

# 杉木发育生理研究\*

管康林 严逸伦 郑 钢

(浙江林学院, 临安 311300)

**摘 要** 对杉木种子园几类无性系的株型, 光合特性和呼吸酶类(过氧化物酶、过氧化氢酶和脱氢酶)活性作了观察; 对花芽形成, 开花结实与胚胎发育过程中的物质代谢, 包括碳氮比, 大分子物质(DNA、RNA、蛋白质和脂类)和呼吸代谢中间产物(氨基酸、有机酸和糖类)的变化进行了研究, 揭示出杉木有性过程的生理活动与某些遗传性的相关性。

**关键词** 杉木; 发育; 生理学; 光合作用; 核酸; 脂类; 酶; 中间代谢

**中图分类号** S791.27; S718.43

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)种子园的主要任务是为杉木营林提供高产优质的种子。近20 a来, 我国杉木种子园在优良单株选择、子代测定、开花习性、球果发育、施肥与产量等方面做了大量工作并取得很大的进展<sup>[1~7]</sup>。

杉木是雌雄同株的单性花植物, 雌雄球花(♀♂)有着明显的树冠上下层分布, 而且不同无性系间的雌雄花比例(♀/♂)差异性很大, 故有多雌花株和多雄花株之分。这些性状的表现可能有其复杂的遗传因子和生理功能的调节。为此, 我们对高、中、低产量的3类无性系植株的生育株型, 侧枝的光合特性, 过氧化物酶同工酶谱, 过氧化氢酶、脱氢酶活性, 成花与碳氮比关系进行比较观察与分析。同时, 我们还研究了杉木的花芽形成, 开花结实, 胚胎发育过程中的细胞组成物质——核酸(DNA、RNA), 蛋白质, 脂类和呼吸代谢中间产物——氨基酸, 有机酸和糖的成分与含量变化, 以揭示杉木有性过程的物质代谢的基本情况和有关无性系之间的发育生理问题。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究材料

1984~1986年嫁接的横畈林场杉木一代种子园, 1991年平均种子产量 90.0 kg/hm<sup>2</sup>, 球果出子率5.0%。供试样株 4个无性系, 编号33、47、60和61号, 各3株, 共12株。另外, 校内试验地有31株3~5年生嫁接杉木, 是1992和1993年2月从横畈林场移植的。供处理、观察和

收稿日期: 1993-11-22

\*浙江省科委资助项目

取样分析用的有33、35、61、66号等10个无性系。用0.1%硝酸钾和尿素进行叶面喷雾,经2,5和10d后分别取样作氮素转化效应的氨基酸层析鉴定。

## 1.2 测试方法

光合强度用Li-6000型手提式光合测定仪测定。样品为中部1年生侧枝。叶绿素含量采用混合液浸提法浸提24h后用722分光光度计在645nm和663nm处读取光密度值(OD),然后按Arnon公式计算叶绿素总量和a、b值<sup>[8]</sup>。

过氧化物酶同工酶活性采用常规的聚丙烯酰胺垂直薄板电泳分离技术。染色剂为醋酸联苯胺<sup>[9]</sup>。过氧化氢酶活性为改进的硫代硫酸钠滴定法<sup>[10]</sup>。脱氢酶活性用0.5% TTC液着色组织5h后,用丙酮研磨提取,在550nm下比色测得光密度。以上测试样品为侧枝顶端10cm段以内的芽、茎和叶。

核酸(DNA、RNA),蛋白质和脂类组分分析按朱治平等方法<sup>[11]</sup>。每份鲜样0.5g,用冷冻甲醇10ml研磨,以日立20PR52D高速冰冻离心机4000r/min离心10min,随后按程序分离提取与测定。

游离氨基酸、有机酸和糖的纸层析技术按管康林方法进行<sup>[12]</sup>。测试的鲜样0.5g,用50%乙醇提取,纯化,点样,层析剂分离推动两次,随后显色鉴定。氨基酸再用50%乙醇洗脱鉴定的成分点在564nm下测定光密度,与对照样品换成绝对值。此外,氨基酸采用日立835-50氨基酸自动分析仪测检。总糖在淀粉酸水解后按恩酮法测定。用凯氏法测定蛋白氮含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同无性系的遗传生理性状

2.1.1 植株的形态与开花结实特性 在横畈林场一代杉木种子园中,我们选择33号多雄花低产型,47号、61号中产型和60号高产型的代表株,记录了生长形态和生育特性的资料(表1)。

