

西双版纳热带人工雨林生物量及净第一性生产力的研究^{*}

唐建维^{1*} 张建候¹ 宋启示¹ 黄白云¹ 李自能² 王利繁² 曾 荣²

(¹ 中国科学院西双版纳热带植物园热带雨林生态系统定位研究站, 勐腊 666303; ² 西双版纳国家级自然保护区管理局勐仑保护所, 勐腊 666303)

【摘要】 通过标准木法和收获法研究分析了西双版纳热带人工模拟雨林的生物量及净第一性生产力。结果表明, 林分总生物量约为 $390.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中乔木层生物量达 $362.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占总生物量的 92.8%, 灌木层生物量为 $19.3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占 4.9%, 层间植物(包括附生植物)的生物量为 $3.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 草本层生物量为 $5.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 分别占 1.3% 和 0.9%。林分净第一性生产力为 $2227.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{年}^{-1}$, 其中乔木层的净生产力为 $1553.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{年}^{-1}$, 占整个林分净生产力的 69.7%, 灌木层、草本层及层间植物分别仅占 26.9%、2.4% 和 1.0%。其器官分配比例以茎最高, 达 42.0%; 其次为叶, 占 30.2%; 枝仅占 13.5%。叶面积指数为 7.061。同时建立了林分优势种及乔木层各器官生物量的优化回归模型。

关键词 生物量 净第一性生产力 热带人工雨林

文章编号 1001-9332(2003)01-0001-06 中图分类号 S718.55 文献标识码 A

Biomass and net primary productivity of artificial tropical rainforest in Xishuangbanna. TANG Jianwei¹, ZHANG Jianhou¹, SONG Qishi¹, HUANG Ziyun¹, LI Zineng², WANG Lifan², ZENG Rong² (¹ *Tropical Rainforest Ecosystem Research Station, Xishuangbanna Tropical Botanic Garden, Chinese Academy of Sciences, Menglun 666303, China;* ² *Menglun Nature Reserve Service, Xishuangbanna Bureau of National Nature Reserve, Menglun 666303, China*). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2003, 14(1): 1~6.

The stand biomass and primary net productivity of artificial tropical rainforest in Xishuangbanna were estimated, based on sample tree method and harvesting method. The results showed that the standing biomass was $390.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, of which, $362.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (92.8%) were contributed by tree layers. The biomass of shrub and inter-layer plants (including epiphytes) was $19.3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (4.9%) and $3.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (0.9%), respectively, and that of herbaceous layers was $5.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. The primary net productivity of the stand was $2227.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, of which, $1553.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ (69.7%) were contributed by tree layers. In the allocation of primary net productivity in different parts of trees stems showed the highest net productivity, accounted for 42.0%. Leaves and branches were accounted for 30.2% and 13.5%, respectively. The leaf area index (LAI) was 7.061. The optimum regression models of different dominant plants and organs of the sample trees of tree layer in the artificial tropical forest were built.

Key words Biomass, Net primary productivity, Artificial tropical rainforest.

1 引 言

自 20 世纪 50 年代以来, 由于人口的急增, 人类生产活动的日益加剧, 分布于热带北缘的西双版纳热带雨林已受到了严重破坏, 其森林覆盖率由 50 年代初期的 50% 下降到现在的 27%, 取而代之的是大片的次生灌丛和以橡胶为主的人工经济林, 致使水土流失严重, 生态环境恶化, 生物多样性降低。如何解决这一严重的问题? 寻求和探索出生物资源的开发与保护、生态效益与经济效益协调统一的合理发展途径, 已成为世人关注的焦点。自 60 年代以来, 中国科学院西双版纳热带雨林生态系统定位研究站就一直致力于模拟热带雨林结构, 进行热带多层次、多

种类的高生产力、高生态效益的人工群落的试验研究, 热带雨林的人工模拟是该站 90 年代以来所从事的一项试验工作, 试图在物种保护、营造高生产力和高生态效益的人工植被方面作一些尝试和探索, 以期对热带山地退化生态系统的恢复与重建和当地的农业生产提供优化模式和指导作用。本文仅就热带人工雨林生物量和净第一性生产力的结构和分配作初步探讨。

