


周天相 著



科技兴林丛书



杉木无性系育种和
良种繁殖新技术

中国林业出版社

科技兴林丛书

杉木无性系育种和良种 繁殖新技术

周天相 著

科技兴林丛书

杉木无性系育种和良种繁殖新技术

周天相 著

中国林业出版社出版(北京西城区刘海胡同7号)
新华书店北京发行所发行 通县印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 2.75印张 56千字

1990年12月第1版 1990年12月第1次印刷

印数 1—5,000册 定价: 1.70元

(京)第033号 ISBN 7-5038-0736-9/S·0349

前 言

杉木是我国特有的优良速生用材树种，广泛分布于我国亚热带地区，生长迅速，产量高，材质优良，用途广，是我国重要建筑用材树种，木材产量约占我国商品材的1/5—1/4，在林业现代化建设中，占有重要的地位。

我国杉木栽培约有1000余年的历史，是亚热带地区的重要造林树种，产区群众在长期的生产实践中创造和积累了丰富的栽培经验。建国以后，杉木造林有了很大的发展，建立了很多杉木林基地，营造了很多速生丰产林，在科学研究上也取得了很多新的成果。据1976年统计，南方杉木人工林面积已达633.82万ha。从80年代起，又把杉木列为发展速生丰产林的主要树种之一。最近国务院已批准到本世纪末建设1亿亩速生丰产用材林基地的规划，而杉木正是南方14省区主要速生用材树种，现每年杉木造林面积达100万ha以上。随着经营措施的不断提高，如果实行集约经营，采用新品种(或无性系)，必将对速生丰产林的建设起着重大的作用，大幅度提高林木的产量和质量。

浙江省开化县林场自1978年以来，经过9年的探索研究，提出了一套杉木无性系选育和良种繁殖新技术。该项研究成果于1987年11月通过省级鉴定，鉴定委员会一致认为以

“三优”(优良家系、优良杂交组合、优良种源)为选育材料,实行多层次选优,多途径取材,多形式采穗(幼林选优取萌、育苗地取萌、建立矮干密植型采穗圃)和秋冬寄插催根,薄膜保温保湿催萌,早春移栽育苗的快速繁殖技术,在国内均属创新。处于同类研究领先地位,为实现杉木速生丰产林良种化开辟了新的途径,荣获1987年度浙江省科学技术进步一等奖、1989年国家发明奖和全国星火计划新技术金奖。

该项研究成果的论文发表后,在南方杉木产区引起了强烈反应。两年来,南方杉木产区的14个省区、660个县(市)4100人来我场引进该项技术;共印发技术资料6600份;举办培训班18期,培训科技人员740人;应邀进行科技讲座16次,听讲人员1410人。1990年春我场56万株优良无性系杉木苗被抢购一空。为将这一成果迅速推广,促进林业发展,我把在培训班上讲课的资料撰写成册,以贻读者。

在编写过程中得到余土红、周洁敏、毛玉明等同志的协助,在此表示感谢。由于本人水平有限,加上时间仓促,缺点和错误之处在所难免,请广大读者提出宝贵意见,以便修改补充。

周天相

1990年2月

目 录

前言

一、杉木无性系育种的意义·····	(1)
(一) 无性系林业具有很大的增产潜力·····	(1)
(二) 建立育种园、创造新品种·····	(8)
(三) 杉木无性系育种展望·····	(9)
二、杉木优良无性系的选育方法·····	(12)
(一) 选优·····	(13)
(二) 以“三优”为选育材料，实行混合选择和单系选择 相结合的良种繁殖新体系·····	(20)
(三) 选优的林龄·····	(22)
(四) 优株的标准·····	(24)
(五) 选优的效果·····	(24)
三、杉木良种的无性繁殖技术·····	(31)
(一) 无性繁殖方法·····	(31)
(二) 采穗圃的建立·····	(32)
(三) 扦插技术·····	(37)
(四) 针叶扦插·····	(49)
(五) 选留伐桩萌芽条，加速形成杉木更新林·····	(53)
(六) “催根剂”处理杉木插穗生根的效果·····	(54)
四、杉木无性系的造林方法与方式·····	(56)

(一) 造林方法.....	(56)
(二) 造林方式.....	(57)
五、造林效果.....	(60)
六、无性系测定.....	(63)
(一) 杉木无性系测定的要求.....	(63)
(二) 随机区组试验结果的统计分析.....	(65)
(三) 中间试验.....	(70)
附表:	
表 1 t 分布表.....	(73)
表 2 F 分布表($P = 0.05$).....	(74)
表 3 F 分布表($P = 0.01$).....	(76)
表 4 q 表.....	(78)

