

云南林产业主要树种培育技术丛书

北美红杉

Sequoia sempervirens (Lambpl) Endll

左显东 撰写

云南省林业科学院老科协
云南省林业技术推广总站

编著

2013年12月

《云南林产业主要树种培育技术丛书》

编辑委员会

顾 问：白成亮 陈玉侯

总 编：刘一丹 郭辉军

编 委：胡志林 孙安平 邓晓春 陆 斌

李丽莎 张裕农 范国才 王达明

张茂钦 郭立群

序

由云南省林业厅科技教育处、云南省林业科学院老科技工作者协会、云南省林业技术推广总站共同编辑的《云南林产业主要树种培育技术丛书》即将付印。《丛书》汇聚了云南省林业科学院老科技工作者协会专家们多年来的研究成果，是所有参加编著人员辛勤劳动的结晶。《丛书》对我省林产业的发展，必将发挥积极的推动作用。在此，我对该《丛书》的编辑出版，表示热烈的祝贺。

云南是全国的林业大省，森林资源十分丰富。林业在国民经济和社会发展中，具有十分重要的地位和作用。在云南省委、省人民政府的领导下，省林业厅根据《云南省林产业中长期发展规划》做了卓有成效的工作，我省林产业特别是木本油料产业建设，近年来有了很大发展；目前还将大力推进中低产林改造。但大资源、小产业、低效益的局面尚未根本扭转。为了加快我省林产业发展的步伐，加快林业产业结构调整，以提高林地生产力为核心，加强以资源培育为基础的第一产业，转变产业发展方式，加快科技进步，创新产业发展模式，更好地提供林业科技支撑，编辑出版《丛书》是十分必要的。

该《丛书》对我省林产业发展的主要树种的培育技术进行了系统介绍。《丛书》内容丰富、通俗易懂、可操作性强、具实用价值。可供广大基层林业工作者和林农在实际工作中参照使用。

在《丛书》出版之际，我衷心希望云南省林科院老科协的专家们，继续发挥余热，力所能及地进一步做好科技支撑工作，为全省林业产业的发展做出更大贡献。

云南省林业厅副厅长



2010年10月

前 言

云南省是中国的林业资源大省。在覆盖率占全省国土面积49.9%的广袤森林中，蕴涵着极其丰富的森林植物物种，复杂多样的森林类型，而在地势起伏气候多变的山地，却散布着成片的宜林地。这是大自然为云南林业产业发展给予的厚赐。

云南省林业厅在国家西部大开发战略的宏观指导下，遵循《关于加快林业发展的决定》的要求，依据云南林业资源大省的优越条件，制定了云南省的林业产业发展规划。在林业产业链中，不同树种的人工林培育，是基础之环、关键之环。从科学技术上支持云南人工林培育产业的发展，作好各树种高效原料林基地建设的技术服务工作，就是我们编写《云南林产业主要树种培育技术丛书》的初衷。

按云南省的森林植物物种的不同价值，以及林业产业发展的需要，拟定了入选《丛书》的30个树种。其入选树种分为用材树种（含制材、纤维板材、纸浆材树种）及经济林树种（含食用粮油、药用、生物能源、林产化工树种）两类。每一树种撰写的内容，皆从个体形态，分布及生长特性，经济或生态价值起，进入培育部分的良种选育及优良品种培育技术，采种育苗技术，造林技术，育林期的营林技术或种植园的经营技术，采伐更新技术或果实的采收调制与贮存技术等各培育技术环节，以求系统地介绍各入选树种的人工林培育技术。未了，均在可持续经营理念的指导下，对该树种的产业化规模种植的经营前景作论述。而在进行各内容的编写时，注重突显各培育环节的实用技术，亦随之纳入浅显的理论知识，以便基层的林业技术人员及林业种植户应用，而起到推动云南林产种植业发展的作用。

《云南林产业主要树种培育技术丛书》按入选树种分册成书。撰写《丛书》各分册的作者均是云南省林业科学院老科技工作者协会的成员。为按要求编撰好各个树种，他们都满怀激情地汇集自己毕生的研究成果，并广泛搜集相关资料，为《丛书》的编写可谓不遗余力，这是值得称道而标示的。

《云南林产业主要树种培育技术丛书》编辑委员会
2010年10月

目 录

一、形态特征	(1)
二、分布与生长特性	(2)
1、分布特性	(2)
2、林木的生长发育特性	(7)
三、经济及生态价值	(15)
1、经济价值评价	(15)
2、生态价值评价	(16)
四、良种选育技术	(19)
1、种源选择	(20)
2、优良林分选择	(20)
3、优树选择	(20)
4、各级良种基地的营建	(21)
五、采种育苗技术	(28)
1、种子的采收与处理	(28)
2、田间育苗技术	(31)
3、田间管理	(40)
4、起苗出圃	(42)
5、苗木分级	(44)
六、植苗造林技术	(45)
1、造林地的选择	(45)
2、造林方法	(48)
3、不同经营模式林的营造	(49)
七、育林期的营林技术	(51)
1、林地管理	(51)
2、林木的间伐抚育	(52)
3、病虫害控制	(53)
八、采伐与更新技术	(54)
1、主伐林龄的确定	(54)
2、采伐方式	(55)
3、更新方式	(56)
九、产业化规模经营前景	(58)
1、北美红杉实现产业化规模经营所显示的综合价值	(58)
2、北美红杉产业化规模经营的标准及其种植区划	(58)
3、实现北美红杉产业化规模经营的关键技术	(62)

一、形态特征

北美红杉别称世界爷、美国红杉。常绿高大乔木，树高可达 110m，胸径达 9m。树皮红褐色，厚达 15~25cm，纵裂。冬芽尖，芽鳞多数。大枝平展。叶二型，鳞叶螺旋状排列，贴生于小枝，或微开展，长约 6mm；条形叶排成二列，无柄，长 0.8~2cm，上面深绿色或亮绿色，下面有两条白色气孔带。花雌雄同株。雄球花单生枝顶或叶腋，有短梗；雌球花单生短枝顶端，珠鳞 15~20，胚珠 3~7。球果卵状椭圆形，褐色，长 2~2.5cm，径 1.2~1.5cm，下垂，当年成熟。种鳞木质盾形，顶部有凹槽。发育种鳞有 3~7 粒种子。种子淡褐色，椭圆状长圆形，两侧有翅，子叶 2。

二、分布与生长特性

1、分布特性

(1) 自然分布区与引种区的地理环境状况

北美红杉原产北美洲美国西部俄勒冈州到加利福尼亚州的太平洋沿岸，其分布区的地理位置为北纬 $35^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ，垂直分布范围为海拔 $24 \sim 945\text{m}$ ，以海拔 $30 \sim 760\text{m}$ 地带分布最多。在其自然分布区，生长在面海河滩、沟谷、丘陵、坡地的北美红杉，能形成高大浓郁的纯林。该地区现尚存 2200 年生，树高 110m 的北美红杉古老大树；在干旱的石质坡地，北美红杉则与花旗松 (*Pseudotsuga menziesii*)、美国花柏 (*Chamaecyparis lawsoniana*)、美国乔柏 (*Thuja plicata*) 等树种的林木形成混交林。19 世纪 80 年代，美国尚存北美红杉天然林 65.8万 hm^2 。

北美红杉是世界性的珍稀树种，其林木的的树体高大，材质优良，生长快，成林成材早，为世界各地相继引种。英国、法国、日本、南非、澳大利亚、加拿大、新西兰等 20 多个国家已成功引种北美红杉，并培育出抗寒性较强的北美红杉优良品种。引种区的地理环境大大超越了北美红杉自然分布地的地理环境状况。

20 世纪 70~80 年代，我国的浙江、云南、贵州、福建、四川等省相继引种了北美红杉。其引种地的纬度

范围为北纬 $25^{\circ}01'$ ~ $30^{\circ}51'$ ，海拔高度带为 24 ~ 2400m。纬度比原分布区南移 15° ，海拔高度比原分布区上升 1500 多米。

云南省在引种北美红杉获得成效之后，又继续进行其优良种源和无性系的引进，并进行了不同生境区的区域性栽培和丰产造林试验。云南省北美红杉栽培点的地理环境状况如表 2-1。

表 2-1 云南省北美红杉栽培点的地理环境状况

栽培点	北纬	东经	海拔高度/m	地形地势
昆明	$25^{\circ}01'$	$102^{\circ}37'$	1970	山地缓坡台地
龙陵	$24^{\circ}36'$	$98^{\circ}48'$	1527~2330	山地、山间台地
沾益	$25^{\circ}35'$	$103^{\circ}50'$	1898.7	丘陵地
屏边	$22^{\circ}59'$	$103^{\circ}41'$	1350.5	山上部坡地
丽江	$26^{\circ}52'$	$100^{\circ}26'$	2395.2	山地缓坡台地
江川	$24^{\circ}17'$	$102^{\circ}46'$	1727.5	山地上部
易门	$24^{\circ}40'$	$102^{\circ}10'$	1575.4	山地缓坡台地
邱北	$24^{\circ}02'$	$104^{\circ}01'$	1451.5	山地缓坡台地
昌宁	$24^{\circ}55'$	$99^{\circ}37'$	1659.3	山间河谷
澄江	$24^{\circ}40'$	$102^{\circ}54'$	1745.1	山间平地
寻甸	$25^{\circ}29'$	$103^{\circ}16'$	1869.1	山地缓坡台地
富源	$25^{\circ}40'$	$104^{\circ}15'$	1898.7	山地缓坡台地
会泽	$26^{\circ}25'$	$103^{\circ}17'$	2109.5	高山台地
宜良	$24^{\circ}55'$	$103^{\circ}10'$	1692.2	山间平地
文山	$23^{\circ}23'$	$104^{\circ}15'$	1246.3	山麓
中甸	$27^{\circ}50'$	$99^{\circ}42'$	3276.1	高山台地
昭通	$27^{\circ}20'$	$103^{\circ}45'$	1949.5	山地缓坡台地
马龙	$25^{\circ}25'$	$103^{\circ}37'$	2036.5	山原面台地
新平	$24^{\circ}04'$	$101^{\circ}58'$	1497.2	中山坡地
德钦	$28^{\circ}39'$	$99^{\circ}10'$	3592.9	高山台地

由表 2-1 看出，云南省北美红杉栽培点从北纬 $22^{\circ}59'$ 至 $28^{\circ}39'$ ，跨越 6 个纬度线；从东经 $98^{\circ}45'$ 至 $104^{\circ}15'$ ，跨越 6 个经度线；海拔高度从 1246m 至 3592m，相差 2300m；种植地大多是高山坡地、台地，与原产地相比较，差异悬殊。其纬度南移了 13° ，海拔上升了 1200~2500m，而栽培点的地形地势为高山峡谷，坡地台地。其栽培点的地理环境十分复杂，北美红杉林木生长的差异也很大，其中以北纬 $24^{\circ}04' \sim 26^{\circ}52'$ ，海拔 1450~2000m，栽培于山地缓坡台地上的北美红杉林木生长较好。

(2) 自然分布区与云南引种点的气候、土壤森林植被状况

在北美红杉自然分布区的美国加利福尼亚州至俄勒冈州，其年平均气温 $10^{\circ}\text{C} \sim 16.7^{\circ}\text{C}$ ，绝对高温 37.8°C ，绝对低温 -9.4°C ，无霜期 6~11 月，年降水 635~1878mm，降水集中在冬季。1 月份湿度最大，8 月份最干燥，夏季多雾，全年雾日 80~90 天，属亚热带和暖温带冬雨型湿润半湿润气候。土壤为中性至酸性的沙壤土、壤土、粘土。森林类型为亚热带常绿阔叶林或暖温带针阔叶混交林。

