

西双版纳沟谷热带雨林的净第一性生产量研究*

党承林 吴兆录 张强

(云南大学生态学与地植物学研究所, 昆明 650091)

摘要 本文研究了西双版纳沟谷热带雨林的净第一性生产量, 其净生产量为 $2298.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 比世界热带森林的平均净第一性生产量 $2160 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 高一些。雨林净生产量的层次分配为: 乔木层为 $2032.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (88.42%), 灌木层为 $86.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (3.74%), 草本层为 $102.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (4.44%), 层间植物为 $77.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (3.39%)。净生产量的器官分配为: 树干为 $765.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (33.32%), 枝为 $418.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (18.22%), 叶为 $679.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (29.56%), 根为 $341.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (14.84%), 花为 $9.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (0.39%), 果实为 $29.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (1.26%), 叶被采食量为 $55.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (2.40%)。

关键词 西双版纳, 净第一性生产量, 沟谷热带雨林

A STUDY ON THE NET PRIMARY PRODUCTION OF THE RAVINE TROPICAL RAIN FOREST IN XISHUANGBANNA

DANG Cheng-Lin, WU Zhao-Lu, ZHANG Qiang

(*Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650091*)

Abstract This paper studies the net primary production of ravine tropical rain forest in Xishuangbanna at an elevation of 2 300 m (N $25^{\circ} 24'$; E $102^{\circ} 45'$). The estimated NPP (net primary production) of ravine tropical rain forest is $2298.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, of which 33.32% is stems, 18.22% branches, 29.56% leaves, 14.84% roots, 0.39% flowers, 1.26% fruits, and 2.40% leaf biomass grazed by insects. The NPP percentages of tree-layer, shrub, herb and inter-layer are 88.42%, 3.74%, 4.44% and 3.39% respectively.

Key words Xishuangbanna, Net primary production, Ravine tropical rain forest

净第一性生产量的测定

净第一性生产量测定方法详见文献 (党承林, 吴兆录 1991, 1992)。

乔木层 为了获得较准确的枝生长量, 本文采用直接测算各样木所有老枝的生长量, 加上当年生新枝的干重, 即得到样木的枝生产量。根系的生长量用器官比值法求得。与枝生长量测定一样, 本文分别测量样木的每个侧根的生长量, 从而获得样木的根系生长量。

灌木层 其生长量为各灌木种类的生物量被其年龄除而得。样方内各种类的生长量之和即为灌木层的生长量。

草本层 一年生植物的干重即为生长量。多年生草本植物地上部分按当年生叶的干重计, 地下部分的

生长量被其年龄除得平均生长量, 年龄按叶痕迹估计。

表 1 乔木层样木的器官生长量优化回归模型

Table 1 Optimum regression model of the organic growth in the sample trees of tree layers for the ravine tropical rain forest in Xishuangbanna

器官 Organ	回归方程式 Regression equation	相关系数 Relation Coefficient	均方拟合误差 Standard deviation
干 Stem	$G_s = 4.0207E-02 \times 1.4901^D$	0.9229 *	0.2316
枝 Branch	$G_b = 0.0616 + 8.8522E-04D^3$	0.9396 *	0.1019
小树 Young trees (dbh < 10cm)	叶 Leaf $G_l = 0.2349 + 1.5769E-04D^4$	0.9157 *	0.1946
根 Root	$G_r = 4.3227E-02 + 1.0596E-04D^4$	0.9410 *	0.0966
全株 Whole tree	$G_w = 0.1359 \times 1.4528^D$	0.9602 *	0.4344
干 Stem	$G_s = -12.0369 + 1.2311D$	0.9606 *	6.2001
枝 Branch	$G_b = 0.1749 + 1.0844E-02D^2$	0.9972 *	1.2171
大树 trees (dbh > 10cm)	叶 Leaf $G_l = 1.5420E-02D^{1.9432} + -0.164$	0.9761 *	0.4579
根 Root	$G_r = -4.3509 + 0.4480D$	0.9825 *	1.4770
全株 Whole tree	$G_w = -38.5902 + 3.5627D$	0.9877 *	10.0281

注: D 为胸径, DBH。*: P > 0.01, 极显著。

表 2 乔木层生长量的径级分布

Table 2 The distribution of DBH classes of the growth in tree layers of the ravine tropical rain forest in Xishuangbanna

