

文章编号: 1000-5692(2000)03-0289-05

枫香杉木混交林生产力及生态特性

钱国钦

(福建省林业厅 世界银行贷款造林项目办公室, 福建 福州 350003)

摘要: 枫香杉木混交林的生产力及生态特性研究表明, 枫香与杉木混交种间关系协调, 林分生长量和生产力较高, 林分空间分 布格局合理, 可以调节林分小气候, 改善土壤理化性状, 提高土壤微生物数量和土壤酶活性, 从而促进林木生长, 是一种较好的混交组合。营造枫香杉木混交林是改造杉木低产林、防治地力衰退及扩大优良乡土阔叶树种种植范围的有效途径之一, 值得推广应用。表 7 参 12

关键词: 枫香; 杉木; 混交林; 生产力; 生态特性

中图分类号: S718.55; Q948.1 **文献标识码:** A

枫香 (*Liquidambar formosana*) 是我国亚热带地区优良速生落叶阔叶树种, 适应性强, 无严重的病虫害, 落叶丰富, 改土效果好^[1], 且其木材纹理美观, 是一种经济价值较高的上等用材树种。杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 是我国南方主要栽培树种, 但因其针叶养分含量低, 分解慢, 林地自肥能力差, 加上近 20 a 来, 随着大面积用材林基地建设的发展, 长期纯林经营, 导致林地肥力衰退, 生态环境恶化, 生产力下降。因此, 选择适宜的混交树种, 增加生物多样性, 对提高杉木人工林生态系统稳定性和维持地力具有重大意义^[2~4]。众多研究表明, 适于与杉木混交的树种较多, 但关于杉木是否能与枫香混交, 至今尚未见报道。为此, 福建省世界银行贷款造林项目办公室在世行造林中营造了枫香杉木混交试验林。本文通过对该混交林生产力及生态特性的研究, 为杉木枫香混交林的推广提供理论依据。

1 试验地概况

试验地位于福建省建宁县溪口镇艾阳村中池 (26°30'~27°06'N, 116°30'~117°04'E)。该区属中亚热带海洋性气候, 热量充沛, 年平均气温 16.8℃, 年均降水量 1950 mm, 年蒸发量 1450 mm, 年平均相对湿度 83%, 无霜期 230~280 d。地形复杂, 昼夜温差大, 多霜雪, 极端低温-9.9℃。试验地海拔高 480 m, 坡度 15°~18°, 坡向东南至西南。土壤为砂质岩发育的红壤, 土层较厚, 腐殖质层中厚。林下植被主要有乌饭 (*Vaccinium bracteatum*)、黄瑞木 (*Adinandra millettii*)、甘竹 (*Phyllostachys flexuosa*) 和五节芒 (*Miscanthus floridulus*) 等。试验地前茬为杂灌木, 林地经清杂后, 于 1994 年春按世行造林项目标准进行造林和抚育管理。

2 材料与方法

2.1 试验设计

试验设杉木纯林、枫香纯林及枫香杉木混交林等 3 种处理。枫香与杉木采用 1:1 水平行间混交。

收稿日期: 2000-05-29

作者简介: 钱国钦(1963—), 男, 福建莆田人, 工程师, 从事造林技术管理研究。

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

3 种林分均用 1 年生播种苗造林。造林密度为 $2\,500\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，株行距为 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 。每种处理间种植 1~2 行木荷 (*Schima superba*) 作为隔离带。造林时施基肥，且施复合肥 $100\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 。共营造试验林 5 hm^2 。造林前各林分林地土壤肥力基本一致，均为 II 类地。

2 2 调查方法

1999 年 9 月在 3 种林分内选择典型地段，用“日立 IM-3”光照计同时多点观测各林分及空旷地离地面 40 cm 处的光照强度，用温湿度计测定林内温度和相对湿度，用曲管地温表测定地温 ($0\sim 10\text{ cm}$)。2000 年 1 月分别在 6 年生的杉木纯林、枫香纯林及枫香杉木混交林林分中，分不同坡位 (上、中、下及山凹) 各设 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 的样地 4 个，4 次重复。在每个样地内全面实测树高、胸径、冠幅和枝下高等生长量后，每种林分分别选取 3 株平均木，采用分层切割法进行地上部生物量调查。采用壕沟全挖法 (分 10 cm 段)，分根桩、粗根 (根径 $> 4\text{ mm}$) 和细根 (根径 $< 4\text{ mm}$) 测定地下部根系生物量。在每样地内按梅花形机械设置 5 个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方，用样方收获法测定各林分林下枯枝落叶量。每样地按“S”形路线多点采集 $0\sim 40\text{ cm}$ 土层的混合土样供室内作养分化学分析及土壤酶活性和微生物测定，并用环刀法采集 $0\sim 20\text{ cm}$ 和 $20\sim 40\text{ cm}$ 的原状土作水分物理性状测定。