云南省北美红杉引种栽培点的气候指标、土壤状况及森林类型如表 2-2。

表 2-2 云南省北美红杉各引种栽培点的气候指标、土壤状况及森林类型

地点	温度/℃		降水/mm		年均湿度/%	
	年均温	绝对最高温	绝对最低温	年降水量		早季的降水率/%
昆明	14.7	31.5	-7.8	1014.4	11	73
龙陵	14.9	31.0	-4.8	2111.6	11.8	84
沾益	14.5	33.1	-9.2	1008.4	13	71
屏边	16.4	31.1	-1.7	1653.4	19	86
丽江	12.6	32.3	-10.3	935.7	11.8	63
江川	15.6	33.0	-5.4	890.8	15.5	74
易门	15.9	34.6	-5.0	814.4	17.5	76
邱北	16.2	35.7	-7.6	1199.0	15.4	78
昌宁	14.9	31.2	-5.1	1249.7	15.7	81
澄江	15.5	33.7	-4.4	957.5	13.8	75
寻甸	14.4	34.6	-13.9	1025.3	11.5	72
富源	13.7	34.9	-11.0	1106.7	12	75
中甸	5.4	25.4	-27.4	615.5	13.7	70
马龙	13.6	31.7	-12.6	1011.4	13.4	74
新平	17.4	33.9	-2.7	955.8	16.5	74
德钦	4.8	26.9	-13.3	631.5	23.3	71

地点	全年雾日/天	年日照时数/h	土壤		森林类型
			种类	pH 值	
昆明	6.1	2416	山地红壤	5.5~6.5	松栎混交林
龙陵	56.0	2058.1	山地黄壤	5.5	常绿阔叶林、 针阔混交林
沾益	5.2	2079.7	山地红壤	5~5.5	松栎混交林
屏边	109.4	1556.4	山地黄壤	5.2~5.6	常绿阔叶林
丽江	0.9	2517.9	棕壤		暖性针叶林
江川	13.3	2269.0	山地红壤	5~5.5	松栎混交林
易门	37.5	2256.5	山地红壤	6.0	松栎混交林
邱北	31.0	2014.6	山地红壤		松栎混交林
昌宁	97.4	2233.3	黄红壤		针阔混交林、 常绿阔叶林
澄江	0.3	2147.0	红壤		松栎混交林
寻甸	22.9	2109.7	红壤	5~5.5	松栎混交林
富源	18.7	1770.3	黄壤		针阔混交林
中甸	7.3	2189.0	棕壤		亚高山暗针叶林
马龙	16.2	2154.0	红壤	5~6	松栎混交林
新平	17.5	2228.5	黄红壤	5~6	松栎混交林
德钦	49.1	1967.1	棕壤		亚高山暗针叶林

表 2-2 表明，云南省北美红杉引种栽培点的年平均气温为 $4.8^{\circ}\text{C} \sim 17.4^{\circ}\text{C}$ ，绝对低温为 $-1.7^{\circ}\text{C} \sim -27^{\circ}\text{C}$ ，年降水量为 $615 \sim 2111.6\text{mm}$ 。降水均集中在 5~10 月，为夏雨型气候，冬春的降水量，除个别引种地占全年降水量的 20% 左右外，多数仅占全年降水的 11%~15%，而成为旱季。且雾日很少，除个别引种地全年雾日为 100 天左右外，其余都只有 0.9~49 天。空气湿度也较低。除少数引种地的年平均相对湿度在 80% 左右外，其余为 63%~75%。引种栽培点的日照充足，大多数引种地的年日照时数在 2000h 以上。

云南省北美红杉引种栽培点的土壤类型多为山地红壤，酸性、微酸性，比较干燥贫瘠；少数为黄壤、棕壤，较湿润。而云南省的北美红杉引种栽培地则涵盖多种森林类型。

云南省北美红杉引种栽培点这样复杂的气候、土壤条件与其原产地相比，差异很大，但北美红杉都能生存，当然，由于各引种栽培点气候、土壤条件的不同，北美红杉林木的生长发育状况也有很大差异。这些地方的栽培试验结果，为北美红杉在云南省的种植发展，提供了科学依据。

云南省北美红杉引种栽培点的引种试验结果表明，在年平均气温 $13^{\circ}\text{C} \sim 16^{\circ}\text{C}$ ，绝对低温不低于 -9°C ，年降水量 1000mm 左右，年平均相对湿度 74%~78%，年日照 2000h 左右的地区，北美红杉林木的生长发育较

为正常，雾日多少和土壤类型对北美红杉林木的生长影响不大。

2、林木的生长发育特性

(1) 生长周期与生长特点

北美红杉林木的生活周期很长。在原产地有生活了2200年的北美红杉古老大树。据此，百年生的北美红杉林木尚处幼龄期。云南省引种北美红杉才几十年，所引种的林木应是幼树阶段。从现有的北美红杉林木生长状况看出，其林木确实健康茁壮，呈现出一派欣欣向荣的景象。

云南省1975年引种的北美红杉林木的生长过程表明，4年生内林木生长较慢，树高0.54~1.14m，树高平均生长量0.135~0.36m，树径0.67~1.97cm，树径平均生长量0.135~0.493cm。5年生以后，林木生长增快。10年生林木的树高7.3~11.7m，树高平均生长量0.73~1.17m；胸径16~20cm，胸径平均生长量1.6~2.0cm。20年生林木的树高20.8m，树高平均生长量为1.04m；胸径32.4cm，胸径平均生长量1.62cm。30年生林木的树高34.2m，树高平均生长量1.14m；胸径90.3cm，胸径平均生长量3.01cm。

由以上生长过程看出，在云南引种地树龄为30年的北美红杉林木，其树高，胸径的平均生长量仍在继续上升。据国外资料，北美红杉林木40~50年生以后，

生长速度开始下降，但到 100 年生仍保持较高的生长量。300 年生的林木树高可达 100m 左右，其树高平均生长量仍保持在 0.3m；胸径可达 9m 左右，胸径平均生长量仍保持在 0.9cm。对云南引种地的北美红杉林木与原产地（美国）北美红杉林木的生长作比较（如表 2-3）。

表 2-3 云南引种地的北美红杉林木与原产地（美国）北美红杉林木的生长比较

生长地点	树龄/年	树高/m		胸径/cm		海拔高度/m
		平均	平均生长量	平均	平均生长量	
昆明	28	31.9	1.14	84.4	3.01	1950
昆明	22	18.17	0.83	30.35	1.38	1970
丽江	18	9.59	0.53	13.45	0.75	2400
昌宁	12	14.05	1.17	24.00	2.00	1820
新平	12	8.85	0.73	19.20	1.60	1528
美加州大学	19	20.18	1.04	30.8	1.62	246
美国旧金山	41	26.00	0.64	109.5	2.67	13

生长地点	纬度	经度	年均温/°C	年降水量/mm	年相对湿度/%
昆明	北纬 25°01'	东经 102°45'	14.7	1014	72
昆明	北纬 25°01'	东经 102°45'	14.7	1014	72
丽江	北纬 26°52'	东经 100°13'	12.6	935.7	65
昌宁	北纬 24°50'	东经 99°39'	14.9	1249.7	81
新平	北纬 24°04'	东经 101°58'	17.4	955.8	74
美加州大学	北纬 37°55'	西经 122°09'	16.0	650.0	
美国旧金山	北纬 37°48'	西经 122°26'	13.7	534.4	75

可看出，北美红杉林木（幼树期）在云南引种点的生长状况和原产地近似。在云南各引种栽培点，北美红杉幼树期林木的树高平均生长量为 0.53~1.17m，胸

径平均生长量为 0.75~3.01cm, 在美国, 北美红杉林木树高平均生长量为 0.6~1.04m; 胸径平均生长量为 1.62~2.67cm。北美红杉林木的生长, 一般是直径快于树高, 其高径比不完全是 100 : 1。云南引种的北美红杉林木的高径比为 40 : 1~60 : 1, 而原产地美国生长的北美红杉林木的高径比是 25 : 1~60 : 1, 显示出原产地北美红杉林木的直径生长比树高生长更快。在云南仍保持其直径生长快于树高生长的特性。

在云南引种点与原产地生态环境差异很大的情况下, 北美红杉林木的生长发育仍较正常, 并保持了其速生的优良特性, 说明北美红杉的适应性较强, 能在云南相适应的地方扩大造林。

(2) 年生长节律

昆明引种地的 7 个北美红杉种源幼树的年生长节律观测材料见表 2-4。

表 2-4 昆明引种地的 7 个北美红杉幼树的年生长状况

种源	一季度生长量		二季度生长量		三季度生长量		四季度生长量		全年度生长量	
	树高 /cm	胸径 /cm	树高 /cm	胸径 /cm	树高 /cm	胸径 /cm	树高 /cm	胸径 /cm	树高 /cm	胸径 /cm
SYA ₁	13.6	0.38	27.7	0.43	33.5	0.33	14.2	0.25	89.0	1.39
SYA ₄	7.8	0.24	21.5	0.31	32.2	0.36	10.8	0.27	72.3	1.18
SYA ₆	14.2	0.30	25.3	0.42	30.0	0.38	17.4	0.21	87.5	1.31
SYA ₇	12.4	0.23	18.6	0.32	27.9	0.34	19.6	0.24	78.8	1.13
SYA ₈	12.7	0.25	26.4	0.29	31.2	0.36	17.8	0.21	88.1	1.11
SYA ₁₀	8.3	0.14	17.2	0.28	29.5	0.32	9.4	0.24	64.4	1.03
SYA ₁₁	12.4	0.23	15.3	0.27	23.8	0.29	14.4	0.18	65.9	0.97

昆明引种地的 7 个北美红杉种源幼树的年生长节律观测材料（表 2-4）。7 个种源的北美红杉幼树，在昆明栽培点的年生长节律基本一致。一季度气温开始上升，但很干旱时，其林木即开始生长，至二季度气温升高，降水增加时，林木的生长增快，三季度气温较高，降水充沛，林木的生长达到峰期，四季度气温下降，降水减少，林木的生长下降。到四季度末，气温下降到 7~8℃，且干旱来临，林木停止了生长。其中二、三季度（5~10 月）为雨季，也是夏季，这虽然有悖于原产地冬雨夏旱的气候特点，但北美红杉林木也能在这种水热同季的生境条件下快速生长，其树高生长量为全年生长量的 66.6%，胸径生长量为全年的 60%。

从林木的年生长节律看出，北美红杉更适应温暖湿润环境，也能忍受冬春低温干旱。

（3）主干与侧枝的生长关系

北美红杉林木主干的生长十分突出，30 年生的林木其主干的胸径达 90cm，但侧枝纤细，径粗仅 2~4cm，长 2~4m，与主干近垂直着生，而呈横向平展状，使北美红杉林木显出规整的塔形树冠，显示林木的上端优势较强，主干高大通直，圆满茁壮，出材率高；亦表现出枝秀、冠雄的壮丽树型。

（4）萌发特性

北美红杉林木的萌发能力很强，700 年生的古老大树仍具萌发能力。其主干基部根颈处的不定芽成丛萌

生，特别是苗木初植时，在土壤水分较少主梢生长较慢时，植株基部的不定芽则萌生形成多干，尤以无性繁殖的苗木较明显。此特性对其植株主干的生长不利。所以植苗时，必须深栽，将泥土埋过苗木根颈，以抑制其不定芽的萌生。在种植之后，若发现萌生条，应予剔除。

北美红杉林木的此种萌发力强的特性，有利的方面是，可采用基部的萌生条进行植株的无性繁殖（扦插、组织培养），而易生根成苗和绿芽分化。

(5) 发育特性

昆明栽培点的北美红杉物候期与气温、降水、日照的关系如表 2-5。

表 2-5 昆明栽培点的北美红杉物候期与气温、降水、日照的关系

项目	芽萌动期	展叶抽梢期			停止生长期 (顶芽形成)
		春梢期	夏梢期	秋梢期	
时间/月·日	2.16~3.27	3.5~4.20	5.8~7.12	8.25~10.15	12月中~ 1月下
月平均温度/℃	9.6~12.9	12.9~16.4	19.1~19.7	19.2~15.0	8.1~7.7
月降水量/mm	5.5~13.5	13.5~14.5	146~222	335~54	9.6
月日照时数/h	233~272	272~262.8	231~145	144~171	215~236

项目	花期		果期		
	现蕾期	盛花期	发育期	成熟期	脱落期
时间/月·日	9月中旬~ 10月中旬	1月下旬~ 2月下旬	5~9月	9月下旬~ 10月下旬	1月上旬~ 2月下旬
月平均温度/℃	15.0~11.3	7.9~9.6	19.1~19.7	15~11.3	7.7~9.6
月降水量/mm	34~54	9.6~5.5	146~333	54~24	9.6~5.5
月日照时数/h	153~156	236~233	231~171	153~156	236~233