径级 DBH class(cm)	树干 Stem %	枝 Branch %	叶 Leaf %	根 Root %	径级净生产量比例 Ratio of class NP %
2-5	34.13	27.53	12.84	25.51	7.57
5-10	34.48	21.16	23.63	20.73	6.32
10-15	36.66	24.73	25.03	13.71	6.20
15-20	46.41	17.44	19.11	18.30	7.30
20-25	48.05	16.94	19.02	17.15	8.81
25-30	45.85	17.53	19.87	16.75	1.20
30-35	44.88	18.15	20.60	16.38	1.48
35-40	43.25	19.20	21.77	15.78	5.81
40-45	41.27	20.51	23.18	15.04	7.68
45-50	40.02	21.34	24.05	14.59	3.00
55-60	36.79	21.96	27.84	13.41	3.92
60-65	36.81	23.51	26.26	13.41	4.34
65-70	35.71	24.26	27.01	13.01	4.90
70-75	34.36	25.19	27.82	12.52	5.67
95-100	30.03	28.20	30.84	10.93	9.00
100-105	29.04	28.89	31.49	10.57	10.00

层间植物 大型藤本植物的生长量测定与灌木相同, 直径大于 2 cm 的藤本植物则用乔木的数学模型

计算。草质藤本植物和附生植物与草本植物的测定方法一样。

叶被采食量(略, 详见党承林, 吴兆录 1992)

结果分析

乔木层的生长量分布

乔木层生长量的优化回归模型见表 1。用模型推算的乔木层生长量为 $1952.2\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

(1) 乔木层生长量的径级分布由表 2 未列可见, 乔木层生长量的径级分布无明显规律。相对而言, 前五个径级 (2-25 cm) 和最后二个径级 (95-105 cm) 的生长量较高, 均占乔木层生长量的 5% 以上。与生物量的径级分布相比, 前五个径级的生长量比例约为对应的径级生物量比例的 2 倍, 而最后二个径级的生长量比例则比对应的生物量比例约低一倍。显然, 小径级林木较之大径级林木有较高的生长量。

树干的生长量比例在前四个径级呈上升趋势, 在径级 25 cm 达到最大, 其后又随径级的增大而缓慢下降; 枝和叶的生长量径级分布有相似的变化趋势, 除前四个径级外, 其余均随径级增大而上升; 根的生长量比例则随径级增大而下降, 根生长量比例明显低于其生物量。

(2) 乔木层生长量的器官分布

乔木层生长量的器官分配大致为: 树干占 2/5, 枝占 1/5, 叶占 3/10, 根约占 1/7。与生物量的分配相比, 树干的生长量比例大幅度下降, 约减少 1/5; 枝比之有所增加, 叶的比例则相当大, 根有所减少。

乔木层生长量在各亚层中的分布为: 乔木上层的生长量为 $946.3\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 占乔木层生长量的 48.47%; 乔木中层为 $637.0\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 占 32.67%; 乔木下层为 $350.9\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 占 17.97%。乔木层的生长量在各亚层中的分布随其高度上升而增加。

乔木各亚层生长量的器官分配大致如下。在乔木上层中, 树干的生长量占该层生长量的 1/3, 枝占 1/4, 叶占 3/10, 根约占 1/8。在乔木中层, 树干生长量比例要比乔木上层高, 枝和叶则比之低一些, 而根较高一些。乔木下层的树干生长量均比上、中层低, 仅占该层生长量的 1/4, 枝约占 1/4, 叶最高, 占 1/3 以上, 根的生长量比例均高于上、中层 (表 3)。乔木层生长量的器官分配与其生物量相比, 树干生长量的比例下降幅度相当大, 达 76%, 而叶的比例则增加近 10 倍, 枝上升 5%, 根下降 5%。

表 3 乔木层生长量的器官分布(克·米⁻²·年⁻¹)

Table 3 Every organic allocation of the growth intree layers of the ravine tropical rain forest in Xishuangbanna($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