植物群落生物量是研究森林物质生产和群落养分动态的基础, 随着 20 世纪 60 年代中期以研究各

* 中国科学院重大项目 (KZ95T-04-02) 和国家科技部“2001 年度基础研究快速反应支持项目(2001CCB00600)”。

** 通讯联系人。

2002-04-10 收稿, 2002-06-05 接受。

种生态系统生物量和生产力为中心的国际生物学计划 (IBP) 的实施, 全球范围内的各种生态系统类型的生物量与生产力的研究也随之全面展开. 众多学者不仅对全球各生物区域的森林群落的生物量和生产力的估算进行了比较分析^[14], 而且总结分析了热带地区不同森林类型的生物量及其在各器官中的分配规律^[18], 同时把全球热带地区的生物量与全球大气中的 CO₂ 含量、温室效应等有机地结合起来进行了深入探讨^[1, 3]. 并对热带人工林的生物量及其 C 贮量作了全球性的比较研究^[2, 16]. 目前, 对热带森林群落生物生产力的研究从以前的定量化描述转向对其形成机理和成因的研究^[11]. 我国对森林群落生物量和生产力的研究则始于 70 年代末期, 国内众多学者对温带针叶林、亚热带常绿阔叶林和热带雨林均进行了研究^[4~5, 8, 10, 12, 13], 特别是人工林生物量与生产力的研究报道较多^[7, 9, 15, 17, 21], 但大量研究均局限于温带和亚热带的人工林, 热带地区人工林的生物量与生产力报道较少. 随着人类活动所导致的全球 CO₂ 浓度的升高及其全球 C 循环研究工作的深入开展, 全球 C 模型的设计与 C 贮量的估算需要各类森林净初级生产力的野外测定数据, 对世界范围内各类森林群落净初级生产力的测算和掌握则成为当前一项非常紧迫的重要研究内容^[6]. 由此, 作者于 1997 年 1 月对该站人工模拟的热带雨林的生物量和净第一性生产力进行了实测调查, 本文仅就该群落的生物量和净第一性生产力的层次、器官和种类分配及其组成进行分析, 以便为区域性人工林营造、树种配置、生物量估算、物种保护及热带退化山地生态系统的恢复与重建等方面提供量化指标和科学依据, 同时为该地区人工林 C 贮量的估算提供可靠的基本数据.

2 研究地区与研究方法

2.1 试验地概况

试验样地位于西双版纳小勐仑的葫芦岛上, 面积为 0.5 hm², 坡度为 5°, 坡向为 SE, 地理位置为 21°54' N, 101°46' E, 属西南热带季风气候, 海拔高度为 560m, 一年可分为干热、湿热及雾凉 3 季, 3~5 月为干热季, 气温较高, 降雨量少; 6~10 为雨季, 气候湿热, 全年 85% 的雨水集中在此期间降落; 11~2 月为雾凉季, 降水量减少, 但早晚浓雾弥漫, 空气湿度较大. 年平均气温 21.6℃, 最热月 (5 月) 平均气温 25.3℃, 最冷月 (1 月) 平均气温 15.5℃, 年均降雨量 1557.0 mm, 年平均相对湿度 86%, 年日照时数 1828.0h, 有雾日数 173.7d, 终年无霜, 土壤为砖红壤, 土层深厚, pH 值为 5.6 左右.

2.2 群落学特征

该群落是在原有的以橡胶 (*Hevea brasiliensis*) (1960 年种植)、萝芙木 (*Rauwolfia vomitoria*) (1971 年种植)、木奶果 (*Baccaurea ramiflora*) (1979 年种植)、省藤 (*Calamus henryanus*)、千年健 (*Homalomena occulta*) (1980 年种植) 为主组成的多层多种人工林的基础上, 根据热带季节雨林的种类组成和结构特征, 以物种多样性保护和提高经济、生态效益为目的, 于 1991 年在各个层次上, 人为地种植了热带雨林成分的树种、珍稀濒危植物及经济植物进行热带雨林的模拟. 1) 乔木层: 种植了望天树 (*Parashorea chinensis*)、藤春 (*Alphonsea monogyna*)、依兰 (*Cananga odorata*)、蚊香 (*Mezittopsis creaghii*)、金钩花 (*Pseuduaria indochinensis*)、钝叶桂 (*Cinnamomum bjalghota*)、木姜子 (*Litsea eusma*)、风吹楠 (*Horsfieldia amygdalina*)、红光树 (*Knema furfuracea*)、云南肉豆蔻 (*Myristica yunnanensis*)、光叶天料木 (*Homidium laoticum*)、垂叶榕 (*Ficus benjamina*)、大叶藤黄 (*Garcinia xanthochymus*)、小叶藤黄 (*Garcinia cowa*) 等 67 种种树; 2) 灌木层: 种植了滇南九节 (*Psychotria henryi*)、南山花 (*Prismatomeris tetradia*)、三桠苦 (*Evodia lepta*)、大黄皮 (*Clausena dentata*)、细腺萼木 (*Mycetia gracilis*)、美登木 (*Maytenus hookeri*)、鹅掌柴 (*Schefflera arboricola*) 等 29 种. 3) 草本层: 种植的种类大多为一些经济价值较高的植物和一些稀有植物, 共 67 种, 如苏铁 (*Cycas pectinata*)、地不容 (*Stephania epigaea*)、四块瓦 (*Chloranthus holotegius*)、珠兰 (*Chloranthus spicatus*)、绞股兰 (*Gymnopetalum* sp.)、秋海棠 (*Begonia laciniata*)、糯米香 (*Semnostachya menglaensis*)、凤梨 (*Ananas comosus*)、嘉兰 (*Gloriosa superba*)、万年青 (*Aglaonema commutatum*) 等. 4) 层间植物: 主要是一些藤本植物和附生植物, 共 16 种. 如粗茎岩角藤 (*Rhaphidophora crassicaulis*)、爬树龙 (*Rhaphidophora decussata*)、麒麟叶 (*Epipremnum pinnatum*)、巢蕨 (*Neottopteris nidus*)、凤尾蕨 (*Pteris finitii*)、石斛 (*Dendrobium densiflorum*)、贝母兰 (*Coelogyne fuscocens*)、万带兰 (*Vanda brunnea*) 等.