一、杉木无性系育种的意义

原始农业只能养活几千万人口，而现代农业却能养活60亿人口。农业靠的是以遗传育种学和栽培技术为基础的科学技术进步。林业的出路也是要靠科技进步，靠品种的改良和栽培技术的革新，而无性系林业将带来生产力的飞跃，把林业生产方式推向一个工业化的时代。

(一)无性系林业具有很大的增产潜力

杉木无性系育种是以近代的遗传育种学理论为指导，用科学的育种程序选出优株，经大量无性繁殖形成无性系，并将无性系进行科学的组配造林，实行集约经营，达到速生、丰产、优质、抗性强的目的。

采用同一植株通过无性繁殖所产生的后代称为无性系，又称营养繁殖系。由于无性繁殖是利用营养器官（根、茎、叶）进行繁殖，这种繁殖包含细胞的有丝分裂，即将全部染色体连同细胞质从母细胞复制到两个子细胞中，所以，无性繁殖的植株具有亲本的全部遗传信息，能保持亲本的优良特性。杉木无性系育种是通过有性繁殖，利用杂种第一代的大量分离，从中选择具有高度杂种优势的优良单株，再用无性繁殖的方法把它的优良性状固定下来，成为一个新品种。所以，无性系育种方法简便，速度快，且杂种优势可以通过无

性繁殖在生产上长期利用，这是一个突出的优点。

杉木是异花授粉植物，它的基因型是杂合体，染色体 $2n = 22$ 。染色体是遗传物质(DNA)的载体。有性繁殖时，细胞核内的染色体发生减数分裂，受精后重新组合成为22个染色体，11个染色体来自父本，11个来自母本，由于基因型的分解和基因的重新组合，后代必然发生变异。有性繁殖的杉木，不可能有两株完全相同。这种变异不但为自然进化提供条件，也为人工选育提供材料。无性繁殖是细胞经过无数次的有丝分裂，每次有丝分裂都使子细胞各得一套与母细胞同样的DNA，也就是各得一套完整的遗传密码，保证了无性繁殖的生物体世代间物质上和功能上的连续性。无性系与实生苗造林最大的区别是不发生基因型分解，能够完整复制优株的基因型(基因突变例外)，全部基因效应都能传递给下一代，保持优株的优良特性。因此，无性繁殖要比有性繁殖(种子繁殖)获得更高的遗传增益，它的后代性状整齐一致，经济价值更高，是一个具有很大潜力的领域。现在世界上种植果树，只有极少数落后的国家或地区用种子繁殖，绝大部分国家都用嫁接等无性繁殖方法。杉木采用无性系造林必将象果树繁殖一样，大幅度提高产量和质量。杨树无性系应用于造林较早，现在推广的优良无性系I-214、沙兰杨等大大提高了产量、质量。近年来选育成功的白榆无性系8024，材积增益在60—85%，且抗大袋蛾危害。泡桐无性系C₄₉₃₋₆、C₅₀₄、C₀₀₁具有高产效益，6年生单株材积达0.3m³以上。刺槐无性系有鲁刺740509等8个，其增益都在30%以上，并且改良了刺槐木材纹理扭曲的缺点。江苏省选育的4个柳树

无性系，造林4年，材积增产44.7—112.2%。70年代中期，刚果是最早在桉树上成功地进行无性系造林的国家，从1978年起，仅在黑角地区每年就营造6000ha桉树无性系林，使7年生的桉树林由每公顷年材积生长量10—20m³，提高到40m³。巴西由于推行桉树无性系造林，使林分每公顷年材积生长量由原来实生林的36m³提高到64m³，个别正在测验中的无性系，3年生的树高达20m，5年生达32m，每公顷年材积生长量高达100m³。无性系林业的增产效益日益被人们认识和重视。凡能够采用无性繁殖的树种，选育出无性系应用于造林，这已成为当今林业发展的趋势。

无性系造林具有比有性繁殖(种子繁殖)更高的遗传增益，这从遗传增益的公式可以看出，在估价选择效果时，遗传增益公式 $\Delta G = SH^2(h^2)$ 。这里的S代表选择差，从亲代群体中选择若干优良个体，选择留种的个体平均数与亲代群体平均数的差异，称为选择差。 h^2 代表遗传力。遗传力(h^2)大小是亲本和后代之间遗传关系的一个指标，作为估算不同性状遗传传递强弱的度量，从公式中可以看出，在选择差不变时，遗传力大小决定着选种的效果。遗传力(h^2)公式如下：