表1 4个无性系植株的生长与生殖特性的比较

Table 1 Comparison of growth and reproductive traits among 4 clones

| 横畈种子园<br>无性系号 | 株高<br>/m | 茎粗<br>/cm | 树冠 侧枝 叶色                           | ♀/♂      | 1992年<br>球果数 |
|---------------|----------|-----------|------------------------------------|----------|--------------|
| 33-3          | 5        | 10        | 冠幅小,1级侧枝短小,3级侧枝多,长度约15cm,叶色深       | <0.1     | 4            |
| 47-2          | 6        | 12        | 树冠伞形,1级侧枝壮,3级侧枝稀疏,叶色浅              | 0.8      | 91           |
| 61-2          | 8        | 14        | 树冠大,1级侧枝特长,轮枝间隙大,小侧枝较长(24cm)而疏     | 0.6      | 59           |
| 60-1          | 6        | 12        | 树冠伞形,1级侧枝长,轮枝间隙大,2~3级侧枝均匀分布,叶色硬而色深 | {2.0~3.0 | 159          |

从表1可见,高产株树冠大,各级侧枝空间分布适度,雌花多而♀/♂值大,叶色深,如60号。中产型植株树冠大,1级侧枝生长粗壮,中下部2~3级侧枝稀疏而上部较密,♀/♂值

在0.5~1.0之间,属于正常型,如47号和61号。低产型33号,树冠偏小,分枝多短小,3级侧枝茂盛,雄花很多而雌花极少。有些低产株生长健壮而迅速,却很少开花结实。

**2.1.2 树冠球果结实量对花芽发生的调节作用** 杉木有性过程从花芽形成到果实成熟跨越2a,而每年10月既是雌花芽形成之时又是球果趋向成熟之际。所以,球果结得多的树冠,新梢生长受到一定抑制,当年花芽必然减少,或者反之。例如,试验地43号5年生嫁接株树冠2~3轮枝紧凑,全部结果,当时仅有22%果枝再发,叶芽占59%而雌花芽占41%,无雄花芽。然而61号5年生无性系树冠1级侧枝长,2级侧枝有52%结果,而当时有75%果枝再发。这表明树冠侧枝生长性状,结球果多少对当年秋季花芽发生起调节作用。这就是大小年形成的主要原因。

**2.1.3 叶绿素含量与光合速率** 在杉木生长的初夏期(4~5月)对不同无性系的1年生侧枝的叶片叶绿素含量进行测定。结果表明它们的叶绿素总量变动幅度在2.45~2.93 mg/g·DW之间(表2)。其中,高产株60号为高。经方差分析,无性系间单株叶绿素总量的 $F$ 值为0.04 ( $F_{0.05} = 8.64$ ),差异不显著。它们的叶绿素a/b值在2.39~2.85。一般,阳性树种a/b值大于阴性树种。杉木属于中性偏阳树种。33号、47号和61号的a/b值略大于60号,而60号总量大于其他号。这似乎认为60号株的叶片结构对光照强度有较大的适应性。一般叶绿素含量高,光合速率也高,有一定相关性。如60号的结实量也高(表1)。61号属中产类型,叶绿素含量中等,但光合速率偏低。33号的叶绿素含量和光合强度均属中等,但它属于多雄花型。所以,在杉木种子园中,想从叶片叶绿素含量、光合速率与球果产量上找到相关性是不容易的。即便是速生树种也并不完全一致。

**表2 4个无性系的叶绿素含量与光合速率**

Table 2 Chlorophyll content and photosynthetic rate of 4 clones

| 无性系号 | 叶绿素总量<br>/mg·g <sup>-1</sup> ·DW | 叶绿素<br>a/b值 | 净光合速率<br>/CO <sub>2</sub> mg·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> |
|------|----------------------------------|-------------|---|
| 33   | 2.51                             | 2.63        | 1.79  |
| 61   | 2.52                             | 2.70        | 1.33  |
| 47   | 2.45                             | 2.85        | 2.10  |
| 60   | 2.93                             | 2.39        | 2.34  |

**2.1.4 过氧化物酶同工酶** 从多雄花的33号和多雌花的60号营养枝和成花枝顶梢(5cm段)在3~5月间进行的过氧化物酶同工酶的酶谱比较观察表明(图1),两个无性系在A区仅有3条窄带。在B区,60号营养枝和雌花枝有5条带而雄花枝有7条带,其中两条宽带比前二者色深,即活性高。33号两类枝叶均有8条谱带,其中有两条约高活性宽带。

