

西双版纳热带季节雨林优势植物热值^{*}

唐炎林^{* *} 曹 敏 唐建维 邓晓保 林 华 李玉武 邓 云

(中国科学院西双版纳热带植物园热带森林生态学重点实验室, 云南勐腊 666303)

摘 要 为探讨西双版纳热带季节雨林植物热值的变化规律, 用 SDACM-IIIa 型量热仪测定了该群落不同层次 37 种优势植物不同器官干湿季节的热值。结果表明: 西双版纳热带季节雨林各层优势种的平均干质量热值在 17.05~20.23 kJ·g⁻¹, 乔木、层间藤本、灌木、草本干质量热值分别为 18.86~20.23, 17.97~19.76, 17.71~18.83 和 17.05~17.45 kJ·g⁻¹。各层优势种平均干质量热值在干湿季节均表现为: 乔木层>层间藤本>灌木层>草本层。所有层次相同各器官平均干质量热值在器官间存在差异, 但只有叶与根、枝之间差异显著 ($P < 0.05$); 不同层次中的同种植物干质量热值在干湿季节差异均不显著 ($P > 0.05$); 各层优势植物的干质量热值在干湿季节之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

关键词 西双版纳; 热带季节雨林; 干质量热值; 优势植物; 干湿季节

中图分类号 Q948 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)3-0427-07

Caloric values of dominant plant species in Xishuangbanna tropical seasonal rainforest
TANG Yan-lin, CAO Min, TANG Jian-wei, DENG Xiao-bao, LIN Hua, LI YU-wu, DENG Yun
(Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, Yunnan, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29 (3): 427-433

Abstract Aimed to explore the change patterns of the gross caloric value (GCV) of dominant plant species in Xishuangbanna tropical seasonal rainforest, the GCV of different organs of 37 dominant species in different layers of the forest was measured by SDACM-IIIa caloric value analyzer in dry and rainy seasons, respectively. The mean GCV of the 37 dominant species was 17.05-20.23 kJ·g⁻¹, and the GCV of trees, lianes, shrubs, and herbages was 18.86-20.23, 17.97-19.76, 17.71-18.83, and 17.05-17.45 kJ·g⁻¹, respectively. The mean GCV of the dominant species in different layers in both dry and rainy seasons decreased in the order of tree layer>liane interlayer>shrub layer>herbage layer. For the dominant species at the same layers, the mean GCV of their organs did not display significant differences, except for the GCV between leaves and roots or branches. No significant differences in the mean GCV of the same species in different layers were observed between dry and rainy seasons. Also, there were no significant differences in the mean GCV of the dominant species in the same layers in dry and rainy seasons.

Key words Xishuangbanna tropical seasonal rainforest, gross caloric value, dominant plant species, dry and rainy seasons

能量流动、物质循环和信息传递共同构成了生态系统三大功能, 能量是维持生态系统功能与过程的动力 (陈美玲和上官周平, 2009)。绿色植物在光合作用过程中, 将日光能转化为化学能, 这种潜在的化学能以植物热值含量的高低来表示。热值是指燃

烧单位重量干物质所释放出来的热量, 它是能量的尺度, 也是衡量第一性生产力水平的重要指标 (官丽莉等, 2005)。它反映了绿色植物在光合作用中转化太阳能的能力, 是能量学分析的基础, 比单独的干重更能体现能量在固定和储存过程中的更多信息 (Pitelka 1978)。

