科技, 2001
- [72] 颜启传编著. 种子检验的原理和技术[M]. 农业出版社, 1992
- [73] 颜育民. 种子休眠综述[M]. 种子, 1997, 1: 30~34
- [74] 杨秀伟等, 应用 2DNER 技术研究原七叶树皂甙元的结构
- [75] 中国林业出版社, 贵州七叶树科植物简志, 2001
- [76] 日本七叶树化学成分研究 I. 七叶皂甙 Ia 和 Ib 的分离和鉴定
- [77] 张留庆、李清坡、郎建民 晾晒对油松侧柏苗木活力的影响[J] 河南农业大学学报, 1998 32 (4): 410~414
- [78] 张培玉, 杨晓玲, 项殿芳, 齐永顺. 山楂种子休眠与萌发生理的研究 I: 采收期与种子休眠[J]. 河北农业大学学报, 1996, (10) 3: 1~5
- [79] 张良诚, 郭维明, 陈永盛. 红松种子后熟生理的实验研究[J]. 东北林业大学学报, 1981, 4: 19~34
- [80] 张良诚等. 红松种子休眠与层积生理的初步研究. 中国植物生理学会第一届年会论文集: 中国植物生理学会编, 1996 3: 53~54.
- [81] 中央人民广播电台农村部, 科学种树一百问, 中央广播电视出版社, 1985, 1

- [82] 赵习平, 常振田, 杨莉. 处理方法对银杏种子发芽率的影响初报[J]. 林业科学, 1998, 13 (4): 343~346
- [83] 张若蕙, 刘洪谔, 王祖谭. 中国主要树木幼苗形态. 科学出版社, 1993
- [84] 郑然. 需低温林木种子休眠萌发的研究[M]. 北林大博士论文, 1991
- [85] 郭明军, 杨晓玲, 张培玉, 项殿芳. 山楂种子休眠与萌发生理的研究 V: 山楂种子 POD 活性及其同工酶的变化与种子休眠的关系[J]. 河北农业大学学报, 1997, (11) 2: 1~5
- [86] 张培玉, 杨晓玲, 项殿芳, 齐永顺. 山楂种子休眠与萌发生理的研究会 II: 层积温度与种子休眠[J]. 河北农业大学学报, 1996 (10) 4: 21~25
- [87] 赵兰勇, 王功勋. 催芽温度与种粒大小对银杏种子发芽能力的影响[J]. 陕西林业科技, 1995, 4: 16, 35
- [88] 郑相穆, 周阮宝, 谷丽萍. 凤丹种子的休眠与萌发特性[J]. 植物生理学通讯, 1995, 31 (4): 260~262
- [89] 郑光华, 史忠礼. 实用种子生理学[M]. 北京: 农业出版社 1993, 310
- [90] 郑光华. 几种园林植物种子休眠与萌发生理的研究[J]. 园艺学报, 1962, 2 (3): 309
- [91] 郑光华. 种子生理的研究[J]. 植物生理学通讯, 1979, (2): 7~14, 26
- [92] 邹德曼. 种子生理讲座[M]. 种子, 1985, (1、2、期连载)
- [93] 中山包 (日). 发芽生理学[M]. 农业出版社, 1988
- [94] Khan 主编, 王沙生, 洪铁宝, 高荣孚等译. 种子休眠与萌发的生理生化变化[M]. 北京: 农业出版社, 1989, 7
- [95] 郑万均, 中国树木志[M]北京: 中国农业出版社. 1983
- [96] 中国林学会等. 第一次全国种子生理学术会议论文集[M], 1987
- [97] 正彩霞. 洋木白蜡种子休眠过程中的生理生化[J]. 北京林业大学硕士论

文, 1999

- [98] 郑万均. 中国树木志[M]. 北京:中国林业出版社. 1983
- [99] 邹琦主编. 植物生理生化实验指导[M]. 中国农业出版社, 1995
- [100] Asakawa, S. On the water absorption by *Pinus koraiensis* seeds, 1956 .
- [101] Khan, A. A. Primary, preventive and permissive role of hormones in plant system[J]. Bot. Rev, 1975, 41:317~408
- [102] Beardsell, D. And Mullet, J. Seed Germination of *Eucalytus Pauciflora* from Low and High Altitude Population in Victoria [J]. Australia Journal of Botany, 1984, 32(3):475~480
- [103] Come. D, Problems of embryonic dormancy is exemplified by apple embryo[J]. Isr. J. Bot, 1980-81, 29:145~146
- [104] Mainthani. G. G. Indian Forester[J]. 1991171:853

附录(1)



图(1)不同播种条件下苗木的指标

Picture (1) difference is sowed under the condition  
quota of nursery stock

### 致 谢

在本论文的完成过程中,受到许多单位和个人的大力支持和帮助,在此一并表示深深的谢意!

尤其要表示感谢的有:

我的导师赵兰勇老师、邢世岩老师

我的同事孙居文、张友鹏、白世红老师

再一次表示感谢!

攻读学位期间发表论文情况

1. 七叶树种子特性及发芽品质研究. 山东林业科技 2003. 2