过氧化物酶同工酶在不同组织中出现差异,是环境适应与生理功能变化的结果。33号的

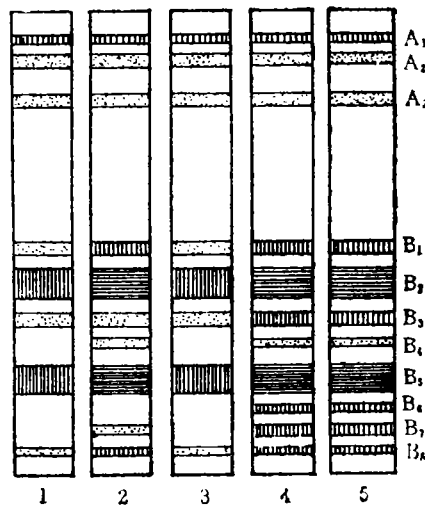


图1 两个无性系不同生育枝的过氧化物酶同工酶谱

1、2、3分别为60号营养枝、雄枝、雌枝,4、5为33号营养枝、雄枝

Fig. 1 Peroxidase isozymes zymogram of two clones' various reproductive branches

营养枝与雄花枝的同工酶谱是一样的。60号雄花枝亦与之相近。这表明雄花枝的过氧化物酶活性高于雌花枝。

**2.1.5 过氧化氢酶活性** 过氧化氢酶是用 pH 7 磷酸缓冲液研磨 0.5 g 侧枝叶片进行提取, 在 5 500 r/min 下冷冻离心获得。取 10 ml 酶液, 加入一定量的过氧化氢, 反应 10 min 后, 用 10% 硫酸终止。随之, 用硫代硫酸钠滴定酶解剩余的双氧水与碘化钾作用, 将释放的碘与淀粉显色反应直至退色, 通过计算确定酶活性。表 3 数据表明 61 号雌枝要比雄枝高, 新叶较老叶高。其实, 这种差异性并不显著, 很难作为性别鉴定指标。但有资料认为雌雄异株的番木瓜和大麻, 其雄株的叶片过氧化氢酶活性高于雌株<sup>[13]</sup>。

表 3 各类组织过氧化氢酶活性  
Table 3 Catalase activity of various tissues

| 材 料<br>(4月) | 对 照 值 | 反 应 值 | a - b | 酶活性/<br>$\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{FW}$ |      |
|-------------|-------|-------|-------|---|------|
|             | a ml  | b ml  | ml    |   |      |
| 33号         | 雄枝新叶  | 19.3  | 17.4  | 1.9   | 18.6 |
|             | 雄枝老叶  | 18.9  | 17.3  | 1.6   | 15.5 |
| 61号         | 雌枝新叶  | 18.7  | 16.6  | 2.1   | 21.1 |
|             | 雌枝老叶  | 19.1  | 17.4  | 1.7   | 16.7 |

**2.1.6 脱氢酶** 取 0.2 g 去叶茎切段于 0.5% TTC 液试管中, 在 28℃ 下 5 h, 用丙酮 10 ml 提取, 在 550 nm 下比色测定。图 2 表明 61 号株 3 类侧枝在春夏间脱氢酶活性平稳而略有上升, 但整个水平是雌枝大于雄枝, 营养枝最低。秋季, 雄枝与营养枝酶活性有所下降, 而球果枝仍保持高活性。球果枝粗壮而叶色深, 为球果发育提供养分。

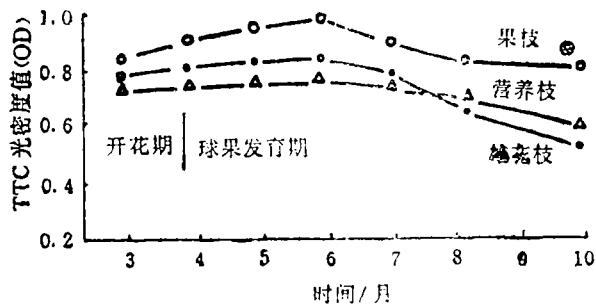


图 2 雌雄花枝生育过程中的脱氢酶活性变化

Fig. 2 Changes of dehydrogenase activity during female and male cone shoot development

## 2.2 碳氮比

碳氮比(C/N)学说认为当成年植物 C/N 值高时会促进开花, 反之, 则推迟成花<sup>[13]</sup>。这在果树环割或氮肥过多情况下被论证。然而, 人们发现适当提高果园的氮素水平亦有利于开花结实。所以, 正常的 C/N 代谢是植物生长发育所需要的。

表 4 是两类中高产无性系在花芽形成初期的 3 种生理发育态枝梢的蛋白质和总糖含量及其 C/N 值。它们的蛋白质含量为 8.5%~9.9%, 总糖为 15.0%~18.0%, 而 C/N 值变幅为 1.7~2.1。此外, 我们对某些生长旺盛而少开花的杉木母树 C/N 值进行测定表明, 也与正常开花结实枝无明显区别。C/N 是一个粗的生理指标, 具体到一个树种, 该多少比值有利于成花, 尚无标准。

## 2.3 核酸、蛋白质与脂类

**2.3.1 开花结实过程中的核酸与 RNA/DNA 变化** 核酸在植物生长发育中起重要作用。

表 4 不同的营养枝与生殖枝的 C/N 比值

Table 4 C/N ratio of different vegetable and reproductive shoots

| 材 料<br>(10-15) | 蛋白质<br>/% | 可溶性糖<br>/% | 总糖<br>/% | C/N  |
|----------------|-----------|------------|----------|------|
| 60号 雄 枝        | 9.92      | 5.77       | 16.88    | 1.68 |
| 60号 雌 枝        | 9.46      | 7.63       | 17.98    | 1.90 |
| 60号 营养枝        | 8.96      | 6.84       | 17.94    | 2.00 |
| 61号 雄 枝        | 8.69      | 5.04       | 15.70    | 1.82 |
| 61号 雌 枝        | 8.74      | 5.78       | 18.04    | 2.13 |
| 61号 营养枝        | 8.58      | 5.34       | 16.84    | 1.96 |