根据表 2-5 材料，在昆明栽培点，北美红杉树于

早春二、三月份即开始萌动，这一时期的月平均气温达 10°C 左右，但降水很少，月降水量仅 10mm 左右，相当干旱，且日照很强，月日照时数达 200 多小时。第一次抽梢展叶（春梢）是 3 至 4 月（北美红杉林木是先抽梢，后展叶），这时气温上升，月平均气温 16°C ，但降水少，正值旱季，日照强，抽梢较短。第二次抽梢（夏梢）在夏季的 $5\sim 7$ 月，气温达到 19°C 以上（昆明的最高日平均温度），降水充沛，日照相对减弱，抽梢旺盛。第三次抽梢（秋梢）在 $8\sim 10$ 月，这时日平均气温仍保持在 $19\sim 15^{\circ}\text{C}$ ，且最大月降水量达 333mm ，故秋梢生长也很旺盛，出现比夏梢生长量略高的生长峰期。到 12 月~ 1 月，月平均气温下降到 10°C 以下，降水减少，且降水量仅 10mm 左右，而日照增强到月日照时数达 236h ，此时北美红杉林木形成顶芽，停止生长。由此看出，北美红杉林木的生长期与气温升高、降水增加、日照减弱有关。气温与降水上升到最高，日照减弱到最低之日，就是北美红杉林木年生长量达到顶峰之时。

北美红杉林木开花结果过程中的现蕾期为 $9\sim 10$ 月，此时气温开始下降，降水减少，日照增强；盛花期是次年的 $1\sim 2$ 月，此时气温降至最低，月平均气温为 $7\sim 8^{\circ}\text{C}$ ，月平均降水量亦减少到最低，不足 10mm ，而月日照时数却上升到 230 多小时，即气温最低，月降水量最少，日照最强之时，就是北美红杉林木盛花之时，与

其生长相反，也与原产地冬雨潮湿的生境切然相悖，但北美红杉林木仍能完成传粉授粉受精过程。

北美红杉林木果实发育期为 5~9 月，此时昆明正值水热同期的雨季，其最高月平均气温达 19℃ 以上，最大月降水量达 333mm，正是林木生长的旺季，而有利于树体营养物质的积累，以供其果实发育之需。到 10~11 月，果实成熟，种子具有发芽力，到次年 1~2 月旱季果鳞张开，种子脱落飞散，果实亦相继掉落。

表 2-6 不同种植环境下的北美红杉林木发育状况

种植地点	开花年龄/年	结实年龄/年	种子有无发芽/个
云南昆明	9	10	有
云南丽江		18	
云南新平		9	有
云南昌宁		10	
贵州贵阳		9	有
四川都江堰	11	16	
浙江舟山		9	有
原产地美国		5~15	有

表 2-6 的材料说明，在我国昆明、新平、昌宁、贵阳、舟山等种植地，北美红杉林木开花结实发育成熟的年龄为 9~10 年，相当一致，且所生产的种子具有发芽力。其林木开花结实的年龄也与美国原产地的北美红杉林木基本一致。表明其林木的遗传性状比较稳定。但在丽江种植点，北美红杉林木的开花结实年龄则明显推迟到 18 年生，原因是受高海拔（丽江种植点的海拔高度为 2400m）、低气温（年平均气温 12.6℃）的影响。

而在四川北纬 $30^{\circ}51'$ 的都江堰市种植点，北美红杉林木的开花结实年龄也略有推迟。表明在生态环境变化较大时，北美红杉林木开花结实年龄也会出现一定差异。

三、经济及生态价值

1、经济价值评价

北美红杉林木生长快，速生持续时间长，易培育大径级用材，在原产地，40年生的北美红杉林木，平均树高30m，平均胸径90cm，平均单株材积 9.36m^3 ；100年生以上的北美红杉林木长势不衰，仍能保持较高的生长量。北美红杉林木的树干圆满通直，分枝细小，出材率高，无节或少节。其木材材质优良，不翘不裂，纹理直，无扭曲，干缩系数小，耐腐性强，胶合性能好，油漆性能佳，无虫害；木材用途广，国外主要用于建筑、箱板、桶材、家具、船舶、屋顶板、冷却塔、胶合板等用材。其木材的经济价值较高。

北美红杉林的木材蓄积量高，经济产材效益优厚。现将云南几种优势用材树种云南松（*Pinus yunnanensis*）、思茅松（*Pinus kesiya* var. *langbianensis*）、杉木（*Cunninghamia lanceolata*）的幼龄林、中龄林标准林分及低产林分每公顷的林木蓄积量及林木年材积生长量与北美红杉林作比较，如表3-1。

由表3-1材料说明，北美红杉幼林，中龄林林分的林木蓄积量，不但比云南几种优势用材树种的低产林分高，而且还高于标准林分，表明在云南经营北美红杉

林，将获得比经营云南松林、思茅松林、杉木林更高的木材产量，产生较高的经济效益。特别是用作这几种乡土优势树种低产林分的改造，其经济效益更加明显。

表 3-1 北美红杉幼龄林、中龄林与云南几种优势用材树种幼龄林、中龄林的标准及低产林分的林木蓄积量比较

树种	林分类型	每公顷林木蓄积量/ m^3		每公顷林木材积生长量/ m^3	
		幼林	中龄林	幼林	中龄林
云南松	标准林分	46	75	3.0	3.0
	低产林分	34	56	2.25	2.25
思茅松	标准林分	83	124	5.5	4.9
	低产林分	34	56	2.25	2.25
杉木	标准林分	53	158	10.5	10.5
	低产林分	30	60	3.0	3.0
北美红杉		112	224	11.2	11.2

此外，北美红杉树高大挺直，树形优美，是园林绿化的优良树种。营建高大浓郁的城市森林或单株独树的草坪景观，效果独特。北美红杉易繁殖，可通过用种子、插穗培育苗木或采取组织培养等方式培育大批量的苗木。特别是组培能在短期内繁殖其优良的无性系后代，而保持其母本的优良性状，达到优质苗标准。北美红杉苗的栽植成活率高，生长良好。更显出其作为城市绿化树种的优良经济效益。

2、生态价值评价

(1) 涵养水源效应

北美红杉林木生长快，5年生左右其幼林郁闭而覆

被林地，可减少林地 34% 左右的土壤水分蒸发量。40 年生的北美红杉林分，林木平均高 30m 左右，林分郁闭度达 0.8~0.9，可截留 20% 的降水；其林木的树皮厚可达 15~25cm，可充分吸收降水；在高大林冠下的众多耐阴性的小乔木、灌木、草本植物及其枯落物，均可截留降水，而缓慢渗入林地土壤。北美红杉林一方面使林地的地表径流量减至不到 10%，同时渗入林地的降水则形成潜流而转化为溪沟细流。据资料介绍，每公顷北美红杉林的年蓄水量可达 7947m³。

(2) 林地的固土增肥效应

由于北美红杉林的林冠浓郁，浓郁的林冠截留降水不致直接冲击林地土壤，而减弱了地表径流，也就减少了林地土壤的流失。另据资料，北美红杉林木的根系具有较强的固持土壤的能力。其粗度 0.8mm 的须根固土量达 1.3kg，每公顷森林植物根系达 15~25t，可固持土壤 385.5t。

北美红杉林还具增加林地土壤肥力的能力。其浓郁的林冠覆被林地，林内湿润温暖，增强了林中各种微生物-真菌、细菌和土壤动物的分解活动，促成对森林植物枯落物和森林动物遗骸的分解，使其热能返回太空，矿质元素回归大地，从而增加林地土壤的肥力。

(3) 固碳效应

高大的北美红杉林，在进行光合作用时，吸收固定大气中的 CO₂(二氧化碳)合成碳水化合物[4C(H₂O)]₄，

减少大气中的 CO_2 含量，有利于减少大气温室效应。同时释放出氧气 (O_2)，增加大气中的氧 (O_2) 含量，有利于人体健康。

四、良种选育技术

1、种源选择

同一树种的林木，由于长期生长在不同的气候土壤环境，而产生遗传性状不同的群体，表现出其生长发育和适应性的变异，因此把来自不同生长地（种源）的同一树种的林木，栽培在同一立地条件和不同的立地条件下进行比较，在同一立地条件下比较各种源林木的生长发育能力，在不同立地条件下，比较各种源的林木对环境的适应能力，据此，寻求该树种各种源的适用区，用其种源材料在其适用区繁育造林，就可获得较大的增益。

我国引种北美红杉较晚。地区种质来源少，遗传基础狭窄，但引种试验发现，其遗传差异突出，为充分应用北美红杉的优良特性，而开展了其种源选择试验。对引进的编号为 SYA_{1P}、SYA_{9P}、SYA_{10P}、SYF_{11P}、SY_{ssE}_{12P}、SYA_{2C}、SYA_{3C}、SYA_{4S}、SYA_{5S}、SYA_{7S}、SYA_{8S}、SYA_{6S} 的 12 个北美红杉种源和无性系，采取随机完全区组造林设计。其造林地进行全面整地，且造林方法一致。试验结果表明，所引进的 12 个北美红杉种源和无性系林木的造林保存率、树高、胸径的生长状

况、抗逆性均出现明显差异。其中 SYA_{3C}、SYA_{4S}、SYA_{9P} 的适应性较强，所繁育的林木生长良好。SYA_{1P}、SYA_{2C}、SYA_{3C} 越冬抗寒性较强。其繁殖材料可供相应环境造林用。

2、优良林分选择

北美红杉林木的结实年龄较早。在滇中、滇西地区，10年生即开始开花结果，15年生以后，正常结实，种子发芽率高。现有的北美红杉人工林，种子大小年不明显。其引种区北美红杉优良林分的标准为：林分年龄15~30年（最早栽培的北美红杉林），林分郁闭度0.6~0.7，林分林木的平均树高12~24m，平均胸径15~60cm，其树干通直圆满，自然整枝良好，无严重病虫害。

3、优树选择

引种地北美红杉的优树选择宜在其优良林分中进行。所选优树的年龄要求15~30年，其林木正值开花结实盛期（开花结果盛期在原产地可保持300年以上）。首先在环境相同的条件下，进行北美红杉林木的生长量比较，以具明显生长优势的单株作为北美红杉的候选优树。采用5株优势木法，以其候选优树为中心，在半径15~25m的样地范围内，实测5株优势木，计算其林木的树高、胸径平均值，与候选优树相比较，若候选优树的树高和胸径值大于其优势木的15%和10%，

则确定其为优树。亦可用小标准地法评选，在候选优树的周围，设置小标准地，实测标地中的 30~50 株立木的树高、胸径值，计算平均材积。若候选优树的材积，达标准地林木平均材积的 2.5 倍以上则确定其为优树。

4、各级良种基地的营建

(1) 种源类型区划

从美国加利福尼亚州太平洋沿岸的 Delnorte 县，Medocino 县以及 Humboldt 县等引进了 12 个北美红杉种源和无性系，分别编号为 SYA_{1P}、SYA_{9P}、SYA_{10P}、SYF_{11P}、SY_{SS}E_{12P}、SYA_{2C}、SYA_{3C}、SYA_{4S}、SYA_{5S}、SYA_{6S}、SYA_{7S}、SYA_{8S}，进行了此 12 个北美红杉种源和无性系的栽培试验研究。依据试验研究结果，将此 12 个北美红杉种源和无性系归纳为 4 种生态环境型种源。

①温暖湿润环境型种源 此生态环境型种源的编号为 SYA_{6S}、SYA_{7S}、SYA_{8S}。这三个种源适用于年平均温 15~17℃，绝对低温不低于 -4.8℃，年降水量 1600~2095mm，年平均相对湿度 84%~86%，且多雾，年日照 1200~1465h，土壤为山地黄壤的引种地。其 3 年生林木的树高平均生长量为 0.25~0.31m，径平均生长量为 0.45~0.52cm。

②温暖半湿润环境型种源 此生态环境型种源的编号为 SYA_{1C}、SYA_{3S}、SYA_{3C}、SYA_{4S}。此 4 个北美红杉种源适用于年平均气温 14.5~16℃，绝对低温不低于-