2.3 生物量和净第一性生产力的测定

2.3.1 乔木层 由于试验开始时在试验区内所种植的大量树种多为幼苗和小幼树, 除个别植株个体长到 5~6m 高外, 大多数植株高度均为 3m 左右, 故选取 0.1hm² (40m × 25m) 的样地, 只对橡胶、萝芙木、木奶果 3 个树种进行了每木检尺, 而求得这 3 个树种胸径、树高的平均值, 橡胶的 $\bar{D} = 34.8$ cm, $\bar{H} = 20.5$ m, 植株密度为 370 株·hm⁻²; 萝芙木的 $\bar{D} = 12.2$ cm, $\bar{H} = 10.2$ m, 植株密度为 540 株·hm⁻²; 木奶果的 $\bar{D} = 8.6$ cm, $\bar{H} = 5.8$ m, 植株密度为 430 株·hm⁻². 因每个树种均为同时栽种, 个体分化不是很大. 根据每个树种的胸径、树高的平均值, 每个树种均选取标准木 3 株, 并同时选取大于标准木和小于标准木的各 3 株, 共 9 株进行整株收获. 在野外将样木伐到后, 树干按 1m 锯断称重, 并在树干基部、胸径、树干中部和端部各锯取一个圆盘; 同时测量各枝的基径和长度, 将老枝和新枝、老叶和新叶分别称重, 并取少量样品, 将根全部掘出, 分根茎、粗根和细根 (< 2mm) 称重, 并清

数每株基径圆盘、每枝基部及粗根基部的年轮。树干和枝的年生长量即为树干和枝的干重除以其年龄数而得。根包括根茎、粗根和细根(< 2mm), 根茎作为树干与根系之间的过渡区, 其生长量即以根茎的干重除以基径的年轮数而求得; 粗根的生长量即以每一粗根基部的年龄除以其干重而求得; 细根生长量即为其生物量。叶的生长量分为落叶树种和常绿树种, 落叶树种(橡胶) 的叶片都是当年长出的, 其生物量即为叶的生长量, 常绿树种(木奶果和萝芙木) 的叶则分当年生叶和老叶分别称重, 其当年生叶的生物量(凋落物量及叶被采食量未测) 即为叶的生长量。

2.3.2 灌木层和草本层 在样地内设置 5 个 2m × 2m 小样方, 区分灌木和草本植物。因灌木层中均为人工引进种植的植物, 所种植的高度在 3m 左右的乔木幼树均包括在内。草本层只有千年健和马唐(*Digitaria ciliaris*) 数量较多外, 其余种植的种类和杂草数量均较少, 都按种类及茎、枝、叶、根分别称重, 并取各器官的少量样品。灌木层种类的生长量即以每株的生物量除以每株的基径年龄所得。草本层除马唐为一年生植物, 其生物量即为生长量外, 千年健等人工种植的植物生长量即为各种类的生物量除以其种植的年龄所得。

2.3.3 层间植物 层间植物虽为人工种植的种类, 为了获得其生物量, 对每一株(丛) 的茎粗、长度进行了测定, 求得每一种类的平均值, 然后从每一种类中选取有代表性的一株分茎、叶、根分别称重, 并取各器官的少量样品。因种植时均为较小的幼苗或植株, 其生长量同样是各种类的生物量除以其种植的年龄所得。所有样品带回实验室后, 树干、枝、根茎、粗根的样品在 105℃, 细根、叶、草本植物在 85℃ 干燥箱内烘干至恒重后称重, 求得含水率后折算出各器官的干重(生物量), 并计算出各器官的年生长量。

2.3.4 叶面积指数 采用叶面积比重法测定。

3 结果与分析

3.1 乔木层生物量和年生长量的优化回归模型

根据每个树种的 9 株标准木资料, 以胸径平方乘树高(D^2H) 作自变量, 采用多种常见的线性和非线性回归模型对 3 个树种及整个林分各器官的生物量和年生长量加以拟合, 从中选出相关系数最高者作为优化回归模型, 以此作为估算乔木层生物量和年生长量的基础。在这些模型(表 1) 中, 除个别器官的相关系数稍低以外, 其余的都较高, 相关系数均在 0.9 以上, 经检验, 达到了极显著。

3.2 林分乔木层生物量和净生产量及其分配规律

由表 1 乔木层器官生物量和生长量优化回归模型, 直接推算出林分乔木层的生物量和生长量, 结果表明, 该林分乔木层的生物量(表 2) 为 362.5t·hm⁻², 其中以茎所占的比例最大, 为 59.5%, 其次为枝, 占 23.5%, 最小为叶, 仅占 1.8%。各器官生物量所占比例的大小顺序为茎> 枝> 根> 叶; 而在

表 1 林分主要优势种及乔木层样木器官生物量和生长量的优化回归模型

Table 1 Optimum regression models of different dominant plants, organic biomass and growth in the sample trees of arborous layer in artificial tropical rainforest