杉木花芽在 8~9 月间形成。研究表明 10 月的杉木雄花芽核酸略高于雌花芽(图 3)。这可能是雄花芽较雌花芽发生早 1 个月之故,但它们都要比叶芽高。这与成花的苹果、柑桔芽核酸高于叶芽的论证是一致的<sup>[14,16]</sup>。到 2~3 月开花前,杉木雌花芽的核酸平稳上升而雄花芽下降。雌球花授粉受精后体积增大,核酸含量继续增加。8~10 月后杉木种子胚发育的核酸水平高于果实。从 3 类生育枝的核酸水平看,雌枝高于雄枝,营养枝最低。它们的含量变化与生长季节有关。如 4 月

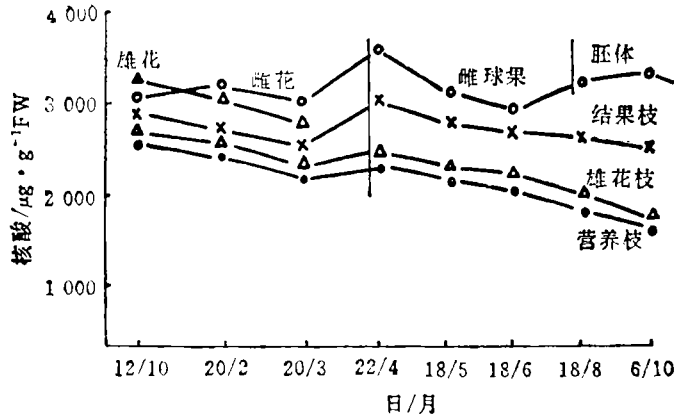


图 3 杉木不同组织生育过程中的核酸含量变化

Fig. 3 Change of nucleic acid content during various tissue growth and development

间,杉木侧枝恢复生长,出现一个核酸的高峰期。

一般,秋季叶芽、花芽和侧枝的 RNA/DNA 值为 2~3。当春季进入旺盛生长,细胞分裂加速,DNA 和 RNA 含量均有增加,而 RNA 增加更多, RNA/DNA 比值上升到 5~7。这表示着核酸转录水平活跃。当杉木处于夏季生长时,核酸合成总量还是高的,但 RNA/DNA 值有所下降。

**2.3.2 叶芽、花芽、茎叶与胚的核酸、蛋白质和脂类含量** 杉木有性过程从花芽形成到果实成熟跨越 2 a 而每年 10 月既是花芽形成之时又是球果趋向成熟之际。这时,我们同时取样测定叶芽、花芽、已发育的胚与胚乳,及其新老两类茎叶的核酸、DNA、RNA、脂类与蛋白质的含量,从中了解到杉木各组织器官的物质代谢水平及其相关性。

表 5 资料表明发育胚的核酸含量最高,每克鲜重达 4.685 mg,其次为雄花芽。由此可见,果实与花芽同时集中在上部树冠侧枝上,它们的孕育均需要高养分,引起分配上的竞争与生理功能的反馈调节,促进优势,抑制劣势。此时,老的生殖枝总核酸含量要比新生枝低 20.0%~30.0%。这表示着核酸合成能力下降。RNA/DNA 值以雌、雄花芽枝和发育的胚乳为高(3.8~4.0),反应了它们的转录水平。叶芽的脂类含量低而蛋白质高,反应其生长芽

表5 新老生殖枝的核酸、蛋白质和脂类含量( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}$ )

Table 5 Contents of DNA, RNA, protein and lipid of new and old reproductive shoots

| 材料(61号)    | 总核酸   | DNA   | RNA   | RNA/DNA | 蛋白质   | 脂类    |
|------------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|
| 1993-10-30 |       |       |       |         |       |       |
| 叶芽         | 2.240 | 0.582 | 1.658 | 2.848   | 193.5 | 13.70 |
| 茎叶         | 2.153 | 0.562 | 1.591 | 2.831   | 188.3 | 20.70 |
| 雄花芽        | 2.844 | 0.714 | 2.130 | 2.983   | 167.2 | 39.10 |
| 茎叶         | 2.532 | 0.519 | 2.013 | 3.879   | 191.9 | 22.10 |
| 雌花芽        | 2.370 | 0.674 | 1.696 | 2.516   | 166.5 | 18.58 |
| 茎叶         | 2.342 | 0.460 | 1.882 | 4.091   | 211.4 | 21.66 |
| 老雄花枝叶      | 1.808 | 0.697 | 1.111 | 1.594   | 185.2 | 28.28 |
| 球果枝叶       | 1.943 | 0.757 | 1.186 | 1.567   | 184.1 | 26.74 |
| 发育胚        | 4.685 | 1.205 | 3.480 | 2.880   | 261.7 | 73.00 |
| 胚乳         | 2.672 | 0.561 | 2.111 | 3.763   | 218.1 | 48.40 |