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_e^2} \times 100\%$$

$$\sigma_g^2 = \sigma_D^2 + \sigma_A^2 + \sigma_I^2$$

σ_D^2 代表基因型变量

σ_e^2 代表环境变量

σ_A^2 代表加性基因效应变量

σ_D^2 代表显性基因变量

σ_I^2 代表上位效应基因变量

基因型变量可分为加性基因和非加性基因变量。非加性

基因是指显性基因变量和上位效应基因变量之和。有性繁殖时，加性基因变量能够遗传，非加性基因变量不能遗传，因此有性繁殖时的遗传力是狭义遗传力，公式是：

$$\text{有性繁殖：} h^2 = \frac{\sigma_D^2}{\sigma_D^2 + \sigma_H^2 + \sigma_Z^2 + \sigma_E^2} \dots\dots (1)$$

无性繁殖，亲本的基因型是原版复制，加性基因，非加性基因都能遗传，是广义遗传力，公式是：

$$\begin{aligned} \text{无性繁殖：} H^2 &= \frac{\sigma_D^2 + \sigma_H^2 + \sigma_Z^2}{\sigma_D^2 + \sigma_H^2 + \sigma_Z^2 + \sigma_E^2} \\ &= \frac{\sigma_D^2}{\sigma_D^2 + \sigma_H^2 + \sigma_Z^2 + \sigma_E^2} + \frac{\sigma_H^2}{\sigma_D^2 + \sigma_H^2 + \sigma_Z^2 + \sigma_E^2} + \\ &+ \frac{\sigma_Z^2}{\sigma_D^2 + \sigma_H^2 + \sigma_Z^2 + \sigma_E^2} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

从(1)、(2)式可以看出，无性繁殖的遗传力 H^2 (广义遗传力) 大于有性繁殖遗传力 h^2 (狭义遗传力)，因此，无性繁殖的遗传增益也大于有性繁殖。

在遗传力不变的条件 下，选择差越大，遗传增益也越大。有性繁殖是从一个群体中选出优良个体，然后用它的种子繁殖后代，它的选择差不是优良个体与群体的差数，而是优良个体的种子繁殖出来的一组子代林与群体的差数，因而选择差就较小。无性繁殖是将选出的优良个体，通过无性繁殖变成无性系的后代，选择差是个体与群体的差数，因此选择差也比有性繁殖大。由于无性繁殖的遗传力和选择差比有性繁殖大，这从理论上就决定了无性系造林要比有性繁殖获得更高的遗传增益。这就赋予无性繁殖很大的优越性，如果

选育出一株杂种优势十分突出的杉树，这种优越性就非常突出，因为通过无性繁殖能够直接将杂种的个体优势保持下来，应用于造林，大幅度提高产量。如果用种子繁殖，后代必然产生变异，即使是两个无性系种子园的种子繁殖，也不能获得无性系这样高的遗传增益，因为杉木是异花授粉，基因型是杂合体，普遍存在显性基因变量，采用种子繁殖不能遗传利用。只有采用无性繁殖的方法，才能够固定利用。

采用无性系造林的另一优点是林木间整齐一致。它在树高、径粗、干型、冠幅大小、树木颜色、物候期等方面基本一致；相反，实生繁殖，由于基因型的分解和基因重组的结果，后代总是产生很大的变异。这些混杂的个体种植在一起，势必产生树干的粗细、树体的高矮、树冠的大小、抗性等不一致，因此，林木间产生激烈的竞争。无性系造林由于在同一个无性系间的林木整齐一致，我们就可以利用这一点进行科学的组配造林，把不同类型的无性系分开种植。如根据树冠的大小可把它分为宽冠稀疏型与浓密窄冠型；根据树高可分树高早期长得快、但粗生长一般，树高早期生长一般、但粗生长快等类型。把不同的类型进行科学的组配，分开栽植，避免林木间的竞争，这样就能充分利用地力、阳光。通过科学的组配造林，必然得到较高的增产效果。

当今世界林业向着集约经营、超集约经营发展，工业人工林正在迅速兴起，凭借农业经营的手段，通过集约培育、经过选育的速生树种，为特定的工业生产提供价格低廉、数量巨大、规格一致、品质一致的规格化产品。无性系林业具备了这个条件，它在生产规格、品质一致的规格化产品中，