树种 Species	器官 Organs	优化回归模型 Optimum regression models	相关系数 Regression coefficient (r)
橡胶 <i>H. evel</i> <i>brasiliensis</i>	茎	$W_s = 1.386593E - 03 (D^2 H)^{0.8758465}$ ($D \geq 30\text{cm}$)	$r = 0.9391$
	Stem	$P_s = 2.751614E - 03 (D^2 H)^{1.058691}$ ($H \geq 18\text{m}$)	$r = 0.9858$
	枝	$W_b = 59.23933 + 4.334024E - 05 (D^2 H)$	$r = 0.8975$
	Branch	$P_b = 2.339155 (D^2 H)^{0.5282168}$	$r = 0.8953$
	叶	$W_l = 3.590027E - 02 (D^2 H)^{0.3962331}$	$r = 0.9551$
	Leaf	$P_l = 86.73084 (D^2 H)^{0.3371869}$	$r = 0.8765$
	根	$W_r = 1.968433 (D^2 H)^{0.2863996}$	$r = 0.9883$
	Root	$P_r = 1.284506E - 06 (D^2 H)^{1.443849}$	$r = 0.9269$
	总	$W_t = 0.1190219 (D^2 H)^{0.6052483}$	$r = 0.9298$
	T total	$P_t = 0.6837251 (D^2 H)^{0.7392777}$	$r = 0.9683$
木奶果 <i>Baccaurea</i> <i>ramiflora</i>	茎	$W_s = 5.729448E - 03 (D^2 H)^{0.713855}$ ($D \geq 5.6\text{cm}$)	$r = 0.9926$
	Stem	$P_s = 451.9188 (D^2 H)^{7.202597} E - 03$ ($H \geq 4\text{m}$)	$r = 0.9925$
	枝	$W_b = 1.057293 (D^2 H)^{0.2180149}$	$r = 0.9973$
	Branch	$P_b = 7.117859 + 1.653899E - 02 (D^2 H)$	$r = 0.9998$
	叶	$W_l = 1.179634E - 04 (D^2 H)^{0.9835361}$	$r = 0.9820$
	Leaf	$P_l = 984.7229 + 1.784062E - 03 (D^2 H)$	$r = 0.9998$
	根	$W_r = 6.687311E + 30 (D^2 H)^{6.290014}$	$r = 0.9011$
	Root	$P_r = 89.27234 (D^2 H)^{5.488717E - 02}$	$r = 0.9983$
	总	$W_t = 0.1658767 (D^2 H)^{0.4884181}$	$r = 0.9981$
	T total	$P_t = 1424.43 + 4.588561E - 02 (D^2 H)$	$r = 0.9995$
萝芙木 <i>Rauvolfia</i> <i>no mitoria</i>	茎	$W_s = - 1.151627 + 2.651492E - 04 (D^2 H)$ ($D \geq 9.5\text{cm}$)	$r = 0.9238$
	Stem	$P_s = 451.9188 + 7.202597E - 03 (D^2 H)$	$r = 0.9402$
	枝	$W_b = 1.243581E + 08 (D^2 H)^{1.355202}$	$r = 0.9962$
	Branch	$P_b = - 114.5983 + 3.031822E - 03 (D^2 H)$	$r = 0.9976$
	叶	$W_l = 9.680151E + 09 (D^2 H)^{1.927953}$	$r = 0.9984$
	Leaf	$P_l = 6.455606E - 03 (D^2 H)^{0.9094008}$	$r = 0.9933$
	根	$W_r = 14.32054 (D^2 H)^{2.41419E - 05}$	$r = 0.9998$
	Root	$P_r = 76242.28 (D^2 H)^{0.4447127}$	$r = 0.9869$
	总	$W_t = 66.83058 + 6.443264E - 05 (D^2 H)$	$r = 0.9637$
	T total	$P_t = 2984126 (D^2 H)^{0.5797596}$	$r = 0.9786$
林分 Stand	茎	$W_s = 6.671587E - 04 (D^2 H)^{0.9247109}$ ($D \geq 5.6\text{cm}$)	$r = 0.9980$
	Stem	$P_s = 476.2657 + 6.350247E - 03 (D^2 H)$	$r = 0.9985$
	枝	$W_b = 1.010776E - 03 (D^2 H)^{0.660269}$	$r = 0.9509$
	Branch	$P_b = 504.0174 + 2.044065E - 03 (D^2 H)$	$r = 0.9824$
	叶	$W_l = 2.276556 + 4.019449E - 06 (D^2 H)$	$r = 0.9644$
	Leaf	$P_l = 1090.821 + 4.576107E - 03 (D^2 H)$	$r = 0.9763$
	根	$W_r = 4.781492E - 04 (D^2 H)^{0.8541507}$	$r = 0.9902$
	Root	$P_r = 175.3239 + 8.202531E - 04 (D^2 H)$	$r = 0.9743$
	总	$W_t = 29.61008 + 3.436532E - 04 (D^2 H)$	$r = 0.9910$
	T total	$P_t = 2255.614 + 1.376679E - 02 (D^2 H)$	$r = 0.9945$

W: 生物量 Biomass; P: 生长量 Growth.