7.6℃，年降水量 1000mm 左右，年平均相对湿度 72%~81%，少雾，土壤为山地红壤的无冻害、无旱害地区。其 12 年生林木的树高平均生长量为 0.73~1.17m，胸径平均生长量为 1.6~2cm。用 SYA_{3S} 种源繁衍的 22 年生北美红杉林木的树高平均生长量为 0.83m，胸径平均生长量为 1.38cm，且 9~10 年生开始开花结果。SYA_{3C} 种源繁衍的 4 年生北美红杉林木的树高平均生长量 0.33m，径平均生长量 0.49cm，树高在 1.3m 以上的植株占 52.6%。而用 SYA_{4S} 种源繁衍的 4 年生北美红杉林木的树高平均生长量达 0.28m，径平均生长量为 0.49cm，树高 1.3m 以上的植株率为 33.3%。

③温凉干燥环境型种源 为 SYA_{3S} 等北美红杉种源。在海拔 2400m，年平均气温 12.6~14.5℃，绝对低温-10.3℃，年降水量 900mm 左右，年平均相对湿度 63%以上，土壤为棕壤的适用区。其所繁衍的 20 年生北美红杉林木的树高平均生长量为 0.53m，胸径平均生长量达 0.75cm。

④高寒山地低温环境型种源 涵 SYA_{4S}、SYF_{11P} 等种源和无性系。为海拔 3276~3592.9m，年平均气温 4.8~5.6℃，绝对低温-13.3~-27℃，年降水量 615.5~631.5mm，年平均相对湿度 70%~71%，土壤为棕壤的亚高山暗针叶林区。若采取一般性防寒措施，即冬季用草蓆覆盖树冠，用此种源和无性系繁衍的北美红杉林木能生存下来，并保持一的生长量。应用 SYA_{4S} 种源繁

衍的4年生北美红杉林木，树高平均生长量0.44m，胸径平均生长量0.18cm。；而用SYF_{11P}繁衍的北美红杉林木树高平均生长量0.07m。现处于幼树阶段，其今后的生长状况有待观察。

试验研究结果表明，引入的不同北美红杉种源，对环境的适应差异显著。在造林地确定之后，应选用相应的北美红杉种源和无性系作为繁殖材料，以求取得较大的增益。

(2) 母树林的营建

30年来，在云南已营建了一定面积的北美红杉人工林，有的已开始开花结果，可在这些人工林中，选择优良林分营建北美红杉母树林作为采种基地。选交通方便，地势平缓，有水源，便于旱季灌溉的地段生长的北美红杉优良林分为营建母树林的林分。选定之后，进行疏伐，保留I、II级木，伐去林分中的IV、V级木和部分III级木。通过疏伐调节其立木的株行距约4m×4m或4m×5m，使林分透光、通风，并采取松土除草施肥等措施，以促进所营建的北美红杉母树林大量开花结果。

(3) 实生种子园的营建

北美红杉结实年龄较早，一般9年生的林木便开始开花，10年生的林木开始结果，因此营建北美红杉实生种子园的成效迅速。

北美红杉实生种子园宜建在交通方便、地势平缓，坡度不超过15度，土层厚在1m以上，有水源的地方。

陡坡、低湿洼地、岩石裸露地以及土壤浅薄的地方不宜选作园址。对选定的园址进行种植区、道路、排灌系统等设施的规划建设。

采集北美红杉优树的种子育苗，以其优级苗作为营建北美红杉实生种子园的材料。定植建园时进行全面整地，清除园地内的石块，树根，杂草。按 $2\text{m} \times 3\text{m}$ 初植株行距挖塘定植。待 5~10 年后，选留优株，伐去生长较差的立木，而将其林木种子园的株行距调整为 $4\text{m} \times 6\text{m}$ 。北美红杉实生种子园所挖定植塘的规格为 $60\text{cm} \times 60\text{cm} \times 60\text{cm} \sim 80\text{cm} \times 80\text{cm} \times 80\text{cm}$ 。施入底肥与塘土拌均匀后定植。定植 2 个月后，检查成活率，对缺塘进行补植。

对北美红杉实生种子园每年进行松土、除草、施肥管理。园地施肥两次。第一次在春夏之交施追肥；第二次在秋冬之际，施基肥，并进行旱季浇水，防治病虫害的管理工作。

(4) 无性系种子园的营建

经过优树选择和子代鉴定，而确认具优良遗传品质的北美红杉植株。对所评选出的北美红杉优良个体可用扦插、嫁接、组培等方式培育其无性系苗木，用于营建北美红杉无性系种子园。

北美红杉无性系种子园园址选择、整地、定植和林地管理同于实生种子园。但定植时勿需较大的初植密度，其定植的株行距为 $4\text{m} \times 4\text{m}$ 或 $4\text{m} \times 6\text{m}$ ，因为无性系

苗木能保持其母本的优良性状，而不必再行疏伐。只是在定植初期的1~4年内，因幼树矮小，林地裸露，园地必须种植蝶形花科的矮秆、短藤作物，以覆盖林地，以耕代抚而增肥地力，并增加种子园的收益。

在对北美红杉无性系种子园进行管理时，特别注意北美红杉植株基部的不定芽萌生旺条，而影响其主干的生长。在栽植北美红杉无性系苗时应深栽，覆土要超过苗木的根颈，以减少其根颈处不定芽的萌发。定植后，应及时除萌，以促进苗木主干的生长。但主干过高，也不利于采种、取穗，因此待无性系种子园中的北美红杉植株生长到一定高度（10m以下）时应进行定干修剪，以培育健壮侧枝开花结果。

（5）采穗圃的营建

云南省林业科学院为使引进的北美红杉优良种源和无性系得以保存和推广，在昆明树木园建立了北美红杉采穗圃。采穗圃涵19个北美红杉种源和8个北美红杉无性系。建圃所用的苗木为实生苗、扦插苗、组培苗几种。现对其建圃技术作介绍。

建于昆明树木园的北美红杉采穗圃位于海拔1960m的树木园缓坡台地，其坡度在 6° 以内。年均温 14.7°C ，绝对最低温 -7.6°C ，年降水量900~1000mm，年平均相对湿度72%，土壤为第三纪古红土层和玄武岩发育的山地红壤，pH值5~5.5，土层厚度达1m以上。

根据现有土地面积及北美红杉种源和无性系的数

量，规划建圃面积 5 亩左右。分为三个区，Ⅰ区为无性系定植区，Ⅱ区为种源定植区，Ⅲ区为补充引种定植区。分别从美国四个县区，法国，以及我国的台湾、杭州、贵州引入 19 个种源和 8 个无性系。编列各个种源和无性系顺序号，按顺序号依次栽植。

依据北美红杉树种萌发特性和圃地条件，并参照美国加州大学试验林场北美红杉采穗圃和辛普森公司林场北美红杉采穗圃的定植方式，采用双行定植，双行内株距 80cm，行距 80cm，双行间距 150cm。定植前精细整理圃地，挖定植塘，塘的规格为 60cm×60cm×60cm。每种植塘施底肥（复合肥）50~100g，呋喃丹 10g，按编号顺序依次种植。

根据北美红杉萌发性强，特别是植株基部萌发力更为旺盛，可以产生粗壮萌发条供繁殖材料的特性，对昆明树木园北美红杉采穗圃的采条树型进行设计。为三种采条树型。

其一，截干取萌型。定植 3~4 年后，北美红杉植株主干的地径大于 3cm 时，在主干离地面 5cm 处截除树体，培育基部萌条。每次采条后必须浇水施肥，保持圃地土壤湿润肥沃，促进截干下一批的萌条生长。此种树型所产出的萌条直立粗壮，品质好。

其二，高干圆柱型。定植 3~4 年后，从主干离地面 2m 处截断北美红杉树体，并将留干侧枝从离树干 20cm 处剪除，以促进树体的萌条发生。此种采条树型

的优点是采条范围广，穗条产量大，穗条品质好，但需年年整形修剪。

其三，低干平头型。定植 2~3 年后，在主干离地面 80cm 处截去树体，在其留干上选留分布均匀的粗壮侧枝，剪去侧枝端部而与主干等高，并修剪内膛枝、重叠枝。此种树型的优点是整形修剪容易，但产条量较少。

在北美红杉采穗圃从定植到定干整形修剪的初期，为促进主干植株快速健壮生长，应加强圃地的管理，松土、除草、每年施肥 2~3 次；旱季经常浇水，保持圃地土壤湿润。到采条期，一般每年采条 2~3 次，采条后须对采穗圃地施肥浇水，补充土壤肥力，以促进北美红杉定干植株萌发新条，同时亦应加强病虫害的防治工作。

(6) 各级良种基地技术档案的建立

对北美红杉各级良种基地都应建立技术档案。记述良种基地的地理位置、所在地名、毗邻单位、基地的四至界限、海拔高度、气候指标、土壤条件，建立时间，基地面积，原生植被，树种名称，繁殖材料来源，整地方法，定植方法，株行距，每亩定植株数。

每年实测各北美红杉良种基地林木的生长发育状况、物候、病虫害情况及其防治。亦应对各种北美红杉良种基地的年采种、采条情况以及经营管理措施等记录建档。

五、采种育苗技术

1、种子的采收与处理

在原产地北美红杉林木 5~15 年生发育成熟，开始开花结果。盛果期在 60 年生以后。在昆明，北美红杉林木 9~10 年生开始开花结果，所产种子有发芽力；在丽江，北美红杉林木 18 生才开始开花结果。说明环境条件变化，对其林木发育成熟年龄将产生影响。北美红杉林木果实的丰欠年不明显。

其果实成熟的时间是每年的 9 月下旬~10 月下旬。果实由绿色变为黄绿色或褐色，并有少数果鳞张开，即标志成熟，可以采收。北美红杉林木树体高大，但侧枝较密而短，果实都生长在侧枝顶端，可攀援上树，用高枝剪剪取枝端的球果。采果时勿伤侧枝，以免影响林木次年开花结果。亦可在树冠下铺设布垫或塑料薄膜，让其种子掉落于上收集。但此种方式容易造成种子飞散损失。

采回的北美红杉果实，置于室内通风干燥处 7~10 天后晾干，此时果鳞张开用木棍轻击球果，种子脱出，筛去杂质，即得纯净种子，用布袋装置，放在阴凉通风干燥处贮存。贮存期防止受潮霉变，及鼠虫危害。自然干燥的北美红杉种子，在室温条件下，发芽力可保持半年。

据原产地经验，在 $-2\sim 5^{\circ}\text{C}$ 条件下密封贮藏的北美红杉种子，发芽率保持很好，但从冷库取出后，种子的发芽率很快降低。含水量 $6\%\sim 10\%$ 的北美红杉种子在 5°C 条件下密封贮藏3年，仍有 14% 的发芽率。种子贮藏16年后则完全丧失发芽力。

在北美红杉的种子采收贮藏期，为掌握种子的质量，应取样进行检验。检验的项目为：果实的出种率，种子纯净度，种子饱满度，种子千粒重，种子的发芽率（室内发芽率、场圃发芽率）、发芽势等。果实出种率，为所采集果实的重量与收获种子的重量之比。种子纯净度是随机抽取一定数量的北美红杉种子，筛去杂质后测定所获纯净种子的重量与未筛去杂质种子重量之比。种子饱满度，是抽取一定数量的北美红杉种子切开观察其种仁是否饱满正常。其种子饱满度就是取样种子与饱满种子之比。种子千粒重的测定是随机抽取一定数量的北美红杉种子摊于桌面，分别取东西南北中五个部位的100粒种子称重，据此计算其1000粒种子重量的平均值，即为该批北美红杉种子的千粒重。千粒重以克为单位。北美红杉种子室内发芽率测定是随机抽取500~1000粒北美红杉种子，每100粒置于一个培养皿中的纱布或滤纸上，加水浸湿，放在恒温箱内作发芽培养，每天检查、记录各个培养皿中种子的开始出芽时间，出芽种子数，并将出芽的种子剔出，直至种子出芽结束。计算每个培养皿出芽的种子数，依据所有培养皿的种子

出芽数量，计算该批北美红杉种子的发芽率和发芽势。其室内发芽率即供试种子数与出芽种子数之比，以“%”比表示。北美红杉种子的场圃发芽率，是将供试种子，直接播入苗床，在人工浇灌条件下，观察记录种子开始出苗的时间，每天出苗数量以及出苗结束时间。依据观测数据计算该批北美红杉种子的场圃发芽率和发芽势。所谓发芽势是指在该批供试北美红杉种子的发芽试验中，发芽最多的几天的种子发芽率。如发芽最多的20天内的种子发芽率为18%，则其20天内种子发芽势即为18%。