2 3 室内分析方法

土壤水分物理性质用常规方法测定^[5]。土壤化学分析用国标分析方法测定^[6]。土壤磷酸酶活性用 Hoffman 法；脲酶活性用 G. Hoffman 和 K. Feicher 法；转化酶用硫代硫酸钠法；过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法；过氧化物酶和多酚氧化酶用没子食素比色法^[7~8]。土壤细菌用牛肉膏蛋白胨琼脂混菌法；放线菌用可溶性淀粉琼脂混菌法；真菌用马丁氏培养基混菌法^[9]。

3 结果与分析

3 1 混交林生长量

混交林营造成功与否很大程度上取决于混交树种种间关系协调情况。从表 1 看出，混交林中杉木的平均树高、胸径和单株材积等生长量都明显地高于杉木纯林，分别比杉木纯林提高了 20.08%，14.81% 和 54.03%。而混交林中枫香的各生产量指标也略比枫香纯林高，平均树高、胸径和单株材积分别比枫香纯林提高了 8.89%，7.79% 和 25.45%。可见，

枫香与杉木混交明显地促进了杉木的生长，它本身的生长状况也因混交而得到改善。此外，林相状况调查表明，混交林中枫香的平均树高和冠幅略比杉木大，而冠长却略比杉木小 (表 1)。两者混交林冠呈多层镶嵌郁闭，充分利用了营养空间，促进了林分的生长。6 年生混交林分蓄积量分别比杉木和枫香纯林提高了 32.73% 和 50.55%，表明枫香与杉木以 1:1 水平行间混交能显著提高林分生产力，且形成的混交林目前较为稳定。

3 2 混交林林分生物量

从表 2 看出，3 种林分生物量均表现为地上部大于地下部，其中地上部各器官生物量大小排序均为干 $>$ 枝 $>$ 叶。特别应指出的是枫香在秋冬季节叶子全部掉落，此时叶子尚未长出，为此只有干和枝生物量。而地下部各器官生物量大小排序除杉木纯林为粗根 $>$ 根桩 $>$ 细根外，其余林分均为根桩 $>$ 粗根 $>$ 细根。3 种林分尤以混交林分的总生物量为最大，6 年生达 $48.22\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，是杉木纯林的 1.32 倍，其次为枫香纯林 $39.10\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，是杉木纯林的 1.07 倍，而杉木纯林的生物量最低。林分平均生产力也以混交林为最大，达 $8.04\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，大小排序为混交林 $>$ 枫香纯林 $>$ 杉木纯林。由此可见，枫香与杉木混交种间关系协调，所形成的混交林冠幅大，冠层厚，而且枫香根深且根量多，枝条也多，充

表 1 混交林与纯林生长情况

Table 1 Growth status of mixed forest and pure stand

林 分	树种	现有密度 / (株·hm ⁻²)	冠幅 / m	冠长 / m	树高 / m	胸径 / cm	单株材积 / m ³	蓄积量 / (m ³ ·hm ⁻²)
枫香纯林	枫香	2 390	2 62	3. 86	6. 19	6. 42	0.011 0	26 29
混交林	枫香	1 210	2 43	4. 14	6. 74	6. 92	0.013 8	16 70
	杉木	1 198	2 18	4. 36	6. 16	8. 45	0.019 1	22 88
	小计	2 408						39 58
杉木纯林	杉木	2 405	2 03	3. 63	5. 13	7. 36	0.012 4	29 82

说明 $V_{\text{枫香}} = 0\,000\,052\,76\,D^{1.882\,161}H^{1.009\,317}$; $V_{\text{杉木}} = 0\,000\,058\,06\,D^{1.955\,335}H^{0.891\,033}$ 。