的化学组分的特点。

2.3.3 后胚发育过程中的DNA、RNA、蛋白质和脂类含量变化 雌球花自开花授粉受精后球果体积增大,核酸含量增加(图4)。杉木雌配子体在受精前已经形成,后来不断充实营养物质供胚发育之需。7月中旬,原胚进一步发育,胚细胞不断分裂,体积增大,随之胚轴、根、茎和叶分化,至8月中旬基本完成。所以,在7月间的幼胚核酸测定,没有把胚与配子体(即后来胚乳)分开。从图4可以看到在后胚发育过程中总核酸、DNA和RNA含量一直上升,直到种子成熟才有所下降。胚体的DNA含量在 $200\sim 1\,000\ \mu\text{g}/\text{g}\cdot\text{FW}$ , RNA在 $1\,200\sim 3\,500\ \mu\text{g}/\text{g}\cdot\text{FW}$ 之间, RNA/DNA在 $3\sim 4$ 。如果以胚干重表示,核酸的小高峰曲线会在9~10月出现。既然蛋白质的合成仍然活跃, RNA的转译也不会停止。在胚发育过程中,脂类和蛋白质含量一直上升至种子成熟(图5),作为组成与贮存物积累。

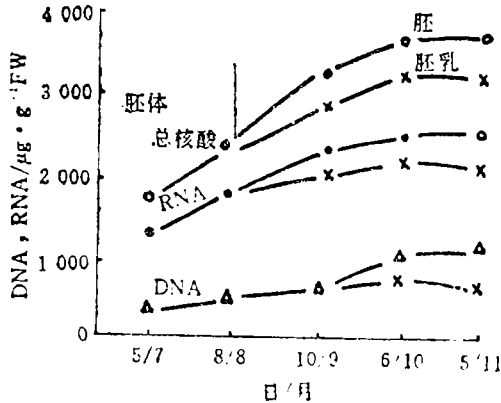


图4 胚体发育过程中的DNA和RNA含量变化

Fig. 4 Changes of DNA, RNA content during embryo development

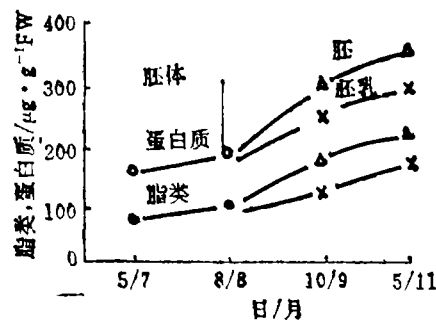


图5 胚体发育过程中的脂类与蛋白质含量变化

Fig. 5 Changes of protein and lipid content during embryo development

## 2.4 氨基酸

**2.4.1 营养枝与成花枝的氨基酸成分与含量** 用氨基酸自动分析仪和纸层析定量定性鉴定揭示杉木营养枝与成花枝中的游离氨基酸有23种。除表6所列16种外,还有色氨酸、 $\gamma$ -氨基丁酸、胱氨酸、谷酰胺、天冬酰胺、鸟氨酸和瓜氨酸。从表6看,各组织中游离氨基酸成分与含量差异较小。其中,谷氨酸和丙氨酸很高,而雄花枝更高;成花枝的组氨酸含量很低而营养枝未能检出。这不能视为主要差别。但是,谷、丙氨酸的高含量却指示了植株氮素水平状况。

**表6 3种侧枝中的游离氨基酸成分与含量\***

Table 6 Free amino acid component and content for three branches

| 氨基酸名称                   | 60号雄枝<br>(样重498.8<br>mg·DW) | 60号雌枝<br>(样重458.0<br>mg·DW) | 60号营养枝<br>(样重466.1<br>mg·DW) |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 氨基酸总量/%                 | 0.248                       | 0.218                       | 0.205                        |
| 苏氨酸/mg·kg <sup>-1</sup> | 100                         | 90                          | 89                           |
| 丝氨酸                     | 92                          | 54                          | 80                           |
| 天冬氨酸                    | 30                          | 24                          | 27                           |
| 谷氨酸                     | 729                         | 549                         | 621                          |
| 甘氨酸                     | 25                          | 25                          | 25                           |
| 丙氨酸                     | 464                         | 390                         | 348                          |
| 缬氨酸                     | 153                         | 137                         | 112                          |
| 蛋氨酸                     | 43                          | 57                          | 34                           |
| 异亮氨酸                    | 93                          | 93                          | 83                           |
| 亮氨酸                     | 151                         | 130                         | 99                           |
| 酪氨酸                     | 56                          | 47                          | 35                           |
| 苯丙氨酸                    | 113                         | 121                         | 121                          |
| 赖氨酸                     | 64                          | 63                          | 41                           |
| 组氨酸                     | 19                          | 15                          |                              |
| 精氨酸                     | 123                         | 120                         | 135                          |
| 脯氨酸                     | 229                         | 228                         | 203                          |