其 3 个树种的生物量组成中, 以橡胶所占的比例最大, 为 87.8%, 其次为萝芙木, 占 9.7%, 木奶果最小, 仅占 2.6%。在各树种生物量的器官分配比例中, 除木奶果的枝所占的比例大于树干外, 其余的器官分配比例均为茎> 枝> 根> 叶。该林分乔木层的年均净生产量(表 2) 为 1553.5g·m⁻², 其中以茎所占的比例最大, 为 43.0%, 其次为叶, 占 34.0%, 根最少, 仅占 6.4%。各器官净生产量所占比例的大小顺序为茎> 叶> 枝> 根。在该林分乔木层 3 个树种的净生产力组成中, 以橡胶的净生产力最高, 达 82.3%, 其次为萝芙木, 占 10.9%, 木奶果最小, 仅占 6.8%。这与 3 个树种生物量所占的大小比例顺

序一致. 在 3 个树种各器官的净生产力分配中, 均为茎> 叶> 枝> 根.

3.3 灌木层的生物量和生长量及其分配

灌木层的生物量(表 2) 为 19.3 t·hm⁻², 其中以茎所占的比例最大, 占该层次生物量的 43.8%; 其次为根, 占 29.2%; 叶最少, 仅占 13.1%. 灌木层的年净第一性生产力(表 2) 达 598.7 g·m⁻², 以茎所占的比例(40.3%) 最大, 根次之(31.4%), 最少为叶(8.0%). 其生物量和净第一性生产力的器官分配比例均为茎> 根> 叶> 枝.

3.4 层间植物的生物量和年生长量及其分配

从表 2 可知, 层间植物的生物量不大, 总量仅为 3.6 t·hm⁻², 其中茎所占的比例最大, 占整个层次生物量的 2/5 以上, 根约占 1/3, 最少为叶, 约占 1/4. 其器官分配的比例大小顺序为茎> 根> 叶. 在该层次生物量的种类组成中, 省藤所占的比例最高, 达80.8%, 其次为蕨类植物, 占 12.6%, 最少为爬树

龙、麒麟叶等附生攀援植物, 仅占 2.5%. 层间植物的年生长量(表 2) 为 22.0 g·m⁻², 其中以茎所占的比例最大, 达 47.7%, 其次为叶, 占 30.1%; 根仅占 22.2%. 在该层次生长量的种类组成中, 以省藤所占的比例最大, 占 76.6%, 兰科植物次之占 11.3%, 蕨类植物仅占 5.5%.

3.5 草本植物的生物量和年生长量及其分配

经测定, 草本层植物生物量为 5.0t·hm⁻², 其生物量的器官分配比例以根最大, 达 82.7%, 分别为茎的 9 倍和叶的 12 倍. 在该层生物量的种类组成中, 千年健占该层生物量的 89.6%, 马唐占 4.0%. 其它种类占 6.4%. 在其器官生物量分配比例中, 千年健为根> 茎> 叶; 而马唐为茎> 叶> 根; 千年健的根系生物量较大, 这主要是因为千年健的根系发达所致. 草本层植物的年生长量(表 2) 为 53.0g·m⁻², 其生长量的器官分配比例与其生物量的分配比例一样, 均为根> 茎> 叶. 尤以根所占的比例最大, 达1/ 2

表 2 热带人工雨林不同层次优势植物生物量和净第一性生产力的器官分配
Table 2 Biomass (t·hm⁻²) and net primary productivity (g·m⁻²·yr.⁻¹) allocation among different parts of dominant plants in different layers of artificial tropical rainforest