根据检测，昆明19年生的北美红杉林木所结的球果每个球果有种子36~68粒，平均56粒，鲜果出种率14.4%，种子纯净度90%，种子千粒重3.4g，每千克含种子29.4~33万粒，种子的发芽率14%。与从美国加利福尼亚州及其Dclnovte县、Dendocino县和Humboldt县引进的北美红杉种子作比较（如表5-1）。

表5-1 昆产北美红杉种子与美国4原产地引进
北美红杉种子的质量比较

检测项目	种子来源				
	昆明	美国加州	美国Dclnovte县	美国Dendocino县	美国Humboldt县
纯净度/%	84	88.6	88.0	93.0	92.0
含水率/%	19.7	17.5	17.9	19.5	16.5
千粒重/g	3.87	6.62	5.04	6.23	5.87
生活率/%	79.0	85.0	87.0	91.0	87.0
发芽率/%	14	16.7			

比较看出，昆明 19 年生北美红杉林木的种子质量略低于原产地。原因是昆明生长的北美红杉林木尚处于结实初期。但其种子的发芽率与美国原产地的种子相近，是很有前途的。

2、田间育苗技术

(1) 实生苗繁育

①选地建圃 培育北美红杉实生苗的苗圃地，宜选择在温暖湿润，交通方便，地势平缓，土壤疏松的地方。如是缓坡山地，其坡度不超过 $5^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 。石灰岩裸露山地、瘠薄石砾土地、低洼湿地、菜地均不宜作为其育苗圃地。所选用的苗圃地应有灌溉水源，且雨季排水方便。

对选好的圃地，进行全面整地，捡去石块，草木根。并作苗床、步道的区划，按区划筑床并搭建荫棚。苗床一般筑成床面高度与地面高度一致的平床；如苗圃地比较低湿，则建高床，即床面高于地面 $20 \sim 30\text{cm}$ ；坡地或干燥地方的圃地则建低床，使床面低于地面，便于保持床土湿度。苗床宽度常用 0.9m ，而便于操作，长度视地形地势而定，一般 $4 \sim 5\text{m}$ 。缓坡圃地应沿等高线筑床，苗床的长边与等高线平等。

筑好苗床之后，进行床土消毒。用 500 倍高锰酸钾液或 800 倍福尔马林溶液，喷洒苗床土壤至 20cm 深。如用高锰酸钾溶液对床土进行消毒，洒药 24 小时后即

可播种育苗。如用福尔马林溶液对床土进行消毒，洒药 7 天后才能播种育苗。

②播种育苗 北美红杉的种子无休眠期，不需作催芽处理。其播种育苗的时间一般是每年的 2~3 月。播种方式分条播与撒播两种。

条播：在苗床上开播种沟，沟宽 1cm，深 0.3~0.5cm，长度与苗床宽度一致。播种沟间的距离 5~8cm。每平方米苗床可开播种沟 12~20 条。按 14% 的种子出苗率计算，每平方米苗床的播种量为 0.8~10g（预计每条播种沟出苗 20~30 株）。种子播下后，用细土覆盖，覆土厚度 0.2cm（薄薄地盖土，以不见种子为度）。覆土之后，再盖上松针或稻草，浇透水。北美红杉种子播后 10~20 天开始出苗，子叶 2 枚，50 天左右出苗结束。

撒播：将北美红杉的种子均匀地撒入苗床，播后用细土覆盖种子，覆土厚度仍不超过 0.2cm，以不见种子为度。其撒播的播种量与条播相近，每平方米苗床 10g。预计每平方米苗床出北美红杉苗 350 株左右。

若培育北美红杉大苗，可采取两段式育苗方式。先于苗圃地培育小苗，然后移栽入容器或大田培育大苗。一般于北美红杉幼苗苗高 4~6cm 时移栽较适宜。用移植铲斜插入土起苗，起苗后勿使苗木曝晒，应保护好幼苗的根系、顶梢，及时栽入已准备好的容器或大田（苗床）内，移栽时用竹棍先在容器或大田苗床土中插

—深约 8~10cm 的植苗孔，轻轻地将北美红杉小苗的根系放入植苗孔，用手指压实植苗孔周围的土壤，使之与根系紧密结合，浇透水。将已移植幼苗的容器整齐地紧排在荫棚之下。而已移苗的大田苗床则需搭建荫棚，以避免烈日曝晒苗木使之萎蔫。

北美红杉两段式育苗中的容器育苗，也可于“芽苗”时移植，即在北美红杉的种子发芽，子叶出土时即行移植。移植时精心操作，技术熟练，动作快，不伤幼根和芽。此种移苗方式的成活率高，苗木生长快。

(2) 无性苗繁育

①扦插育苗 北美红杉扦插育苗比较容易，成活率较高。

培育北美红杉扦插苗用的临时插床可用苗圃地的平床改造而成。将平床深 25cm 的床土挖去，于底层垫 5cm 厚的公分石，并开设盲沟，便于排水，然后铺上厚度为 20cm 的人工配制的插壤。插壤用河沙、红土、细碳渣（或腐殖土）各 1/3 配成。铺平插床即可。而半永久性的扦插床是用砖砌成的高 30cm、宽 90cm、长 3~5m 的插床。其底部仍铺垫 5cm 厚的公分石或粗炭渣，并开设盲沟（在扦插床底部）2~3 条，用公分石或粗炭渣铺平，然后铺上人工配制的插壤，若是人工浇水的插床，其插壤与临时插床用的插壤相同。若是带有自动喷灌系统的插床，则铺用厚 20cm 的蛭石、珍珠岩粉为插壤，并安装好自动喷灌设备，经试验合格后投入使

用。

培育北美红杉扦插苗的扦插时间分春插和秋插两种。春插在2月中~3月初的林木抽梢前；秋插在7~8月。春插时，剪取5年生以内的北美红杉幼树的枝条或10~20年生的北美红杉大树基部的萌生条做插穗，其生根率较高。插穗长8~12cm，剪去插穗下部1/3处的叶片，基部剪削平整或呈马耳形。剪穗时勿损伤穗条的皮层。秋插剪取北美红杉林木当年生的半木质化枝条做插穗。为便于计数和处理，每20枝插穗用塑料带或橡皮筋捆成一束。插前插穗束用0.2%多菌灵浸泡30分钟消毒，取出时用清水洗净。并配制生根刺激药剂对插穗进行处理。其生根刺激药剂一般用浓度为100~200mg/L（1000mL升水加100~200mg药剂）的吲哚乙酸、吲哚丁酸、萘乙酸或ABT生根粉溶液。将配制好的药剂置于容器内（视插穗的多少，配备适量的药剂及容器），直立放入经消毒后的插穗，作浸泡处理。浸泡深度至插穗基部2cm左右，浸泡时间24h。也可以用较高浓度的生根刺激药剂如500mg/L（1000mL升水加500mg药剂）的萘乙酸溶液，蘸插穗基部，即可进行扦插。

根据云南省林业科学院的研究试验成果，将北美红杉扦插育苗的扦插成活率在80%以上的扦插因素组合列如表5-2。

从表5-2看出，北美红杉扦插苗培育的插条来源以其5年生以内的林木枝条和20年生以内的林木树干

基部萌生条较好，生根刺激药剂用吲哚丁酸、萘乙酸、ABT生根粉都有效。其扦插成活率都在80%以上，且扦插苗的根系发育亦好。此扦插因素组合可供参考。

表 5-2 北美红杉扦插育苗的最佳因素组合

插条来源	插壤基质	生根剂 激素	浓度 /mg · L ⁻¹	生根率 /%	根长 /cm	根数 /条
5年生 幼树枝条	红土+河沙+ 腐殖质各 1/3	吲哚 丁酸	200	85.55	9.11	4.26
5年生 幼树枝条	蛭石	萘乙 酸	100	89.27	10.0	4.07
21年生树干 基部萌生条	蛭石	ABT 生根粉	200	98.25	8.17	5.48
5年生 幼树枝条	蛭石+珍珠 岩各 1/2	ABT 生根粉	500 蘸插	81.26	9.57	4.6

进行北美红杉扦插育苗时，先在插床的插壤上开深5~6cm，宽3~5cm的扦插沟，其沟间距8~10cm，将经过处理的插穗基部向下，斜靠在扦插沟壁上，间隔2cm 1条，插穗入土的深度为穗长的1/2~1/3，扶直插穗，覆土压紧。每一插床插满之后，浇透水。在插床上用竹片或钢筋做成弓形拱架、铺上塑料薄膜，以保持插床的温湿度。

扦插完毕之后应对插床做精细的管理工作。插床温度、湿度是影响北美红杉插穗扦插成活率的重要因素。其插床温度一般要求保持在20~25℃，湿度要求保持在80%左右。插床的温、湿度用干湿球温度计监测。若插床温度高于28℃，应立即对塑料薄膜或荫棚进行喷水降温，或揭开薄膜降温。当插床湿度低于80%时，应

及时浇水，当插床湿度高于 85%，则停止浇水，如高于 90%，应揭开塑料薄膜使插床透风。

在北美红杉扦插苗的培育期间，每天需检查插床温、湿度至少三次，即早上 8 时，中午 14 时，傍晚 20 时各一次。依其检查结果，采取控制温、湿度的措施，或浇水、或通风，不可疏忽。此外，插床温暖湿润易生杂草，需及时拔除。

云南省林业科学院所进行的北美红杉扦插育苗试验结果表明：北美红杉插穗扦插后，快者 30 天开始生根，慢者半年至一年才生根；有的插穗基部形成较大的愈伤组织团，而很难生根。北美红杉插穗在插床上培育 4 个月后可翻床起苗。此时的北美红杉扦插苗苗根幼嫩，易折断损伤，可用移植铲斜向插入插穗撬起苗木。切忌用手拔起苗。起出的扦插苗，立即移入容器或苗床培育大苗。对一些未生根而有少量愈伤组织的插穗，可集中于一个插床继续培育，继培 2~3 个月后，还会有部分插穗生根。

②离体组织培养育苗 利用植物的离体细胞组织培育苗木，是一项比较先进的育苗技术，能使苗木培育过程“工厂化”少受季节变换的影响，而大批量地生产所需的苗木；这些植物体细胞组织培育的苗木，不但能保持其亲本（母体）的优良性状，还有可能获得较大的新的增益。

北美红杉的离体组织培养育苗，是切取其优株的易

分生的组织，如茎尖（枝尖）、根尖等，经消毒处理后，置于试管中的由大量营养元素、微量元素、生长素和细胞分裂素等多种物质配制成的培养基上，在一定的温度、光照条件下，进行分段培养，使之产生愈伤组织，分生绿芽，诱导分化根系，形成完整植株。其关键技术是各培养段的培养基中所用的生长素与细胞分裂素种类与数量及其用量比。在试管中形成完整植株后，需要移植到自然土壤中炼苗存活后，才完成组培苗的培育过程。据云南省林业科学院的成功经验，北美红杉的离体组织培养育苗的工艺流程如图 5-1。