分利用营养空间，从而大大提高了混交林分生产力。

表 2 混交林与纯林林分生物量

Table 2 Biomass of mixed forest and pure stand

林分类型	总生物量 /(t·hm ⁻²)	地上部分/(t·hm ⁻²)				地下部分/(t·hm ⁻²)				平均生产力 /(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)
		干	枝	叶	合计	根桩	粗根	细根	合计	
枫香纯林	39.10	17.95	6.31	0	24.26	7.02	4.73	3.09	14.84	6.52
枫香杉木混交林	48.22	22.04	7.94	2.47	32.45	7.44	5.30	3.03	15.77	8.04
杉木纯林	36.52	17.27	5.56	4.40	27.23	3.42	4.04	1.83	9.29	6.09

3 3 混交林改土效果及机制

3.3.1 混交林对土壤理化性状的改善 混交林与纯林相比，由于林分结构、枯枝落叶的数量及组成和根系分布等状况的差异，引起林地土壤理化性状的变化。从表 3 可以看出，枫香纯林林地土壤水分物理性能较好，充分显示了枫香的改土效果，它与杉木组成的混交林林地土壤水分物理性状也得到了较大的改善。混交林林地土壤容重（0~40 cm）比杉木纯林下降 8.26%，土壤最大持水量、毛管持水量、田间持水量、毛管孔隙、非毛管孔隙及通气度比杉木纯林分别提高了 21.22%，21.67%，16.02%，12.33%，25.73%和 30.93%。由此可见，枫香杉木混交林地土层（0~40 cm）较为疏松，土壤通气性能得到明显改善，且水分容蓄能力大，这有利于提高林分的水源涵养功能和杉木根系的生长。

表 3 混交林与纯林土壤水分物理性状

Table 3 Soil hydro-physical properties of mixed forest and pure stand

林分	采样深度	容重	最大持水量	毛管持水量	田间持水量	毛管孔隙	非毛管孔隙	总孔隙	通气度
	/cm	/(g·cm ⁻³)	/%	/%	/%	/%	/%	/%	/%
枫香纯林	0~20	1.05	53.18	47.31	37.63	49.68	6.16	55.84	16.33
	20~40	1.12	46.63	42.06	33.89	47.11	5.12	52.23	14.23
	平均值	1.09	49.91	44.69	35.76	48.40	5.64	54.04	15.28
混交林	0~20	1.09	52.93	47.28	35.84	51.54	6.46	58.00	18.93
	20~40	1.13	46.34	41.43	31.93	46.82	5.55	52.37	16.29
	平均值	1.11	49.64	44.36	33.89	49.18	6.01	55.19	17.61
杉木纯林	0~20	1.15	44.83	39.13	31.85	45.00	5.41	50.46	14.93
	20~40	1.26	37.07	33.78	27.57	42.56	4.15	46.71	11.97
	平均值	1.21	40.95	36.46	29.21	43.78	4.78	48.56	13.45

说明：以 0~20 cm 和 20~40 cm 的数据平均值作为 0~40 cm 土层的水分物理性状指标

林分生长与土壤养分动态变化有着密切的关系。从表 4 看出，枫香纯林地（0~40cm）土壤有机质、全氮及全磷含量在 3 种林分中居于最高，这主要与其枯枝落叶数量、性质以及根系发达有关。而速效氮、磷、钾含量以混交林为最高，说明混交林有利于提高土壤的速效性养分，增强土壤的供肥能力。混交林地的土壤有机质、全氮、全磷、水解氮、速效磷及速效钾等养分含量均显著地高于杉木纯林地，分别是杉木纯林的 1.43，1.35，1.37，1.57，3.50 和 1.30 倍（表 4）。综合上述，土壤理化性状测定结果表明，枫香与杉木混交能明显地改善土壤水分物理性状，提高土壤养分

表 4 林分枯落物量及林地土壤化学性状（0~40 cm）

Table 4 Litterfall and soil (0~40 cm) chemical properties in different stands

林分类型	有机质	全氮	全磷	水解氮	速效磷	速效钾	枯落物
	/(g·kg ⁻¹)	/(g·kg ⁻¹)	/(g·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(t·hm ⁻²)
枫香纯林	30.82	0.76	0.66	74.21	6.37	78.56	5.70
混交林	26.86	0.73	0.59	87.15	8.18	91.42	5.08
杉木纯林	18.74	0.54	0.43	55.61	2.34	70.36	3.43