国外对热值的研究已有数十年历史。自 20 世纪 30 年代首先较系统地开展了植物热值研究以来,

^{*} 中国科学院野外台站基金资助项目。

^{**} 通讯作者 E-mail: tangyl@xtbg.org.cn

收稿日期: 2009-09-15 接受日期: 2009-12-12

对生态系统中各种物质的热值及其变化机制的研究日趋广泛和深入 (Long 1999)。Golley (1961) 测定了从热带雨林至极地泰加林主要植物群落中优势种类的平均热值, 并于 1969 年又对热带雨林植物群落的能量进行了研究, 其研究表明, 世界范围内植被的热值由低纬度向高纬度、由低海拔向高海拔升高的规律。我国在热值方面的研究, 到 20 世纪 80 年代初才有零星的报道。较早的热值研究是草原草甸生态系统, 如杨福国和何海菊 (1983) 对高寒草甸地区常见植物进行热值的测定, 认为大多数高寒草甸地区常见植物热值高于世界平均值。关于森林群落热值方面, 主要有刘世荣等 (1992) 年对落叶松人工林生态系统净初级生产力形成过程中的能量特征进行研究, 认为落叶松人工林生态系统净能量固定低于热带雨林, 但高于其他植物群落; 任海等 (1999) 对南亚热带鼎湖山 4 个群落 37 种植物热值的研究, 认为随群落演替的进行, 生境趋同性增大, 因而热值接近; 李意德等 (1996) 测定了海南尖峰岭热带山地雨林共 83 种植物各器官热值, 认为热带森林主要种类的热值差异甚大, 即使相同属内的一些种类, 均具有明显的差异。

关于西双版纳地区植物热值的研究, 黄钰辉等 (2007) 对西双版纳热带季节雨林乔木层的 11 种优势植物的叶片、凋落物热值与艾牢山中山湿性常绿阔叶林 10 种优势植物的叶片、凋落物热值进行比较研究, 林华等 (2007) 对中国西南地区热带季节雨林及山地常绿阔叶林热值及能量分配格局进行研究。乔秀娟等 (2007) 对西双版纳不同林龄次生植物群落优势树种的热值进行过研究, 结果表明热值随着群落林龄增加而增加。本文通过对相同群落层次各器官、相同群落不同层次间同种植物各器官和整个植物群落各器官平均干质量热值在干、湿季节差异性水平进行研究, 为认识该群落能量特征和生态效率提供基础资料。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究地点位于西双版纳国家级自然保护区西双版纳热带雨林生态系统研究站综合观测场永久样地内 ($21^{\circ}58'N$, $101^{\circ}12'E$), 海拔 750 m, 属于滇南的北热带西南季风气候类型, 一年中受印度洋季风和热带大陆气流季节交替控制, 干湿季节分明。年均

降雨量 1557 mm, 年均温 $21.5^{\circ}C$, 最热月 (4 月) 均温 $25.3^{\circ}C$, 最冷月 (1 月) 均温 $15.5^{\circ}C$, 多年极端最低温度平均 $7.5^{\circ}C$, $\geq 10^{\circ}C$ 的积温 $7860^{\circ}C$ 。干季 (11 月—翌年 4 月) 和雨季 (5—10 月) 降雨量各占年总降雨量的 13% 和 87%。干季前期 (11 月—翌年 2 月上旬) 多雾, 空气相对湿度保持在 80% 以上; 干季后期 (3—4 月) 气温上升, 春旱严重, 湿度常在 75% 以下 (刘文杰等, 2001)。

热带季节雨林群落结构复杂, 分层现象明显, 乔木层主要优势树种有绒毛番龙眼 (*Pometia tomentosa*)、梭果玉蕊 (*Barringtonia fusca*)、白颜树 (*Gironniera subaequalis*)、云树 (*Garcinia cava*)、细罗伞 (*Ardisia affinis*)、蚁花 (*Mezzettipsis creaghii*) 及毒鼠子 (*Dichapetalum gelonioides*) 等; 灌木层除上层乔木的幼树外, 常见种有细腺萼木 (*Mycetia gracilis*)、野靛棵 (*Ananthes patentiflora*) 等; 草本层常见的有柊叶 (*Phrynium capitatatum*)、多序楼梯草 (*Elatostema macintyreii*)、薄叶卷柏 (*Selaginella delicatula*) 等; 藤本植物主要有方茎马钱 (*Strychnos wallichiana*) 和橙果五层龙 (*Salacia aurantiaca*)。

1.2 研究方法

1.2.1 样品 2004 年 3 月 (干季)、6 月 (雨季) 在样地群落各层次供测试的优势树种 (表 1), 分别进行采样, 乔木层优势树种每种选定 3 株, 按叶、枝分不同冠幅层次和方位以及嫩、老枝叶分别按比例混合取样; 树干在 1.3 m 处尽可能对树木破坏最小而又能采集到中心位置的心材部位; 树根采集时在树基周围清除土层, 沿侧根方向采集不同粗细的样品进行混合。灌木分叶、枝 (灌木的枝与干难于区分, 枝通常包括干) 和根分别均匀采样。藤本植物则分叶、干和根分别均匀采样。草本植物分地上和地下部分进行采样。藤本的样品采集方法与乔木相同, 灌木 (每种若干株) 与草本 (每种若干丛) 通常以全株收获的方式进行采样, 其中草本取样用枝剪将所需采样的植株齐地面剪下, 挖出全部根部, 按地上部、地下部分开。