可以大显身手。杉木以无性繁殖作为繁殖后代的一种方式被我国杉木产区所应用，已有上千年的历史，然而运用现代林木遗传育种学的理论，将无性繁殖用于林木改良上，实现无性系育种和无性系造林，则还是在70年代后期才被日益重视。近几年来，把杉木无性系繁殖应用在林木遗传改良上已取得很大的发展，开辟了杉木无性系造林的新阶段。实践证明：杉木容易无性繁殖，且繁殖指数高，方法简便，迅速灵活，增益显著。

杉木是异花授粉树种，长期在自然选择和人工栽培作用下，后代发生了多种多样的变异，育种资源极为丰富。50年代后期，大面积推广实生苗造林。60年代以来开展的杉木良种选育已取得了显著成绩，近年来又进行种源试验，成功地选出优良种源。这些都是开展杉木无性系育种的物质基础。在如此巨大的混杂群体中，肯定可以选择出优良个体进行无性繁殖，实行无性系造林，必将大幅度地提高生产力。无性系育种有着越来越重要的地位和作用，有性创造、无性利用已成为杉木造林的发展趋势。那种耽心无性系造林要衰退，木材要空心的说法不符合事实。我国福建《建宁府志》记载宋代建瓯就有插杉，已有800多年的历史。湖南省江华在明洪武30年(1398年)开始插杉，也有近600年的历史。湖南省会同县历史上是用杉木实生苗造林。事实上，福建省建瓯、湖南省江华的杉木与会同县的杉木一样长得好。福建省南平溪后乡39年生的扦插林，每亩蓄积 78m^3 ，每亩平均年生长量达 2m^3 ，湖南省江华41年生的扦插林，每亩蓄积量 97.7m^3 ，每亩平均年生长量 2.38m^3 ，并不见衰退或空心。众所周知，毛

竹和亚热带的香蕉已是无性繁殖很多世代，并未发现衰退。杉木是利用根颈萌芽条进行繁殖很多世代了，也未衰退。杉木萌芽更新林木是一代比一代衰退吗？这不是无性繁殖的结果，如果讲衰退，这是杉木连栽引起的地力衰退，或者是留萌芽条不当和经营不当引起的，不能归咎于无性繁殖。杉木采伐后采用萌芽更新，伐桩要低，主伐时尽可能使伐桩与地面平，选留萌芽条时，要留伐桩，靠上坡部位从泥土内萌发出的萌芽条，这些萌芽条开始利用老根生长，它自身又生长新根，5年后形成独立根系，而原老根则逐渐死亡，用这样的方法选留萌芽条与扦插造林是一样的。如果主伐时，伐桩太高，选留萌芽条不当，把萌芽条选留在高伐桩上，萌芽条开始利用庞大老根供应水分、养分，生长迅速，但萌芽条毕竟枝叶有限，光合作用制造的有机物，不能满足庞大根系的营养需要，造成老根系生长缓慢，甚至死亡。因此，萌芽条的生长也迅速下降，随着时间的延长，老根系趋向衰老状态，这样的萌芽更新林，5年后生长量明显下降，并非由无性繁殖引起的。

地球上有数以百万计的不同种类动物。它们大小不一，形状各异，生活环境千差万别，但是有一点是共同的，这就是除了最原始的生物外，它们都被分成了雌雄两种性别。没有两性分化的原生动物，照样能繁殖得很好。人们曾设想过，长期的无性繁殖可能会引起遗传物质紊乱而退化，有了雌雄两性，也许就能避免这一不良后果的产生。科学家为了证明这一点，曾选择了纤毛虫做实验，实验坚持了22年，一共繁殖了13500代，结果并未发现后代有退化现象。无性繁

殖产生的后代和它的亲代一模一样，很少产生具有新特性的良种，因而进化、发展自然也就缓慢。但是，有了雌雄两性，情况就不一样了。后代既继承雄性的一些特点，同时又继承了雌性的一些特点。这种由两性结合而产生的后代，具有明显的优良特性，它们很快就会在物种中广泛流传。一代比一代好，一代比一代强。这就是生物的进化发展。

(二)建立育种园、创造新品种

众所周知，在同一无性系中进行再选择是无效的。因为它的基因型是相同的(基因突变例外)，所产生的差异是由环境引起的。因此，要繁育出新的无性系(或品种)，就必须通过有性繁殖。建立育种园的目的就是要把具有优良性状、遗传增益高、适应性强、抗病虫害、木材材质好的优株嫁接或用无性系苗木定植到育种园内，从中选择优良亲本进行杂交，从杂种中选育出优良单株，进行大量无性繁殖，应用于造林。