含量特别是速效养分含量。这在培肥地力和防止杉木人工林地力衰退上具有重要意义。

3.3.2 土壤微生物状况 凋落物腐烂分解, 养分转化只有在土壤微生物和酶的参与下才能完成。土壤微生物数量和酶活性越高则分解转化速度越快^[10]。从表 5 看出, 枫香杉木混交林林地土壤细菌、放线菌和真菌等微生物的数量均比

表 5 不同林分土壤 (0~40 cm) 微生物数量及组成

Table 5 Amount and composition of soil (0~40 cm) microbes in different stands

林分类型	微生物数量 (× 10 ⁴) / (个·g ⁻¹)			
	细 菌	真 菌	放线菌	总菌数
枫香纯林	243 3 (92.31)	8.6 (2.79)	15.1 (4.90)	308.0 (100)
混 交 林	296 6 (91.71)	10.3 (3.18)	16.5 (5.11)	323.4 (100)
杉木纯林	165 8 (92.78)	4.7 (2.60)	8.2 (4.62)	178.7 (100)

枫香纯林及杉木纯林高, 其中微生物总数量最多, 其次为枫香纯林, 而杉木纯林最低。各林分土壤中均以细菌占优势 (占 90% 以上)。这说明在凋落物分解过程中, 细菌生长繁殖快以及生物化学的多样性使它成为先锋菌, 分解那些简单易分解的成分。因此, 林地落叶最多时期细菌也较多。放线菌主要参与分解难分解的物质, 而真菌具有复杂的酶系统, 能分解纤维素、半纤维素及其他类似化合物, 分解一些植物保存物质如木质素的能力特别强。因混交林的枯枝落叶量较多且成分复杂, 加上小气候条件的改善, 促进了微生物的繁殖。这是混交林土壤细菌、放线菌及真菌等微生物数量比纯林多的主要原因。这说明混交林有利于有机质的分解和养分积累, 提高土壤肥力。

3.3.3 土壤酶

活性状况 土壤的生物化学过程是在酶的参与下进行的, 因而土壤酶活性是表征土壤肥力的重要标志之一^[11]。

表 6 混交林与纯林土壤酶活性 (0~40 cm)

Table 6 Soil (0~40 cm) enzymatic activity in different stands

林分类型	酸性磷酸酶 /(mg·g ⁻¹)	中性磷酸酶 /(mg·g ⁻¹)	脲 酶 /(mg·g ⁻¹)	转化酶 /(mL·g ⁻¹)	多酚氧化酶 /(mg·g ⁻¹)	过氧化氢酶 /(mL·g ⁻¹)	过氧化物酶 /(mg·g ⁻¹)
枫香纯林	1.78	0.44	0.17	1.26	0.43	2.85	1.94
混 交 林	2.16	0.63	0.32	1.87	0.54	3.16	2.36
杉木纯林	1.27	0.38	0.13	1.12	0.48	2.54	1.47

因不同林分的林地水热条件、营养物质及其转化状况不同, 各林分的土壤酶活性差异较大。从表 6 看出, 土壤中酸性和中性磷酸酶、脲酶、转化酶、多酚氧化酶、过氧化氢酶及过氧化物酶活性均以混交林为最高, 而杉木纯林最低。混交林地的土壤这 7 种酶活性分别比杉木纯林提高了 70.08%, 65.79%, 146.15%, 66.96%, 12.50%, 24.41% 和 60.54%。特别是酸性和中性磷酸酶。在南方山地酸性土壤中的酶促作用能加速土壤中复合磷的脱磷速度, 提高磷的有效性^[12]。因此, 对有效磷比较缺乏的南方山地红壤来说, 混交林土壤磷酸酶活性的提高对土壤供磷水平具有特别重要的意义。综上所述, 枫香杉木混交能明显提高林地土壤酶活性, 表明混交林地土壤有机物残体分解及腐殖质再合成强度比纯林高。