层次 Layer	植物 名称 Species	树干 Trunk		枝 Branch		叶 Leaf		根 Root		总计 Total	
		生物量 Biomass	%	生物量 Biomass	%	生物量 Biomass	%	生物量 Biomass	%	生物量 Biomass	%
乔木层 Tree	H	194.1	53.6	71.6	19.7	4.4	1.2	48.1	13.3	318.2	87.7
	R	18.1	5.0	10.1	2.8	0.9	0.2	5.9	1.6	35.0	9.7
	B	3.4	0.9	3.5	0.9	1.1	0.3	1.3	0.4	9.3	2.6
	Total	215.6	59.5	85.2	23.5	6.4	1.8	55.3	15.3	362.5	100
灌木层 Shrub		8.5	43.8	2.7	13.9	2.5	13.1	5.6	29.2	19.3	100
层间 植物 Inter- layer	P	—	—	—	—	0.03	0.87	0.42	1.17	0.45	12.5
	O	0.08	2.1	—	—	0.07	1.94	0.01	0.14	0.15	4.2
	RdE	0.06	1.7	—	—	0.02	0.45	0.01	0.28	0.09	2.5
	C	1.40	39.4	—	—	0.80	22.5	0.67	18.9	2.87	80.8
	Total	1.54	43.3	—	—	0.92	25.8	1.10	30.9	3.55	100
草本层 Herb	Ho	0.27	5.4	—	—	0.24	4.7	3.97	79.5	4.48	89.6
	Di	0.12	2.4	—	—	0.06	1.2	0.02	0.4	0.20	4.0
其它	Others	0.10	1.9	—	—	0.08	1.7	0.14	2.8	0.32	6.4
总计	Total	0.48	9.7	—	—	0.4	7.6	4.13	82.7	5.0	100
		NPP	%	NPP	%	NPP	%	NPP	%	NPP	%
乔木层 Tree	H	571.0	36.8	99.4	12.8	435.7	28.1	72.3	4.6	1278.4	82.3
	B	23.9	15.4	20.1	1.3	56.0	3.6	5.0	0.3	105.0	6.8
	R	72.9	4.7	32.5	2.1	43.4	2.8	21.3	1.4	170.1	10.9
	Total	667.8	43.0	252.0	16.2	535.1	34.4	98.6	6.4	1553.5	100
灌木层 Shrub		241.5	40.3	47.8	8.0	121.5	20.3	187.8	31.4	598.7	100
层间 植物 Inter- layer	P	—	—	—	—	—	0.52	2.4	0.69	3.1	1.2
	O	1.25	5.7	—	—	—	1.15	5.2	0.08	0.4	2.5
	RdE	1.03	5.2	—	—	—	0.27	1.2	0.17	0.8	1.5
	C	8.23	37.3	—	—	—	4.71	21.6	3.94	17.9	16.9
总计	Total	10.5	47.7	—	—	—	6.65	30.1	4.88	22.2	22.0
草本层 Herb	Ho	1.6	3.0	—	—	—	1.4	2.6	23.4	44.1	26.3
	Di	12.0	22.6	—	—	—	6.0	11.3	2.2	4.1	20.1
其它	Others	1.6	3.0	—	—	—	1.4	2.6	3.6	6.7	6.5
总计	Total	15.2	28.6	—	—	—	8.8	16.6	29.1	54.8	53.0

H: 橡胶 *Hevea brasiliensis*, B: 木奶果 *Baccaurea ramiflora*, R: 萝芙木 *Rauwolfia vomitoria*, P: 蕨类植物 *Pteridophyta*, O: 兰科植物 *Orchidaceae species*, Rd: 爬树龙 *Rhaphidophora decursiva*, E: 麒麟叶 *Epipremnum pinnatum*, C: 省藤 *Calamus henryanus*, Ho: 千年健 *Homalomena occulta*, Di: 马唐 *Digitaria ciliaris*, NPP 净初级生产力: Net primary productivity.

以上, 叶所占的比例最少, 仅为 1/6. 在其生长量的种类分配中, 以千年健的生长量最高, 约占 1/2.

3. 6 林分的总生物量和净第一性生产力及其分配

林分总生物量是指林分的现存量(表 3), 未包括地下部分的枯死量、食草动物的采食量和枯落物量. 同时, 由于在各层次中种植有大量的植物, 不便进行

生物量收获, 故整个林分的生物量有所偏低. 从其层次分配来看, 以乔木层所占的比例最大, 高达 92.9%, 灌木层、层间植物和草本层分别仅占 4.9%、0.9% 和 1.3%. 整个林分生物量的器官分配比例以茎最大, 超过 1/2, 枝次之, 约高于 1/5, 叶最少. 其器官分配比例顺序为茎> 枝> 根> 叶. 林分

表 3 热带人工雨林生物量的层次分配
Table 3 Biomass allocation among different layers of artificial tropical rainforest($t \cdot hm^{-2}$)

层次 Layer	茎 Stem		枝 Branch		叶 Leaf		根 Root		总计 Total	
	生物量 Biomass	%	生物量 Biomass	%	生物量 Biomass	%	生物量 Biomass	%	生物量 Biomass	%
乔木层 Tree	215.6	58.6	85.2	23.2	6.4	1.7	55.3	15.0	362.5	92.9
灌木层 Shrub	8.5	2.2	2.7	0.7	2.5	0.6	5.6	1.4	19.3	4.9
层间植物 Inter-layer	1.5	0.4	—	—	0.9	0.2	1.1	0.3	3.6	0.9
草本层 Herb	0.5	0.1	—	—	0.4	0.1	4.1	1.1	5.0	1.3
总计 Total	226.1	57.9	87.9	22.5	10.1	2.6	66.2	16.9	390.4	100

表 4 热带人工雨林净第一性生产力的层次分配
Table 4 Net primary productivity allocation among different layers of artificial tropical rainforest($g \cdot m^{-2} \cdot yr^{-1}$)

层次 Layer	茎 Stem		枝 Branch		叶 Leaf		根 Root		总计 Total	
	NPP	%	NPP	%	NPP	%	NPP	%	NPP	%
乔木层 Tree	667.8	29.3	252.0	11.3	535.1	24.02	98.6	4.4	1553.5	69.7
灌木层 Shrub	241.5	10.8	47.8	2.1	121.5	5.5	187.8	8.4	598.7	26.9
层间植物 Inter-layer	10.5	0.5	—	—	6.6	0.3	4.9	0.2	22.0	1.0
草本层 Herb	15.2	0.7	—	—	8.8	0.4	29.1	1.3	53.1	2.4
总计 Total	935.0	42.0	299.8	13.5	672.0	30.2	320.4	14.4	2227.3	100

NPP: 净第一性生产力 Net primary productivity.