\*氨基酸自动分析仪检测

绝对值。这里仅列出胚乳11月5日的一组数据供等级划分参证。

**2.4.3 叶片氮素处理与氨基酸变化** 用0.1%尿素和硝酸钾分别对杉木进行叶面喷雾处理,相隔2、5和10d后取样鉴定某些氨基酸含量变化。试验表明硝酸钾处理的叶片2d后丙氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、谷酰胺、天冬酰胺和精氨酸含量均有增加,而尿素处理的叶片丙氨酸、谷氨酸和瓜氨酸增加。5d后,硝酸钾和尿素处理的仍有高的氨基酸转化水平。10d后,这两种处理效应不明显。当然,它们的利用是通过尿素分解酶和硝酸还原酶的作用,但硝酸钾的转化效应似乎高于尿素。这是由于硝酸钾促进叶片硝酸还原酶活力所致<sup>[10]</sup>。我们认为杉木种子园在夏秋采用硝酸钾作根外追肥对提高果实发育和花芽发生的营养水平是有效的。这些氨基酸可以作为组织含氮水平的生理指标。

## 2.5 有机酸

三羧酸循环中的成分酸是呼吸代谢的中间产物,它与氨基酸代谢关系密切。在杉木的花

从雄花芽、雌花芽和叶芽的纸层析半定量鉴定看,花芽的氨基酸含量普遍高于叶芽。其中,谷氨酸、脯氨酸和精氨酸更高。雄花芽在10月小孢囊出现时脯氨酸含量高达500 $\mu$ g/g·FW,次年3月开花时下降。雌花芽在冬季的脯氨酸含量较雄花芽低,到开花前却有显著上升,可见脯氨酸在花芽分化中的作用。

**2.4.2 球果发育过程中的氨基酸变化** 7~8月间,幼胚尚少,分析样品未把胚与胚乳分开,以胚体表达组成分(表7)。后来测定胚内的氨基酸含量很低而胚乳含量高,特别是酰胺和精氨酸。胚乳的氨基酸既有自身的蛋白合成又要供胚发育之需。果鳞内的氨基酸很高且有大的起伏,如7月丙氨酸最高,8月酰胺积累,10月天冬氨酸和天冬酰胺较高,11月果熟,总量明显下降(表7)。果鳞的氨基酸是供胚发育的。

表7数据为单向氨基酸纸谱目测等级划分。我们曾用50%乙醇洗脱纸谱紫斑点,在564nm下进行比色测定,并换算成

表 7 球果发育过程中的氨基酸含量变化

Table 7 Changes of amino acids during cone development

| 材 料 与<br>测 定 日 期                   | 氨基酸成分与含量(按 12 级划分) |   |   |     |     |        |     |     |    |   |
|------------------------------------|--------------------|---|---|-----|-----|--------|-----|-----|----|---|
|                                    | 亮                  | 缬 | 脯 | 丙   | 谷   | (瓜天冬丝) | 谷酰胺 | 天酰胺 | 精  |   |
| 果 鳞                                | 07-10              | 3 | 2 | 1   | 12  | 7      | 5   | 5   | 5  | 4 |
|                                    | 08-18              | 2 | 1 | 3   | 5   | 3      | 4   | 8   | 10 | 2 |
|                                    | 10-07              | 5 | 3 | 8   | 2   | 5      | 12  | 5   | 12 | 3 |
|                                    | 11-05              | 2 | 1 | 3   | 2   | 3      | 5   | 2   | 5  | 1 |
| 果枝叶                                | 07-10              | 2 | 1 | 1   | 3   | 4      | 4   | 5   | 2  | 1 |
|                                    | 08-18              | 2 | 1 | 1   | 2   | 3      | 3   | 4   | 1  | 1 |
|                                    | 11-05              | 1 | 1 | 2   | 3   | 4      | 6   | 4   | 5  | 1 |
| 胚 体                                | 07-10              | 2 | 1 | 1   | 3   | 4      | 5   | 5   | 2  | 1 |
|                                    | 08-18              | 2 | 1 | 1   | 2   | 4      | 3   | 4   | 5  | 3 |
| 胚                                  | 10-07              |   |   |     | 1   | 2      | 3   | 1   | 1  | 2 |
|                                    | 11-05              |   |   |     | 3   | 4      | 3   | 1   | 3  | 1 |
| 胚 乳                                | 10-07              | 1 |   | 3   | 4   | 4      | 5   | 5   | 5  | 4 |
|                                    | 11-05              | 2 |   | 1   | 3   | 3      | 5   | 4   | 4  | 2 |
| 胚乳氨基酸含量<br>/μg·g <sup>-1</sup> ·FW | 170                |   |   | 380 | 412 | 625    | 530 | 440 |    |   |