3.4 混交林的小气候特征

林冠结构不同, 导致不同林分内微生境条件差异明显。因混交林冠呈多层镶嵌郁闭, 能层层截留吸收太阳辐射光, 从而改善了林分小气候。从表 7 调查结果看出, 混交林林内光照强度比纯林低, 其相对光照强度比纯林降低了 7.38%~12.65%, 林内平均气温比纯林降低 0.5~1.9℃, 平均地温降低了 0.7~2.2℃, 而林内空气相对湿度却比纯林提高 3%~8%。这在林木生长最旺的夏秋季节, 混交林有更多机会处于相对湿度较大的环境中, 利于光合作用的进行。可见, 混交林能充分利用光能, 抵达林地表面的太阳辐射

表 7 混交林与纯林林分小气候特征

Table 7 Microclimate characteristic of mixed and pure forest

林分类型	林内温度 /℃	地 温 /℃	相对湿度 /%	光照强度 /klx	相对光照度 /%
枫香纯林	21.4	14.9	78	26 241	42.84
混 交 林	20.9	14.2	86	21 724	35.46
杉木纯林	22.8	16.4	83	29 469	48.11

说明: 数据为 1999 年 9 月 25 日中午 11:00~12:30 测定的平均值, 空旷地光照强度为 61 259 lx

光减小，从而降低了林内温度和地温，减少地表水分蒸发，提高湿度，利于林木生长发育。

4 结论与讨论

枫香与杉木行间混交，空间分布格局合理，能充分利用地上部营养空间和地下部土壤养分空间，减缓营养空间的竞争。2 树种种间关系协调，混交林生物量及生产力均比枫香和杉木纯林高，林分蓄积量和生产力分别比杉木纯林提高了 32.73%和 32.35%，分别比枫香纯林提高了 50.55%和 22.87%。

枫香与杉木混交，能改善林分的光照强度、温度及湿度等小气候环境。主要表现在林内光照强度减弱、降低并稳定气温和地温以及提高林内相对湿度，为林木生长创造一个良好的生态环境。

混交林枯枝落叶量多，成分复杂，根系发达，加上小气候的改良，明显地促进微生物活动，提高土壤酶活性，加速了有机物的分解和养分累积，从而改善土壤理化性状，提高土壤肥力。

枫香与杉木混交林分对改善我国南方省区造林树种单调状况，发展优良乡土阔叶树种，增加森林景观和防治地力衰退具有重要意义，值得进一步推广。

参考文献：

[1] 林芷，许绍远，潜高星，等. 柏木与枫香混交营造技术的研究[J]. 浙江林学院学报，1985，2（2）：13—18.
[2] 方奇. 杉木连栽对土壤肥力及其生长的影响[J]. 林业科学，1987，23（4）：389—397.
[3] 陈楚莹. 改善杉木人工林的林地质量和提高生产力的研究[J]. 应用生态学报，1990，1（2）：97—106.
[4] 李振问. 杉木火力楠混交林的生态效益研究[J]. 福建林学院学报，1992，12（2）：142—147.
[5] 张万儒. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京：中国林业出版社，1986.
[6] 中华人民共和国国家标准局. GB7847-7558-1987 森林土壤分析法[S]. 北京：中国标准出版社，1987.
[7] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京：农业出版社，1986.
[8] 郑洪元. 土壤动态生物化学研究法[M]. 北京：科学出版社，1982.
[9] 许光辉. 土壤微生物分析手册[M]. 北京：农业出版社，1986.
[10] A. D. 麦克拉伦. 土壤生物化学[M]. 闵九康，译. 北京：农业出版社，1984
[11] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京：科学出版社，1982.
[12] 周东雄. 杉木深山含笑混交林土壤肥力的研究[J]. 福建林学院学报，1994，14（3）：220—224.

Productivity and ecological characteristics of mixed forest of Chinese sweet gum and Chinese fir

QIAN Guo-qin

(Forestry Department of Fujian Province, Fuzhou 350003, Fujian, China)

Abstract: A study on productivity and ecological characteristics of mixed forest of Chinese sweet gum and Chinese fir was carried out. The results show that the mixed forest has a hamonize species relation, with relative high productivity and rational special structure. The mixed forest has ameliorated soil physical and chemical properties, stimulated the activities of microbes and enzymes, and improved the growth of both Chinese sweet gum and Chinese fir. It is, therefore, an advantageous mixed forest in rebuild of poor-yield plantation of Chinese fir and control of site degradation.

Key words: Chinese sweet gum (*Liquidambar formosana*); Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*); mixed forest; productivity; ecological property