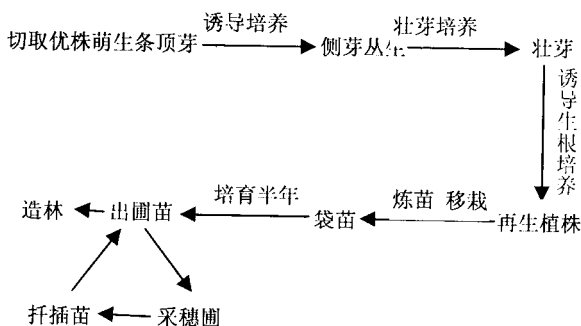


图 5-1 北美红杉离体组织培养育苗的工艺流程

以下就北美红杉的离体组织培养育苗（简称组培育苗）的分段培养技术作介绍。

a. 离体组织的选取与消毒处理 对取材的北美红杉植株，在切取培养材料的一个月前，每周喷洒多菌灵溶液一次。剪取该植株的萌生条顶芽或带腋芽茎段作为

离体组织培养的材料。切取的组织，经清水冲洗后，置于超净工作台上，用0.5%新洁尔敏消毒15分钟，再经无菌水冲洗3~4次，用70%酒精浸30秒钟，无菌水再洗2次，又用0.1% HgCl_2 （氯化汞）浸5分钟，无菌水洗4~5次，即可接种至芽诱导培养基上。经过这样的消毒处理，其组培材料的污染率可降低到20%以下。

b. 芽的诱导与增殖 将经消毒处理的北美红杉离体组织，切成1cm长的带芽茎段，接种到芽诱导培养基上。其诱导培养基为MS培养基，成分为 CaCl_2 （氯化钙）440mg， KNO_3 （硝酸钾）1900mg， MgSO_4 （硫酸镁）370mg， NH_3NO_3 （硝酸氨）1650mg， $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{H}_2\text{O}$ （磷酸二氢钾）170mg， NaFeEDTa 27.8mg， $\text{NaEDT4} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 37.3mg， $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ （硫酸锰）22.3mg， $\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ （硫酸锌）8.6mg，此为大量元素。另含微量元素 H_3BO_3 （硼酸）6.2mg，KI（碘化钾）0.83mg， $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ （硫酸铜）0.025mg， CoCl_2 （氯化钴）0.025mg，还含植物生长素，甘氨酸2mg，盐酸硫胺0.1mg，盐酸吡哆素0.5mg，肌醇100mg。

附加6-BA（6-苄基嘌呤）1.5mg，KT（动力精、激动素、细胞分裂素）2mg。

配制MS培养基时将以上物质用精密天秤（万分之一称量）准确称量后，置于大容量（2000mL）烧杯中，加3%蔗糖30g为碳原，0.6%琼脂6g为凝固剂；加蒸馏水1000mL，加热溶解后，用试纸检测溶液的酸碱度，

用 1N 的 NaOH (氢氧化钠) 调节溶液的 pH 值到 5.8。

在北美红杉的芽诱导增殖培养期间, 在光照条件 2000Lx (勒克斯) 下, 每天辅助光照 10~12h, 室温 25~30℃。接种 30 天后, 茎尖、茎段在芽诱导培养基上开始生长。继代培养 2~3 次后, 在茎尖或腋芽处分化形成丛芽。丛生芽诱导培养的最佳激素配比为在 MS (基本培养基) 中加 6-BA (6 苄基嘌呤) 1.5mg/1000mL, KT (动力精) 2mg/1000mL。其芽的平均增殖率为 8 倍。

c. 壮芽及生根培养 壮芽培养的基本培养基仍为 MS 培养基, 但不附加激素, 培养条件同前。将生长的丛芽, 切成小丛, 接种到 MS 壮芽培养基上, 40~50 天 60% 的小芽长高至 2cm 以上, 成为带 6~8 片叶的单芽, 即可切取移到生根培养基作生根培养。

生根培养的基本培养基为 1/2MS 培养基 (即 MS 培养基各分量的一半), 附加 IBA (吲哚丁酸) 1mg/1000mL, NAA (奈乙酸) 2mg/1000mL, 培养条件同前。高 2cm 的壮芽接种 15~20 天后形成根原基, 生长出根系。

d. 瓶苗移栽 将生根的北美红杉瓶苗 (试管苗) 移出培养室, 放在散射光较强的地方炼苗, 使瓶苗在移出瓶之前受到充分的光、温、湿度变化的锻炼。3 天之后拧松瓶盖, 5 天之后揭开瓶盖, 7 天之后将苗移出瓶, 用自来水充分冲洗除去培养基后, 直接移植到温室或有

塑料大棚的苗床上。需特别注意的是瓶苗出瓶前，瓶盖必须在拧松 2 天后才能揭开，不能一下就揭开，否则瓶苗容易萎蔫。瓶苗移植成活率与其生长季节有关，2~3 月，6~8 月移植成活率较高，10 月、4~5 月移植成活率较低。

北美红杉组培苗移植出瓶后，一般先是移栽于苗床上，成活后再定植于容器内。

苗床的修建与扦插苗床相同。育苗基质为珍珠岩、蛭石、腐殖质土，按 4 : 3 : 3 的比例充分混合，用多菌灵消毒。瓶苗移植至苗床后即用细喷头浇足定根水。此后，保持苗床湿润，使空气湿度保持在 85%~90%，温度 22~28℃ 之间。移植 1 个月时，喷施 1/4MS 培养液 1 次，以后每 2 周喷施 1/2MS 培养液 1 次，1 个月后小苗的生长基本稳定，开始长出新根，抽新芽。苗高约 4~5cm 时，改为每 2 周喷施 2% 的复合肥 1 次，浇水亦逐步由每天 1 次改为 2~3 天 1 次。2 个月后，可将育苗大棚的遮荫网逐步揭开，适当控制水肥。使幼苗逐步适应外界环境。为了提高造林成活率，可将幼苗逐步移入容器内，培育北美红杉大苗带土球上山造林。

3、田间管理

主要的苗圃管理工作是浇水、除草、施肥、修剪、防治病虫害等，以保障北美红杉苗木的正常生长。

(1) 浇水、排水管理

通过圃地的浇水、排水管理，以保持苗圃土壤适宜的湿度。旱季注意浇水，勿使土壤干旱而致苗木萎蔫；雨季注意排水勿使土壤过湿积水，而影响苗木根系的生长或腐烂。浇水时，勿用水管强水流直接冲击苗木根颈，而冲倒幼苗或造成苗根裸露于地表。特别是容器苗强水冲击，容易冲失容器基质，最好用带细喷头的浇水器具浇水。晴天，一般是早上8~10时，下午16~18时各浇水1次。

(2) 除草、施肥管理

苗圃或容器内土壤肥沃湿润，杂草容易生长，随时注意除去幼小杂草不使其长成，否则杂草成长后，其根系包缠北美红杉幼苗根系，此时人工拔草会将幼苗连根一起拔出，或者损及其幼苗的根系。如使用除草剂除草，应选用对北美红杉幼苗无伤害的除草剂。

为促进北美红杉苗木的生长，育苗期适当施肥十分重要。云南省林业科学院的试验结果表明，在北美红杉育苗的幼苗期施适量的氮磷钾肥，苗木的生长旺盛，木质化程度高，如果过多施用氮肥，则苗木柔嫩纤弱，质量差。最好是施用农家肥或人粪尿加清水稀释施用，效果较好，其N、P、K配合比例为1 : 1 : 0.5。

(3) 修剪管理

北美红杉苗木主干基部，常有不定芽形成萌生条，特别是在北美红杉扦插苗的培育过程中，非顶梢的扦插植株的萌生条更多，往往影响主干生长或形成多干苗

木，或导致苗木偏冠。所以北美红杉育苗期的修剪管理工作很重要。通过修剪剪去苗木基部的萌生条，保留1枝生长粗壮者培植为主干。有时还需要扶直苗木。在苗旁插上竹（木）棍捆扎住苗干，强制形成单一的苗木主干优势，避免多干分生或偏冠。

（4）防治病虫害

北美红杉苗木有较强的抗病、虫能力，但在云南大面积育苗造林后也出现了病虫害。苗期病害主要是猝倒病。可用21%的克菌星1500倍溶液喷雾预防。发病时，可用1000倍的21%克菌星溶液喷洒。北美红杉幼苗、幼树期的虫害，主要是白蚁，有黑翅大白蚁（*Odontotermes formosanus*）和云南土白蚁（*Odontotermes yunnanensis*）两种，危害时期较长，危害范围较广，几乎在云南的北美红杉种植点都有发生，危害最重的是海拔1200~2000m的地段。海拔2300m以上几乎无危害。对北美红杉幼苗、幼树危害率达21%~38%，平均危害率30.2%；危害死亡率19.6%~32.4%，平均危害死亡率27.6%。白蚁危害的时间为12月~次年5月的旱季，其危害死亡率占总死亡率的80%。苗圃地尚未发现白蚁危害。

4、起苗出圃

（1）切根与起苗

在北美红杉苗木出圃前2~3个月，对苗木进行切

根处理以促进苗木的须根发育（容器苗勿需切根）。在离苗株根颈 15cm 左右的地方，用切刀斜向（45°角）根部下切，切断苗木粗根，而促进须根生长，此举有利于提高北美红杉的植苗造林成活率。

起苗时用镐、锄从圃地最边一行开始，顺行逐行挖起苗木。裸根苗造林勿需带土；但若运苗距离较远，为保持苗根水分，需用泥浆浆根，即用泥土加水拌成泥浆，将苗根蘸满泥浆，而不致干缩萎蔫。若带土运输，则在起苗时带土，并用稻草，塑料薄膜或其它材料，将苗木根系周围的土壤紧密地包扎成一土团。

起苗时，还需标明苗木的名称（中文名、拉丁学名）、起苗时间、生产单位、地点、苗木等级、数量。一般用硬纸或塑料板做成标牌，挂在总包装的显眼地方。

（2）苗木的包装、检疫及运输

起苗之后，根据运输距离的远近、苗木的大小，分别用纸箱、草蓆、稻草或竹、木器、塑料容器包装苗木。其目的是不致于在运输途中散失、损伤苗木。亦不致于使不同种的苗木互相混淆。北美红杉的裸根小苗可成捆包装，带土的北美红杉大苗可单株包装，固定根部土团，不致散落。还必须标明运输到达地点，收苗单位和姓名。检疫是防止植物疫病流传的关键，凡出境的北美红杉苗木必须取样送请国家或省级植物检疫单位，进行疫病检查，获得检疫许可证明文件之后，才能启运。

在北美红杉苗木的运输过程中，不论采用何种运输方式，必须保证不得丢失、散落苗木，不得使苗木干枯萎蔫。长途运输必须对苗木行通风浇水处理，但闷热天气浇水过多，往往引起苗木发热霉坏；冬季运输，有时会因低温使苗木受到冻害。所以在北美红杉苗木运输前都要考虑周到，采取相应措施，保证运苗的安全。

5、苗木分级

根据云南省林业科学院的经验，北美红杉多培育为容器苗（塑料袋苗，塑料容器的直径为 16cm，高 18cm），故北美红杉苗木的分级以容器苗为准。

合格的北美红杉容器苗要求苗茎通直、顶芽完整、地径粗壮，枝叶生长正常，主根粗短，侧、须根较多，木质化程度高，无病虫害，无机械损伤。

据对 12 个月生的北美红杉容器苗的实测资料，将苗高等于或大于 31.4cm，地径等于或大于 0.48cm，高径比为 1/85 的北美红杉容器苗定为 I 级苗。苗高 23.7~31.3cm，地径 0.29~0.47cm，高径比为 1/103 的北美红杉容器苗定为 II 级苗。而将苗高小于 23.7cm，地径小于 0.28cm，高径比为 1/97 的北美红杉容器苗定为 III 级苗。

六、植苗造林技术

1、造林地的选择

根据云南省林业科学院进行的北美红杉区域性栽培试验结果，北美红杉是一个喜温暖、喜湿润、喜光，但又较耐荫蔽的树种，其林木在深厚肥沃、疏松湿润，排水良好的中性、微酸性土壤上生长良好；但对低温和干旱贫瘠的土壤也具一定的忍受力。依据北美红杉对生长环境的要求，作出造林地的选择。

(1) 海拔高度

在云南，适宜选作北美红杉造林地的海拔高度是1350~2180m。低于1350m的地带温度过高，或干热、或湿热不适宜北美红杉林木的生长；而海拔超出2200m的地带，气温低、降水少，不适宜北美红杉非抗寒类型的林木生长。至于海拔高度为3200~3500m的高寒山地，依据试验，北美红杉抗寒类型的林木仍能生存，并有一定的生长量。故可选作抗寒类型北美红杉的造林地。

(2) 地形条件

地形对温度、水分变化的影响很大。干热河谷和高山峡谷以及石灰岩裸露的岩溶山地不适宜作北美红杉的造林地。适宜作北美红杉造林地的是低山丘陵、中山台

地、山麓、缓坡山地以及湖盆、宽谷等类型，其地势平缓、土层深厚（80cm 以上）。选作北美红杉造林的山地一般坡度要求 $5^{\circ}\sim 20^{\circ}$ ，坡向为东、西、东北向。