芽、叶芽和枝叶中已鉴定到琥珀酸、α-酮戊二酸、苹果酸、柠檬酸和 3 个未知点(图 6)。其中,琥珀酸,α-酮戊二酸含量很低而苹果酸、柠檬酸含量高。此外,可能还有草酸。这些有机酸含量在各组织中随季节有所变化,但基本上是稳定的。因为三羧酸循环是呼吸代谢的中心枢纽,有一个稳定的代谢池才能维持经常的物质代谢与能量代谢,并联系着碳、氮与脂肪代谢的正常运行。

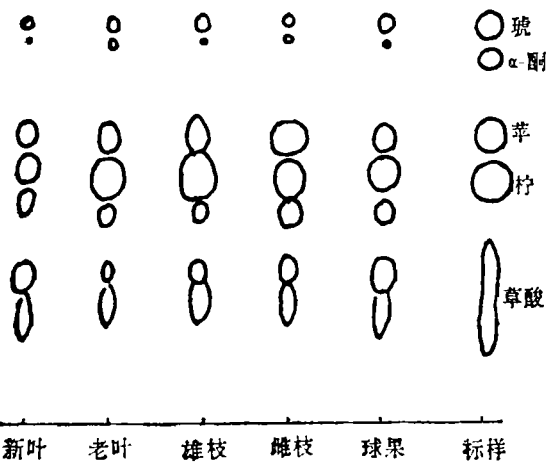


图 6 不同组织的有机酸成分与含量层析谱

Fig. 6 Organic acid chromatograph in various tissue

2.6 糖类

糖是光合作用产物,为呼吸代谢提供能量与碳架。所以,用纸层析直观地揭示杉木侧枝



各部分的糖类成分与含量的变化有助于了解叶片代谢源的水平与输出动态。分析表明杉木各组织中的糖类有果糖、葡萄糖、蔗糖和麦芽糖。其中后者很低而前三者均高。它们的季节变化如图 7~8。冬季的枝叶糖分含量较高，有利于抗寒越冬。初春 2~3 月糖分减少，因呼吸消耗恢复生长所致。4~6 月间，杉木枝梢生长旺盛，叶片光合作用活跃，果糖和葡萄糖明显增加。

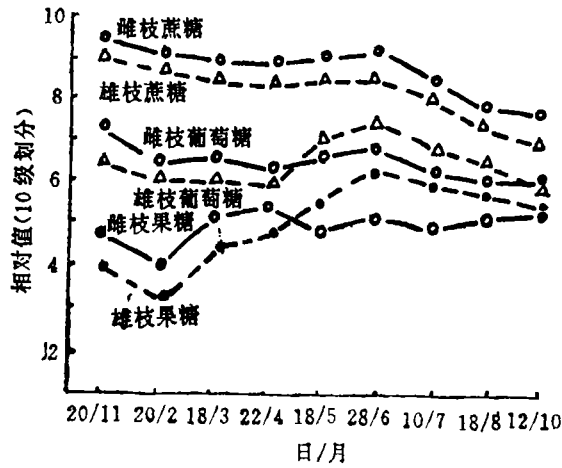


图 7 雌雄枝生育过程中的糖分含量变化

Fig. 7 Changes of sugar content during female and male cone shoot development

蔗糖是植物组织碳水化合物的主要运输形式。它在杉木茎、叶中变化平稳，反应其良好的光合产物供应。雌球花在授粉后出现糖分上升，随之球果体积增大，胚发育开始，葡萄糖、果糖含量下降，但蔗糖仍保持着较高水平。到 11 月球果成熟，果鳞与胚体内的蔗糖明显下降，主要用于淀粉合成。

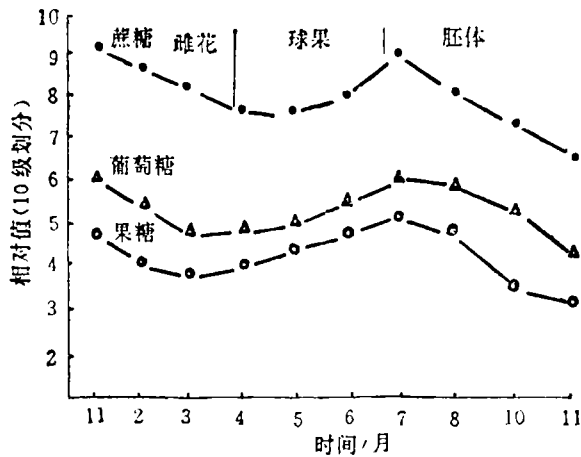


图 8 雌球花及球果发育过程中糖分的变化

Fig. 8 Changes of sugar content during female cone development

各部分的糖类成分与含量的变化有助于了解叶片代谢源的水平与输出动态。分析表明杉木各组织中的糖类有果糖、葡萄糖、蔗糖和麦芽糖。其中后者很低而前三者均高。它们的季节变化如图 7~8。冬季的枝叶糖分含量较高，有利于抗寒越冬。初春 2~3 月糖分减少，因呼吸消耗恢复生长所致。4~6 月间，杉木枝梢生长旺盛，叶片光合作用活跃，果糖和葡萄糖明显增加。