乔木层 tree layer	生长量 Growth	树干 Stem	枝 Branch	叶 Leaf	根 Root	合计 Total
乔木上层 Tree-I	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}\%$	326.3	237.0	282.1	118.9	946.3
		33.84	24.58	29.25	12.33	100.00
乔木中层 Tree-II	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}\%$	236.7	115.0	161.4	96.9	637.0
		41.40	18.05	25.34	15.21	100.00
乔木下层 Tree-III	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}\%$	93.0	66.8	127.8	63.3	350.9
		25.50	19.04	36.42	18.04	100.00
总计 Total	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}\%$	683.0	418.8	571.3	279.1	1952.2
		34.99	21.45	29.26	14.30	100.00

灌木层生长量的分布

灌木层生长量为 $84.2\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。生长量的器官分配为: 干和枝为 $36.9\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 占 43.82%; 叶为

24.7g.m⁻².a⁻¹, 占 29.29%; 根为 22.6g.m⁻².a⁻¹, 占 26.89% (表略)。与生物量的器官分配相比, 干和枝的生长量比例比其生物量低 10% 左右, 而根的生长量比例比之 5%, 叶高 1 倍多。

种类的生长量分配: 生长量较高的种类有银钩花 (占 20.14%), 空管榕 (11.82%), 柏拿参 (占 11.82%), 云树 (占 9.98%), 油朴 (占 6.24%), 染木 (占 5.53%) 等。其余 12 种均在 5% 以下。灌木层的种类生长量比例与其生物量比例十分接近。

层间植物生长量的分布

层间植物的生长量为 75.8g.m⁻².a⁻¹, 其中茎为 45.7g.m⁻².a⁻¹, 占该层生长量的 60.29%; 叶为 28.1g.m⁻².a⁻¹, 占 37.07%; 根为 2.0g.m⁻².a⁻¹, 占 2.64%。大型藤本植物为 49.1g.m⁻².a⁻¹, 占该层生长量的 64.78%; 草质藤本植物为 13.8g.m⁻².a⁻¹, 占 18.21%; 附生植物为 12.9g.m⁻².a⁻¹, 占 17.02%。

草本层生长量的分布

草本层的生长量相当低, 仅为 92.6g/m⁻².a⁻¹, 其中叶为 55.3g.m⁻².a⁻¹, 占草本层生产量的 59.77%, 根为 37.3g.m⁻².a⁻¹, 占 40.28%。与生物量的种类相比, 叶的比例上升约 10%, 而根则下降了近 10%。

生长量的种类分配为: 蕨类植物最高, 为 50.0g.m⁻².a⁻¹, 占 54.0%, 楼梯草为 25.1g.m⁻².a⁻¹, 占 27.11%, 黄花胡椒为 6.6g.m⁻².a⁻¹, 占, 穿鞘花等 5 余种草本植物为 10.9g.m⁻².a⁻¹, 占 11.77% (表略)。

总生长量分布

沟谷热带雨林的总生长量为 2242.8g.m⁻².a⁻¹。下面简要分析总生长量在层次和器官中的分布规律。

(1) 总生长量的层次分布乔木层为 1990.2g.m⁻².a⁻¹ (含花和果实), 灌木层为 84.2g.m⁻².a⁻¹, 草本层为 92.6g.m⁻².a⁻¹, 藤本植物为 62.9g.m⁻².a⁻¹, 附生植物为 12.9g.m⁻².a⁻¹ (表 4)。与活生物量的层次分布规律一样, 总生长量的层次分布随群落高度的上升而迅速增加, 灌木层和草本层的生长量比例分别约为生物量比例的 3.6 倍和 6.5 倍。

表 4 总生长量分布(克·米⁻²·年⁻¹)

Table 4 The distribution of the total growth of the valleytropical rain forest in Xishuangbanna(g.m⁻².a⁻¹)

层次生长量 Growth of layers	乔木层 Tree-layer	灌木层 Shrub	草本层 Herb	藤本植物 Liana	附生植物 Epiphyte	总计 Total	
g.m ⁻² .a ⁻¹	1990.2*	84.2	92.6	62.9	12.9	2242.8	
%	88.74	3.75	4.13	2.80	0.58	100.00	
器官生长量 Growth of organs	树干 Stem	枝 Branch	叶 Leaf	根 Root	花 Flower	果实 Fruit	总计 Total
g.m ⁻² .a ⁻¹	765.6	418.8	679.4	341.0	9.0	29.0	2242.8
%	34.14	18.86	30.29	15.20	0.40	1.29	99.99