育种园的建园方法与杉木种子园基本相同，选择光照充足、土壤肥沃、疏松、排水良好、地形平缓、坡度在 25° 以下的山地为园址。为避免育种园与外界杉木授粉，应有良好的隔离措施。园地的整地方式采用全垦水平阶式整地，阶面宽 1.3m ，挖大穴栽植，穴的规格是 $0.7 \times 0.7 \times 0.14\text{m}$ ，施足基肥，回填表土。栽植密度 $4 \times 5\text{m}$ 或 $4 \times 4\text{m}$ ，每亩栽植33株或42株。为充分利用光照和林地，定植方式可采用三角形定点。为防止近亲交配引起后代衰退，育种园内每区可采用20—50个无性系，配置方式可采用顺序错位法排列、完全随机排列或完全随机区组排列。育种园管理方法与杉木种

子园基本相同。当前可以利用杉木种子园进行优株间杂交，选出优良杂交组合应用于造林，并从中选出优良无性系。育种园的面积根据各地需要而定，可以1—5 ha或更多。

育种园应把各种优良单株，包括优良家系、优良种源、优良杂交组合和速生丰产林中选出的优株，采用嫁接或将优株通过无性繁殖为无性系苗木定植到园内，在育种园内选择符合人们需要的优良亲本进行杂交，从优良杂交组合的种苗营造的幼、中龄林中再选出单系或多系进行大量无性繁殖、无性系测定，选育出更优无性系，应用于造林。育种园也可以生产种子，用其种苗造林，从中再选优，再进行无性系测定，选出优株进行大量无性繁殖，应用于造林。总之，通过有性育种，无性系造林，不断选育，不断繁殖，不断测定，不断更新，不断提高，繁育出适宜各种不同立地类型种植的产量高、质量好、抗性强的，适应人们对木材各种需要的优良无性系。

(三)杉木无性系育种展望

杉木无性系育种和良种无性繁殖虽取得了一定的成绩，但与当前的生产需要和无性系育种的要求还相差很大。可以讲，杉木无性系育种仅是个开端，更美好的前景还在后面，它需要我们广大林业工作者的艰苦奋斗来实现。

杉木是很容易进行无性繁殖的树种，因此进行杉木无性系育种、采用无性系造林是发展的必然趋势，是一个具有很大潜力而又未被开发的领域，一旦开发出来，采用无性系造林，将大幅度地提高杉木林的产量和质量。近几年来，杉木无性系育种取得了很大的进展，技术上得到了不断的创新，

证明了科学技术的发展是无止境的，杉木无性系育种技术通过广大林业工作者的实践，将会取得更多的突破，选育出更多更好的优良无性系。设想杉木无性系育种在生产中的推广大体分三个阶段：第一阶段是采用优良家系、优良杂交组合的实生苗进行大量无性繁殖，应用于造林。也可在优良种源和初级种子园的幼林中按入选率10%的原则进行混合选择，然后再进行大量无性繁殖，应用于造林。用1—3年的时间就能做到。种苗基础较好的地方也可以在“三优”种苗营造的幼林中按入选率10%的原则进行混合选择，然后经无性繁殖，应用于造林。第二阶段是在“三优”或其它种苗营造的幼林或即将采伐的成熟林中选择优良单株进行无性繁殖，然后用于造林，用4—6年的时间就能做到。以上两个阶段主要以选为主，选育结合，叫简单无性系。第三阶段是在优良杂交组合的种苗所营造的幼、中龄林中选择优良单株，进行大量无性繁殖，然后应用于造林，这叫复合无性系。农业和其它树种的实践证明，光靠选，增产是有限的，要获得更高的遗传增益，就得从杂交组合着手，选择优良亲本进行杂交。优良亲本的选择可从优良家系间选择，优良家系营造的子代林中选择无亲缘关系的优株杂交，种源间的优株杂交，也可将优良家系的子代林中选择的优株近交几代（使基因纯合），然后再从中选择无亲缘关系的优株进行杂交，再从杂交组合中选出具有杂种优势的优株进行无性繁殖，应用于造林，这必将大幅度提高遗传增益。

第一阶段到第三阶段不是分开进行，而是有机结合，同时进行。在无性系育种中要实行边选育、边测定、边推广、