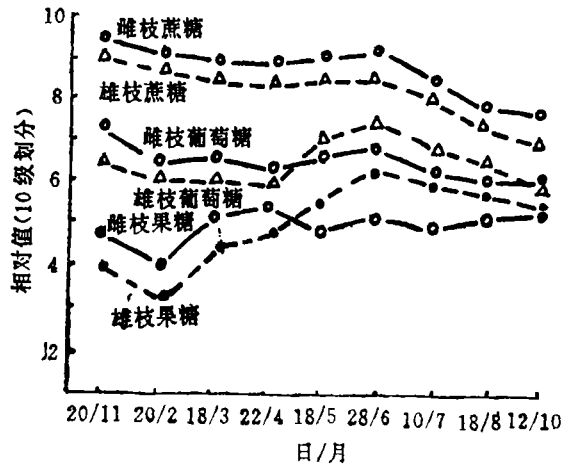


图 7 雌雄枝生育过程中的糖分含量变化

Fig. 7 Changes of sugar content during female and male cone shoot development

蔗糖是植物组织碳水化合物的主要运输形式。它在杉木茎、叶中变化平稳，反应其良好的光合产物供应。雌球花在授粉后出现糖分上升，随之球果体积增大，胚发育开始，葡萄糖、果糖含量下降，但蔗糖仍保持着较高水平。到 11 月球果成熟，果鳞与胚体内的蔗糖明显下降，主要用于淀粉合成。

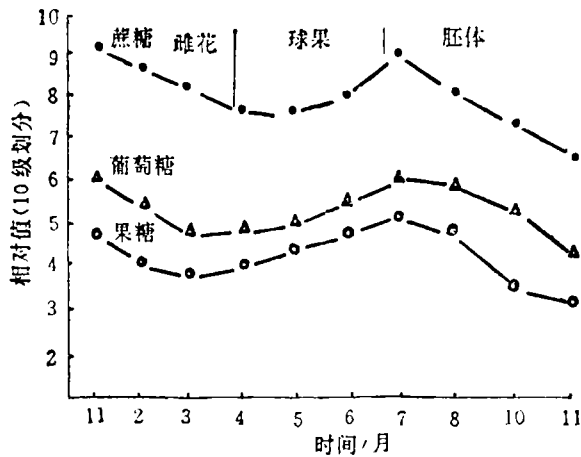


图 8 雌球花及球果发育过程中糖分的变化

Fig. 8 Changes of sugar content during female cone development

- 6 史忠礼, 许月明, 高智慧等. 杉木雌配子体与后胚发育过程中的核酸、蛋白质和类脂的消长. 植物生理学报, 1990, 16(4): 387~393
- 7 沈熙环主编. 种子园技术. 北京: 北京科学技术出版社, 1992
- 8 陈福明, 陈顺伟. 混合液法测定叶绿素含量的研究. 林业科技通讯, 1984(2): 4~8
- 9 胡能书. 同工酶技术及其应用. 长沙: 湖南科技出版社, 1985
- 10 波钦诺克著, 荆家海译. 植物生物化学分析方法. 北京: 科学出版社, 1981
- 11 朱治平, 沈瑞娟, 唐锦华. 高等植物胚胎的发育生物学研究 II. 植物生理学报, 1980, 6(2): 141~147
- 12 管康林, 阎龙飞, 汤佩松. 水稻种子萌发和幼苗生长过程中的氨基酸代谢. 植物生理学通讯, 1965(2): 14~18
- 13 潘瑞炽, 董恩得. 植物生理学(下册). 北京: 高等教育出版社, 1984
- 14 程洪, 黄辉白. 柑桔成花机理的研究 II. 果树科学, 1992, 9(2): 70~76
- 15 周国章, 苏梦云. 杉木硝酸还原酶的初步研究. 林业科学, 1988, 24(2): 156~161
- 16 Buban T, Faust M. Internal control flower bud initiation in apple and differentiation. *Hort Rev*, 1981 (4): 174~178

Guan Kanglin (Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, PRC), Yan Yilun,  
and Zhen Gang. *Developmental Physiology of Cunninghamia lanceolata*. *J Zhejiang For Coll*, 1994, 11(2): 105~115

**Abstract:** Observing tree types, photosynthetic effects and respiratory enzymes (peroxidase isozymes, catalases and dehydrogenases) for some clones of *Cunninghamia lanceolata*, studying various changes of C/N, nucleic acids (RNA and DNA), proteins, lipids as well amino acids, organic acids and sugars in the stages of flower bud differentiation, flowering, fruiting and embryo development, this paper gives the relationship between some genetic traits and physiological activities throughout the sexual process of *C. lanceolata*.

**Key words:** *Cunninghamia lanceolata*; development; physiology; photosynthesis; nucleic acids; lipids; enzymes; intermediary metabolism