的年净第一性生产力(表4)达2227.3 $g \cdot m^{-2}$, 在其各层次的分配中, 同样以乔木层所占的比例最大, 占 2/3, 灌木层次之, 约占 1/4, 层间植物所占的比例最少. 其器官的分配比例以茎为最大(42.0%), 叶次之(30.2%), 枝最少(13.5%).

从整个林分的总生物量来看, 其生物量已达 390.4 $t \cdot hm^{-2}$, 与本地区的热带季节雨林相比较(表 5), 稍高于热带季节雨林生物量(360.9 $t \cdot hm^{-2}$)^[8], 从各层次的生物量分配来看, 除乔木层和层间植物的生物量稍高于热带季节雨林外, 灌木层是热带季节雨林的 4 倍, 而草本植物的生物量是热带季节雨林的 10 倍, 说明两者在结构上的差异. 虽然随着群落的发展, 目前在该林分灌木层中的乔木幼树将长成大树, 灌木层的生物量将有所减少, 但乔木层的生物量将会有较大的增长. 同时作为反映植物群落生产力高低重要指标的叶面积指数, 该林分的叶面积指数达 7.061, 虽低于海南岛黎母山和尖峰岭山地雨林的叶面积指数(分别为 9.572 和 16.70), 但远高于尖峰岭热带季雨林(6.2)和鹤山的混交林(4.64) 及大叶相思(4.06) 等人工林, 表明在热带退化山地的恢复与重建中, 进行热带经济作物、热带雨林成分树种等多层次、多类型人工群落的营造, 是目前提

表 5 西双版纳热带人工雨林生物量与热带季节雨林的比较
Table 5 Comparison of biomass between artificial tropical rainforest and tropical seasonal rainforest in Xishuangbanna($t \cdot hm^{-2}$)

层次 Layer	器官 Organs	热带人工雨林 Artificial tropical rainforest		热带季节雨林 Tropical seasonal rainforest	
		生物量 Biomass	%	生物量 Biomass	%
乔木 Tree	茎 Stem	215.6	55.2	241.3	66.8
	枝 Branch	85.2	21.8	37.3	10.3
	叶 Leaf	6.4	1.6	4.4	1.2
	根 Root	55.3	14.2	69.6	19.3
	总计 Total	362.5	92.9	352.6	97.7
灌木 Shrub		19.3	4.9	4.7	1.3
草本 Herb		5.0	1.3	0.5	0.1
层间植物 Inter-layer		3.6	0.9	3.1	0.9
总计 Total		390.4		360.9	

高生物生产力和加速地带性森林群落恢复较为可行的途径.

4 结 论

4.1 通过模拟热带雨林结构而营造的多层次、多种类的热带人工林, 其生物量达 390.4 $t \cdot hm^{-2}$, 略高于本地区的地带性植被——热带季节雨林的生物量; 林分年净第一性生产力为 2227.3 $g \cdot m^{-2}$, 约是热带季节雨林 1171.2 $g \cdot m^{-2}$ 的生物量增量的 2 倍, 表明人工营造的多层多种的热带人工林具有较高的生物生产力. 虽然在其种类组成、结构特征及生态效益等方面与热带季节雨林还存在较大的差异, 但就物

种多样性保护、提高生物生产力、进行热带退化山地的恢复与重建无疑是一条较为可行的途径。

4.2 林分生物量的层次分配比例大小为乔木层(92.9%)>灌木层(4.9%)>草本层(1.3%)>层间植物(0.9%)。林分净第一性生产力的层次分配比例与生物量的分配呈现同样的规律,以乔木层最大(69.7%),灌木层次之(26.9%),草本层(2.4%)和层间植物(1.0%)所占的比例很小,表明林分生物量组成主要是以乔、灌木层为主体;净第一性生产力以乔、灌木层为高。

4.3 林分生物量的器官分配比例大小为茎(57.9%)>枝(22.5%)>根(16.9%)>叶(2.6%);净第一性生产力的器官分配比例则是茎(42.0%)>叶(30.2%)>根(14.4%)>枝(13.5%),反映了林分生物量的积累和各个器官净第一性生产力的分配规律。

4.4 该林分具有较大的生物量和较高的净第一性生产力,表明进行热带经济作物、热带雨林成分树种等多层次、多种类的热带人工林的营造,不仅能提高土地的利用率,且能较好地利用光能,提高人工林的生物生产力;而且由于众多植物种类的混交,一方面可加速群落的物质循环,提高土壤肥力,改善群落的生境状况,减少水土流失,提高人工林的生态效益。同时,由于多种经济作物的存在,可提高经济效益,从而达到经济、生态和社会效益的协调、统一。

4.5 从群落动态的观点看,由于是多层次、多种类的混交,不仅有经济作物,也有热带雨林的植物种类,与单一的经济作物群落相比,群落结构更为复杂。随着群落的发展,群落的林下种类组成趋于复杂,在经济作物趋于衰退时,从而避免因经济作物的更新而导致群落及其生境的破坏。同时在自然状况下,群落会逐渐地向地带性顶极森林发展,从而加速地带性顶极森林群落的恢复。