（3）气候条件

①气温 适宜选作北美红杉造林地的气温为年平均气温 $14.7\sim 15.3^{\circ}\text{C}$ ，绝对最高温 $31\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，绝对最低温 $-3.5\sim -7.8^{\circ}\text{C}$ 。在年平均气温高于 16.4°C ，或低于 12.6°C 的地方其林木生长都较差。而绝对低温低于 -9°C 时就需采取防寒措施。年平均气温 5.4°C ，绝对低温 -13°C 的地区，只有北美红杉抗寒类型的林木才能生存和生长。

②降水 依据试验，年均降水量为 1000mm 左右的地区可作北美红杉的造林地。在云南干湿季节明显的环境中，水分是影响北美红杉林木生长的重要因素，特别是旱季的 11 月~4 月，在降水量仅占全年降水量 15% 以下的地方，其中 3~4 月份的降水更少，这些地方气温高、蒸发量大，造成土壤干旱、大气干旱，对北美红杉林木的生长十分不利。所以在冬春季，干旱严重的地方需有灌溉条件才能有较好的造林效果。

③光照 北美红杉林木在年日照时数为 2000~2200h 的地方，生长较好，低于 2000h 或高于 2200h 的地方生长都较差。可据此选择北美红杉的造林地。

④风 在幼林期，风对北美红杉幼林的主要影响是加速树体的水分蒸发，降低空气和林地土壤的湿度。在

干旱季节盛行的西南风可能造成北美红杉幼树快速失水死亡。同时还影响林木枝叶的均衡生长形成偏冠。北美红杉是高大的乔木树种，林木生长快，树大招风，在原产地的一些地方北美红杉大树的树梢有风折现象，风还能连根刮倒大树。云南山地主风为西南风，为防患于未然，应在背风的地方营造北美红杉。

(4) 土壤条件

北美红杉对土壤要求不严，在山地红壤、黄壤、黄红壤、黄棕壤、棕壤，甚至在赤红壤上林木都能生长。但北美红杉林木在黄红壤、黄棕壤上生长较好，山地红壤、山地黄壤次之，在棕壤和赤红壤上则生长较差。选择北美红杉的造林地时应注意选用适宜的土壤类型。

(5) 植被条件

植被类型能充分反映该地区的综合环境状况，根据植被类型选择北美红杉造林地，其造林成功的可能性较大。如受人为干扰形成的木荷 (*Schima* spp.) - 杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 群落，桦木 (*Betula* spp.) - 栎类 (*Quercus* spp.) 群落，青冈 (*Cyclobalanopsis glaucoideis*) - 山茶 (*Camellia pitardii*) 群落、栎类-旱冬瓜 (*Alnus nepalensis*) 群落等植被类型仍然代表温暖、湿润的环境，而云南松 (*Pinus yunnanensis*) - 华山松 (*P. armandii*) 群落，云南松栎类群落、云南松-旱冬瓜群落，则表明该地的气温水分发生了较大变化，但仍属半湿润温暖环境。在这样的环境条件下营造北美红杉

可获得较好的效果。而白花杜鹃 (*Rhododendron decorum*) - 山茶群落、荚蒾 (*Viburnum* sp.) - 野山姜 (*Zingiber striolatum*) 灌丛, 栎类-苔草 (*Carex* spp.) 灌丛等植被类型所预示的环境条件还适合北美红杉造林。但云南松-白茅 (*Imperata cylindrica*) 群落, 云南松-香薷 (*Elsholtzia ciliata*) 群落、云南松-扭黄茅 (*Heteropogon contortus*) 群落, 悬钩子 (*Rubus* spp.) - 白茅群落, 芒种花 (*Hypericum uralum*) - 扭黄茅群落等由旱生阳性植物构成的植被类型, 代表了干燥瘠薄的环境条件, 生长这些植被类型的地区则不适宜合作北美红杉的造林地。

2、造林方法

在选定造林地之后, 对林地进行整理。翻耕林地 (全面翻耕、带状翻耕、块状翻耕), 清除杂灌木、草根、石块, 按设计的造林株行距 $2\text{m} \times 3\text{m}$ 或 $3\text{m} \times 3\text{m}$ 划线定点挖塘, 于造林前挖好定植塘。定植塘的规格为 $40\text{cm} \times 40\text{cm} \times 40\text{cm} \sim 60\text{cm} \times 60\text{cm} \times 60\text{cm}$ 。挖塘时, 表土、底土分别放置, 让其曝晒。北美红杉的植苗造林用苗, 一般选用1年生的 I 级、II 级实生苗。定植时, 塘内先回填 $1/3$ 的表土, 并与底土拌和均匀, 将苗木 (容器苗先除去容器) 放置于塘中央, 回填土分层踩实 (不得踩碎容器苗的营养土球)。如果是裸根苗, 回填土后, 要轻提苗干, 使根系舒展, 然后踩实土壤, 使之与

苗根紧密结合。定植塘覆土盖过苗木根颈 1~2cm。有条件的地方，浇定根水。定植 2~3 月后，以线路调查或标准地调查的方式，调查北美红杉的植苗造林成活率，对缺塘、枯死苗进行及时补植。

3、不同经营模式林的营造

(1) 混交林的营造

天然分布的北美红杉林，多为纯林，且是高大浓郁的异龄复层林。但也与其它针叶树种如花旗松 (*Pseudotsuga menziesii*)、美国扁柏 (*Chamaecyparis lawsoniana*) 等形成混交林。我国引种北美红杉多是营造纯林。因引种时间尚短，难选与之相匹配的生长快而高大的针阔叶树种。因此，可与北美红杉混交的树种有待试验研究。现提出云南省的木兰科的云南拟单性木兰 (*Parakmeria yunnanensis*)、光叶拟单性木兰 (*Parakmeria nitida*)、毛果含笑 (*Michelia sphaerantha*)、多花含笑 (*Michelia floribunda*)；金缕梅科的白克木 (*Bucklandia populnea*)；桦木科的西南桦 (*Betula alnoides*) 等几种阔叶树种供营造北美红杉针阔叶混交林试验用。

营造北美红杉与其他树种的混交林，其混交方式，应以块状混交或带状混交为主。因为北美红杉林木生长快而高大，与之混交的其他树种多居下层，而处于被压状态，采用块状或带状混交，各占一块或一带，可减少主次树种间林木的相互干扰，使之各得其所。且造林及

主伐利用也较方便。营造的北美红杉混交林，以北美红杉为主，应占造林面积或株数的 70%，混交树种占 30%。

混交定植块或定植带分树种作相间设置，种植块的大小，以 5~10 亩为宜。大面积的平缓坡地，也可以 1 公顷为一种植块或带。

(2) 混农林结构

北美红杉造林后的 1~5 年以内，幼林尚未郁闭，可在幼林的株行之间，种植农作物，提高土地的利用率，减少幼林期林地管理的松土除草工作量，且可增肥地力，并可获得短期收益。根据各北美红杉林地的气候、土壤条件，选择矮秆短藤的蝶形花科农作物或十字花科油料作物或者绿肥植物作为营建北美红杉混农林结构的作物。

幼树成长之后，还可在林下种植耐荫性较强的花卉、药材以及大林下蔬菜植物、菌类等，继续经营北美红杉混农林结构。

七、育林期的营林技术

1、林地管理

主要是林地的林被管理和土壤管理。

(1) 林地植被管理

在北美红杉林的初植期，幼树的树冠、根系都不发达，林分尚未形成整体林冠层，而荫蔽林地，林地中的杂草、灌木容易生长，形成独特的植被，与幼树争肥、争水、争光，而影响北美红杉幼树的生长，因此必须随时清除林地中的杂草灌木和非目的树种，且应在其萌发生长初期进行清理。北美红杉幼林期林地的植被清理工作，应一年进行两次，第一次在春夏之交，第二次在杂草灌丛的种子尚未成熟传播之时。清除的杂草，就地埋入土壤，增肥林地。

(2) 林地土壤管理

北美红杉的初植林地，地表缺乏覆盖，林地土壤水分蒸发量较大。在其初植期间应对林地进行松土的管理工作。松土可起切断土壤毛细管的作用，减少林地土壤水分的蒸发，经过松土，还可改善林地土壤的理化性状，其疏松温暖的土壤有利于土壤微生物的活动与有机质的分解，而改善地力。在雨季疏松的林地土壤可以吸收更多的降水，渗透到深层土壤中储备。同时疏松的土

壤为北美红杉幼树根系的延伸创造了良好的条件。松土时间，一年两次，第一次在春旱期间，松土可以减少林地土壤的水分蒸发；第二次在雨季，松土可增加林地土壤对降水的吸收。

2、林木的间伐抚育

北美红杉在我国引种的时间尚短，而缺乏林分的林木抚育间伐经验。随着时间的推移，所营造的大面积北美红杉林必然要进行林木的抚育间伐。

其林木抚育间伐的时间，是在北美红杉林分郁闭出现林木分化时。而林分郁闭出现林木分化又与其环境条件和林木的初植密度密切相关。在适宜的生长环境，北美红杉人工林的初植密度为 $2\text{m}\times 2\text{m}$ 或 $2\text{m}\times 3\text{m}$ ，一般 5 年生以后林分郁闭，10 年生左右林木出现分化。初植密度较小（株行距大）林分郁闭出现林木分化的时间较晚。北美红杉林分间伐抚育的时间，一般是在林分郁闭度达 0.9~1.0，林木分化明显时进行，此即为其第一次间伐抚育时间。

实施林木间伐抚育的目的，是促进林分继续健康成长，获取更大的林分生长量。所以间伐抚育是清除林分中生长衰退的Ⅳ、Ⅴ级木和枯立木，即所谓的被压木。其原则是砍坏留好，砍小留大，以调节林木的密度，改善林分的光照条件，促进林分更好的生长发育。

北美红杉林间伐抚育间隔期约 5~10 年。立地条件

较好，初植密度较大的林分，林木出现再分化的时间较短，其林分间伐抚育的间隔期较短。立地条件较差，初植密度较小的林分，出现林木再分化的时间较长，其两次间伐抚育的间隔期较长。

北美红杉人工林的间伐强度，有两种计算方法，其一是按林分郁闭度计算，当林分郁闭度达 0.9~1.0 时，进行间伐抚育，经林木的间伐抚育之后，使其林分郁闭度保持为 0.8~0.7。其二是按林分立木株数计算，所间伐的林木株数为林分立木的 10% 左右，最大间伐量不得超过林分立木的 15%。

实施北美红杉人工林的间伐抚育时，先由技术人员对其林分进行调查，按间伐强度要求计算间伐林木的数量，在林分内逐一确定所应间伐的立木，并做出明显标志，复算达到要求后，即可实施间伐。

3、病虫害控制

北美红杉林分具有较强的抗病虫能力，病虫害较少，但在大面积造林之后，林分难免发生病虫害。

在易门、龙陵等地，初植的北美红杉幼林多遭白蚁危害，减轻危害的方法是采取秋季定植造林。药物防治是在定植时每穴施呋喃丹 10~15g，其防治效果可达 66.6%~92%。

在昆明旱季北美红杉林的林木有少量侧枝产生赤枯病，雨季来临病症消退。

八、采伐与更新技术

1、主伐林龄的确定

林分的主伐林龄，常以其数量成熟的年龄为依据。所谓数量成熟的年龄即为林木树高、胸的平均生长量与连年生长量相等的年龄。

北美红杉在云南造林时间尚短，林分生长过程有待观测。

从昆明的 22 年生北美红杉林木的平均树高 18.2m，树高平均年生长量 0.83m，树高连年生长量 1.1m；平均胸径 30.4cm，胸径年平均生长量 1.38cm，胸径连年生长量 2.6cm 的生长情况看出，其林木的树高、胸径连年生长量都大于平均生长量，正是北美红杉林木的高速生长期，尚未达到数量成熟，这个年龄显然不是北美红杉林木的主伐龄。在原产地 40 年生的北美红杉林木，平均树高 40m，树高平均生长量 1.0m，平均胸径 90cm，胸径平均生长量 2.25cm，单株立木材积 9.48m^3 ，林木材积平均生长量 0.237m^3 。此时林木的树高平均生长量开始下降，但胸径平均生长量仍在上升。平均胸径 90cm，单株立木平均材积 9.48m^3 的 40 年生的北美红杉林木称得上是速生的大径级用材的林木，这一时期采伐，其木材收获量相当可观。初植密度为 3m