∴含花和果实的生长量

(2) 总生长量的器官分布 树干为 765.6g.m⁻².a⁻¹, 占 34.14%; 枝为 418.8g.m⁻².a⁻¹, 占 18.86%; 叶为 679.4g.m⁻².a⁻¹, 占 30.29%; 根为 341.0g.m⁻².a⁻¹, 占 15.20%; 花为 9.0g.m⁻².a⁻¹, 占 0.40%; 果实为 29.0g.m⁻².a⁻¹, 占 1.29% (表 4)。在总生长量中, 叶的生长量占了 3/10, 因此, 只有 70% 的生长量能以生物量形式积累下来。

与总生物量的器官分配相比, 树干生长量比例下降幅度较大, 达 25%; 枝增加不多, 叶增加特别显著, 达 27%; 根减少 4% 左右 (表 4)。

食草动物的叶采食量

本项研究共测定了 5 种植物叶的被采食率: 绒毛番龙眼为 6.52%, 银钩花为 8.26%, 云树为 8.09%, 风吹楠为 6.35%, 楼梯草为 10.27%。由于热带雨林的植物种类太多, 难以一一测定。乔木、灌

木和藤本植物以平均采食率 7.32% 计之。

叶的年被采食量是指新叶的被采食量, 经计算, 叶的被采食总量为 $55.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 其中乔木层为 $41.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 灌木层为 $1.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 草本层为 $9.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 层间植物为 $2.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

沟谷热带雨林的净第一性生产量

雨林的净第一性生产量包括各个器官的生长量、当年新生物质的凋落量和被食草动物采食的物质质量。在凋落物中, 由于无法区分出当年生枝和老枝、新叶和老叶, 以及树干、枝的当年生物质的蛀食量等, 且在短期内很难测定, 故忽略不计。因此, 本文研究的净第一性生产量只包括各器官的生长量和叶的被采食量。

经计算, 雨林的净第一性生产量为 $2298.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其中乔木层为 $2032.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占净生产量的 88.42%, 灌木层为 $86.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占 3.74%, 草本层为 $102.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占 4.44%, 层间植物为 $77.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占 3.39%。树干净生产量为 $765.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占 33.32%; 枝为 $418.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占 18.22%; 叶为 $679.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占 29.56%; 根为 $341.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占 14.84%; 花为 $9.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占 0.39%; 果实为 $29.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占 1.26%; 叶被采食量为 $55.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占 2.40%。

结 语

沟谷热带雨林具有较高的净第一性生产量, 其净生产量为 $2242.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 高于世界热带森林的平均净第一性生产量 $2160 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (Lieth and Whittaker 1975)。沟谷热带雨林与季风常绿阔叶林的短刺栲幼龄林的净生产量 ($2259.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 相当接近, 但高于短刺栲中龄林 ($2006.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

与季风常绿阔叶林的生长量的分配相比较, 沟谷热带雨林除乔木层的生长量比例下降较大外, 其余各层次均有较大幅度增加, 树干的生长量比例下降较大, 而叶的增加十分显著。

与其他常绿阔叶林乔木层生长量的径级分布相比, 沟谷热带雨林的径级分布无明显规律。从各径级生长量的器官分配看, 树干和根的生长量比例基本上随径级增大而下降, 枝则随径级增大而增加。

沟谷热带雨林的乔木层生产量比例为 88%, 比其他常绿阔叶林 (90% 以上) 稍低, 而灌木层、草本层和层间植物则比之高一些。

致谢 本所张光飞、苏文华老师参加野外调查, 朱维明教授帮助鉴定部分标本, 特表谢忱。

参 考 文 献

- 木村允著(姜恕等译), 1981. 陆地植物群落的生产量测定方法. 北京: 科学出版社
- 佐藤大七郎等著(聂绍全等译), 1986. 陆地植物的物质生产. 北京: 科学出版社
- 党承林, 吴兆录, 1991. 云南植物研究. 13(2): 161
- 党承林, 吴兆录等, 1992. 云南大学学报(自然科学版). 14(2): 95
- Lieth H and Whittaker R H, 1975. Primary Productivity of the Biosphere. New York: Springer-Verlag. (王业莲等译, 1985. 生物圈的第一性生产力. 北京: 科学出版社.)