4.6 本文提出了西双版纳热带人工林主要优势种的生物量和生长量的优化回归模型,这些回归模型可作为该地区热带人工林特别是大面积的橡胶人工林生物量和生长量估测的参考。

参考文献

- Brown S, Lugo AE. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimated based on forest volume. *Science*, **223**: 1290~1293
- Brown S, Lugo AE, Chapman J. 1986. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. *Can J For Res*, **16**: 390~394
- Brown S, Gillespie, AJR, Lugo AE. 1991. Biomass of tropical forests of south and southeast Asia. *Can J For Res*, **21**(1): 111~

- 117
- Chen L-Z(陈灵芝), Chen Q-L(陈清朗), Bao X-C(鲍显诚), et al. 1986. Studies on Chinese Arbovitae (*Platycladus orientalis*) forest and its biomass in Beijing. *Acta Phytocool Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), **10**(1): 17~25 (in Chinese)
- Cheng Z-H(陈章和), Zhang H-D(张宏达), Wang B-S(王伯荪), et al. 1993. Studies on biomass and its allocation of the evergreen broadleaved forest in Heishiding, Guangdong. *Acta Phytocool Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), **17**(4): 289~298 (in Chinese)
- Clark DA, Brown S, Kicklighter DW, et al. 2001. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecol Appl*, **11**(2): 356~370
- Feng Z-W(冯宗炜), Chen G-Y(陈楚莹), Zhang J-W(张家武), et al. 1982. Biological productivity of two forest communities in Huifeng County of Hunan Province. *Acta Phytocool Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), **6**(4): 257~267 (in Chinese)
- Feng Z-L(冯志立), Zheng Z(郑征), Zhang J-H(张建侯), et al. 1998. Biomass and its allocation of a tropical wet seasonal rain forest in Xishuangbanna. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), **22**(6): 481~488 (in Chinese)
- Gao Z-H(高智慧), Jiang G-H(蒋国洪), Xing A-J(邢爱金), et al. 1992. A study on the biomass of *Metasequoia glyptostroboides* plantation in Zhebei plain. *Acta Phytocool Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), **16**(1): 64~71 (in Chinese)
- Huang Q(黄全), Li Y-D(李意德), Lai J-Z(赖巨章), et al. 1991. Study on biomass of tropical mountain rain forest in Limushan, Hainan island. *Acta Phytocool Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), **15**(3): 197~206 (in Chinese)
- Leigh EG. 1999. Biomass and productivity of tropical forest. In: Tropical Forest Ecology, A view from Barro Colorado Island. New York: Oxford University Press. 120~148
- Li W-H(李文华), Deng K-M(邓坤枚), Li F(李飞). 1981. Study on biomass and primary production of main ecosystems in Changbai mountain. *Res For Ecosys* (森林生态系统研究), **2**: 34~50 (in Chinese)
- Li Y-D(李意德), Zeng Q-B(曾庆波), Wu Z-M(吴仲民), et al. 1992. Study on biomass of tropical mountain rain forest in Jianfengling, Hainan Province. *Acta Phytocool Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), **16**(4): 293~299 (in Chinese)
- Lieth H.F.H. 1978. Patterns of primary production in the biosphere. Stroudsburg, Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.
- Liu X-L(刘兴良), Yan W-X(颜武先), Xiang G-H(向成华), et al. 1997. Biomass and biomass models of secondary subtropical vegetation in Tuojiang river valley. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), **21**(5): 441~454 (in Chinese)
- Lugo AE. 1988. An analytical review of production rates and stemwood biomass of tropical forest plantations. *For Ecol Man*, **23**: 179~200
- Luo T-X(罗天祥), Zhao S-D(赵士洞). 1997. Patterns and mathematical models of Chinese-fir productivity in China. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), **21**(5): 403~415 (in Chinese)
- Marklund LC. 1986. A potential resource for energy and industry, special study on forest management, afforestation and utilization of forest resource in the developing region—Asia Pacific Region. FAO, Rome. 4~16
- Murphy PG. 1975. Net primary productivity in tropical terrestrial ecosystems. In: Lieth H and Whittaker RH eds. Primary Productivity of the Biosphere. New York: Springer-Verlag. 217~231
- O'Neill RV, Deangelis DL. 1981. Comparative productivity and biomass relations of forest ecosystems. In: Reichle DE ed. Dynamic Properties of Forest Ecosystems. Cambridge: Cambridge University Press. 411~450
- Peng S-L(彭少麟), Yu Z-Y(余作岳), Zhang W-Q(张文其), et al. 1992. Coenological analysis of five-man-made forests on downland in Heshan, Guangdong Province. *Acta Phytocool Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), **16**(1): 1~10 (in Chinese)

作者简介 唐建维,男,1964年1月生,硕士,副研究员,主要从事植物种群生态和植物群落动态方面的研究,发表文章30余篇。E-mail: Tangjw@xtbg.org.cn; jw.tang@bn.yn.cninfo.net Tel: 0691-8715080