×3m 的北美红杉林，每亩的林木株数计有 77 株，经强度为 20%左右的两次间伐抚育后，每亩林地保留林木 60 株，林木的木材蓄积量计有 568.8m^3 ，按 70%的出材率计算，每亩可生产北美红杉材 396.16m^3 。据此可将北美红杉人工林的主伐龄拟定为 40 年。

如以北美红杉林的工艺成熟年龄作为主伐龄期，则可根据各材种的培育目标，确定其的主伐龄。在昆明 30 年生北美红杉林木，树高可达 34m，胸径可达 84cm，作为一般用材林可采伐。所以其主伐龄拟定为 30~40 年较适当。

2、采伐方式

(1) 皆伐

皆伐即一次性地采伐伐区内的所有林木。皆伐分块状与带状皆伐两种。

块状皆伐，适合于北美红杉大面积纯林和块状混交林。其优点是可一次性获得较多木材。集材方便，其集运材道一次性使用，勿需每年维修保养，采伐迹地便于人工更新。缺点是采伐迹地裸露，易产生水土流失，而集运材道在第二次轮伐时需重新修建。

北美红杉林块状皆伐伐块的轮换应在采伐迹地幼林更新郁闭之后（约 5 年左右）才能采伐相邻林块。

带状皆伐，适用于北美红杉带状混交林和坡度较大的林地。沿等高线将北美红杉林划分为若干林带，隔带

进行皆伐，当采伐带的迹地更新之后，再采伐相邻林带。其优点是，保持一定的森林覆被，减少水土流失；其缺点是，集运材比较困难。

(2) 择伐

当北美红杉林达到成熟龄时，选择达相应径级标准的立木单株采伐，其余林木继续培育。其优点是青山常在，持续利用。可用特制采伐打枝集材的联合机械作业，基本没有采伐迹地。其缺点是单位林地面积当年采伐量较少，运材道需常年维修保养，但可长期利用。林木更新在林窗中进行。

3、更新方法

(1) 天然更新

北美红杉林木的结实年龄较早，9~10年生即开花结果。达到伐期的林木树龄为30~40年，已开花结果，具有天然更新能力。在林地条件适合的地方，林冠下可能有天然更新的北美红杉幼苗、幼树，在采伐集材时，应保护这些天然更新的幼苗幼树，促其成长，可减少人工更新的植苗量，这些北美红杉天然更新幼苗能存活下来，表明其适应能力即生活力较强，有可能长成优良的北美红杉林木。

(2) 人工更新

首先是清理采伐迹地上的采伐剩余物，包括伐桩、梢头木、枝桠、灌木、草根，随即进行全面整地，用北

美红杉优株或优良种源的种子培育的苗木挖塘定植(定植方法同植苗造林),苗木定植后加强林地土壤管理、植被管理、促其尽早成林。

北美红杉采伐迹地除采用人工植苗更新外,还可采取人工促萌更新的方式。北美红杉林木具有很强的萌发能力,当立木采伐之后,其伐桩能萌生大量萌条,人工选留其中一株高大粗壮者培育,其萌生株生长很快,比实生苗提前成材。原产地有一些北美红杉林就是萌蘖更新的林分,值得借鉴。对北美红杉萌生林的管理,除对林地土壤和植被进行精心的管理外,需每年除去伐桩多余的萌生条。多个萌生条竞相生长,会影响成材。

九、产业化规模经营前景

1、北美红杉实现产业化规模经营所显示的综合价值

北美红杉人工用材林经营，具有育苗、造林容易、林木生长快，林分材积蓄量大、出材率高，材质优良的特点。特别是能在较短时期内培育 90~100cm 的大径材，是罕见的。所以产业化规模经营北美红杉用材林的经济回报率极高。大面积的北美红杉人工用材林，可实行轮伐，伐后及时进行人工更新，特别人工促萌更新，而实现可持续经营。北美红杉幼林 5 年生左右郁闭，恢复森林环境，继续起到保持水土、调节气候，改善生态环境的作用，其经济和生态效益都十分显著。

在北美红杉人工用材林产业化规模经营的过程中，通过大量的资金、人力的投入，而产出大宗的商品材。其木材与其他商品一样，供市场流通和交换，获取经济效益。而生产木材的森林和生长森林的林地，也是商品，也同样可进行市场流通和交换，大大地活跃了经济，必然促进地区交通、文化的发展，产生巨大的社会效益。

2、北美红杉产业化规模经营的标准及其种植区划

(1) 实现产业化规模经营的标准

要实现北美红杉人工用材林产业化规模经营水平，

首先必须具备一个轮伐期的森林林地资源。按其林木的生长过程，达北美红杉人工用材林的数量成熟，而拟定的采伐年龄为 30~40 年，即其产业化规模经营的轮伐期为 30~40 年，按每年采伐 5 公顷的林木计算，需有林地面积 150~200 公顷（2250~3000 亩）。在施行北美红杉人工用材林的产业化规模经营的过程中，造林时，全面整地，植苗造林。每年造林 5 公顷，连续营造 30~40 年，共造林 150~200 公顷。每亩植苗 77 株（株行距 3m×3m）。至北美红杉人工用材林 30~40 年生时，林木平均高 30~40m，树高平均生长量 1.0m，平均胸径 80~90cm，胸径平均生长量 2.2~2.6cm，单株立木平均材积 7.11~9.48m³，单株立木材积平均生长量 0.237m³。每亩林木（60 株）的木材蓄积量 422.6~568.8m³，若出材率按 70% 计算，亩产北美红杉材 295.8~396.16m³。年伐森林面积 5 公顷（75 亩）可生产北美红杉材 22185~29680m³。达到此经营标准，既具相当的规模且有显著的经济效益、社会效益和生态效益。

（2）云南北美红杉的种植区划

营建云南省的北美红杉产业化规模用材林，应在云南省的北美红杉最适生区和适生区造林。根据云南省林业科学院对引进的不同生态型北美红杉所进行的区域性栽培试验结果，各生态型北美红杉的最适生区和适生区是：

①温暖湿润环境型的北美红杉种源和无性系，适合

在年平均气温 $15 \sim 17^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $4500 \sim 6000^{\circ}\text{C}$ ，绝对低温不低于 -4.8°C ，年降水量 $1600 \sim 2095\text{mm}$ ，年平均相对湿度 $84\% \sim 86\%$ 。多雾、年日照时数 $1200 \sim 1465\text{h}$ ，土壤为山地黄壤的环境条件下种植，林木生长良好。其种植区，以云南中亚热带和北亚热带的温暖湿润地带为主，海拔高度为 $1350 \sim 2000\text{m}$ 。代表的森林植被类型为由樟科 (Lauraceae)、壳斗科 (Fagaceae)、山茶科 (Theaceae)、木兰科 (Magnoliaceae) 树种组成的常绿阔叶林、落叶阔叶林；由思茅松 (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*)、云南松树种为代表组成的暖热性及暖性针叶林，及其针阔叶混交林，以及灌木林和低产林地。按《林业区划》立地质量的评价标准，以 II ~ III 地位级林地作为该生态型北美红杉的造林地。具体的行政区域是：龙陵、腾冲、昌宁、保山、盈江、梁河、临沧等县的低山丘陵山麓地带。

②温暖半湿润环境型的北美红杉种源及无性系，宜在中亚热带、北亚热带的温暖半湿润地带，海拔 $1600 \sim 2200\text{m}$ 的缓坡台地、宽谷台地种植，其年平均气温 $14.5 \sim 16^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $4000 \sim 5000^{\circ}\text{C}$ ，最冷月平均气温 $7 \sim 8^{\circ}\text{C}$ ，绝对低温不低于 -7.8°C ，年降水量 1000mm 左右，干、湿季明显，旱季降水占全年降水的 15% 左右，湿度低，年平均相对湿度 $72\% \sim 78\%$ 。少雾，年日照时数 $2000 \sim 2200\text{h}$ 。土壤为山地红壤、黄红壤，土层厚度 1m 以上。冬、春具灌溉条件。森林类型

是以栎类、旱冬瓜、桦木、野樱 (*Prunus conrodinea*) 等树种组成的落叶阔叶林和由云南松、华山松、油杉 (*Keteleeria evelyniana*) 和旱冬瓜等树种组成的针阔叶混交林, 以及由杜鹃 (*Rhododendron* spp.)、野山茶、荚蒾 (*Viburnum foetidum*)、山矾 (*Symloes chinensis*)、苔草、蕨类、野山姜等植物组成的半湿润灌丛。具体行政区域是: 昆明、易门、邱北、玉溪、楚雄、大理、江川、澄江。

③温凉干燥环境型的北美红杉种源及无性系, 适宜在北亚热带至暖温带, 海拔 2000~2400m 的中山台地、沟谷, 缓坡地或丘陵地带种植。其年平均气温 12.6~14.5℃, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 3200~4500℃, 最冷月平均气温 5~6℃, 绝对低温不低于 -9℃, 霜期较长, 年降水量 900mm 左右, 年平均相对湿度 63%~74%。旱季干燥少雨 (冬、春早期应适当灌溉)。土壤为黄棕壤、棕壤, 土层深厚 (1m 以上)。森林植被为由云南松、华山松、油杉、落叶栎类、旱冬瓜、山杨 (*Populus davidiana*) 等树种组成的针叶林或针阔叶混交林。选择其中采伐迹地, 低产林地, 林中空地以及以厚皮香 (*Ternstroemia gymnanthera*)、梁王茶 (*Nothopanax delavayi*)、野山茶、大白花杜鹃、乌饭树 (*Vaccinium* sp.)、南烛 (*Lyonia* sp.)、杨梅 (*Myrica rubra*)、山矾、马桑 (*Coriaria sinica*)、小铁仔 (*Myersin ofoicana*)、苔草、蕨类、沿阶草 (*Ophiopogon bodinieri* var. *pygmaeus*)、龙胆

(*Gentiana* spp.) 等树种和草本植物组成的灌丛林地作为造林地。但以刺叶高山栎 (*Quercus spinosa*)、悬钩子 (*Rubus cochinchinensis*)、栲子 (*Cotoneaster* sp.)、扭黄茅、白茅 (*Imperata cylindrica*) 等植物种类组成的植被类型地带不宜作为该类型北美红杉的造林地。具体行政区域是曲靖、丽江，滇西海拔 2400m 以下的山地。

④高寒山地低温环境型北美红杉的种源及无性系，适宜在云南海拔 3000~3500m 的亚高山针叶林林区种植。其年平均气温 4.5~5.4℃，绝对低温-13℃，年降水量 600~700mm，年平均相对湿度 70%左右。冷湿多雾，年日照时数 1900~2000h。土壤为森林棕壤、灰棕壤，森林类型为由云杉 (*Picea* spp.)、冷杉 (*Abies* spp.)、铁杉 (*Tsuga* spp.)、落叶松 (*Larix* spp.) 为优势种的暗针叶林和由云杉、冷杉、铁杉、高山松与栎类树种组成的高山针阔混交林。当这些针叶林、针阔叶混交林受破坏后，形成的由多种杜鹃、荚蒾、忍冬 (*Lonicera* sp.)、高山栎类、山杨、高山柳 (*Sakux* sp.)、小蘗 (*Berberis* spp.) 等树种组成的灌丛林地可选作此环境型北美红杉的造林地。但是此类型的北美红杉林木的生活力较脆弱，在幼林期的冬、春季应采取防寒措施。具体行政区域是丽江、中甸、德钦等地。

3、实现北美红杉产业化规模经营的关键技术

(1) 选择适宜的造林地，是北美红杉产业化规模

营造成功和丰产的基础。其种植区的气候土壤条件应与北美红杉的生态习性相适应。其造林地应集中连片，而便于经营管理。

(2) 选用北美红杉的良种或用其优良种源林，优株无性系的繁殖材料育苗造林，有条件的地方可以用组培苗造林。

(3) 采取集约经营的措施，真正做到细致整地，精心植苗，适时灌溉，合理施肥，及时间伐抚育，防治病虫害，并杜绝林火。

(4) 营造北美红杉与之适宜树种的混交林。选用当地适生的速生高大阔叶树种与北美红杉混交，混交方式为带状或块状混交，其混交比例为北美红杉的林木占70%，其他树种的林木占30%。

(5) 营林期行农林混作。在北美红杉的幼林期，林分郁闭前间种矮秆短藤蝶形花科作物或绿肥；郁闭后种植耐荫性较强的花卉植物、药材等。