1.2.2 热值测定 测定前将样品在 $105^{\circ}C$ 杀青 30 min, 然后在 $70^{\circ}C$ 温度下烘干至恒量, 最后于干燥器中冷却。采用长沙三德仪器设备有限公司生产的 SDACM-IIIa 型量热仪测定, 每个样品测量 3 次, 平行误差不超过 $100 J \cdot g^{-1}$, 取 3 次测定结果的平均值。

表 1 各层供测定热值的优势植物种类
Tab 1 Dominant species used for measuring gross caloric values at different layers

优势种	学名	生活型	优势种	学名	生活型
白颜树	<i>Gironniera subaequalis</i>	乔木	梭果玉蕊	<i>Barringtonia fuscarpa</i>	乔木
棒柄花	<i>Cleidion pliciflorum</i>	乔木	云南肉豆蔻	<i>Myristica yunnanensis</i>	乔木
滇南溪桫	<i>Chisocheton siamensis</i>	乔木	窄序崖豆树	<i>Millettia lap tobotrya</i>	乔木
毒鼠子	<i>Didapetulum gelonioides</i>	乔木	网脉核实木	<i>Drypetes perreticulata</i>	灌木
多花白头树	<i>Ganuga floribunda</i> var. <i>gamblei</i>	乔木	细罗伞	<i>Andisia affinis</i>	灌木
绒毛番龙眼	<i>Pometia tomentosa</i>	乔木	细腺萼木	<i>Mycetia gracilis</i>	灌木
割舌树	<i>Walsura robusta</i>	乔木	野靛棵	<i>Mananthus patentiflora</i>	灌木
假海桐	<i>Pittosporopsis kerrii</i>	乔木	越南山矾	<i>Symplocos cochinchinensis</i>	灌木
尖叶茜树	<i>Randia acuminatissima</i>	乔木	橙果五层龙	<i>Salacia aurantia</i>	藤本
金钩花	<i>Pseuduvaria indochinensis</i>	乔木	粗茎崖角藤	<i>Rhaphidophora crassicaulis</i>	藤本
景洪暗罗	<i>Polyalthia cheliensis</i>	乔木	方茎马钱	<i>Strychnos wallichiana</i>	藤本
勐仑翅子树	<i>Pterospermum manglunense</i>	乔木	瓜馥木	<i>Fissistigma oldhamii</i>	藤本
木奶果	<i>Baccaurea ramiflora</i>	乔木	石柑子	<i>Pothos chinensis</i>	藤本
染木	<i>Saprosma ternatum</i>	乔木	多裂黄檀	<i>Dalbergia rimosa</i>	藤本
网脉核实木	<i>Drypetes perreticulata</i>	乔木	柃叶	<i>Phrynium capitatum</i>	草本
细罗伞	<i>Andisia affinis</i>	乔木	多序楼梯草	<i>Elatostema acuminatum</i>	草本
香港大沙叶	<i>Pavetta hongkongensis</i>	乔木	薄叶卷柏	<i>Selaginella delicatula</i>	草本
蚊花	<i>Mazzettiopsis creaghii</i>	乔木	阔叶三叉蕨	<i>Tectaria fongii</i>	草本
银钩花	<i>Mitrophora thorelii</i>	乔木			

1. 2. 3 统计分析 用 SPSS 14. 0、Microsoft Excel 软件对数据进行一元方差 (ANOVA)、多重比较 (LSD, $\alpha = 0. 05$) 和 t 检验等相关的数据统计分析与处理。

2 结果与分析

2. 1 不同群落层次优势植物各器官之间热值干湿季节比较

由表 2 可以看出, 热带季节雨林不同群落层次所有器官热值在干湿季节不同。所有测试树种在干季, 树叶平均热值在 17. 21~ 19. 91 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 树枝平

表 2 干湿季节不同群落层次优势植物各器官的平均热值 ($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)

Tab 2 Mean caloric values of dominant species at different layers in dry and rainy seasons

生活型	器官	干季	雨季
乔木	叶	19. 91±1. 27	20. 23±1. 28
乔木	枝	18. 86±0. 59	19. 03±0. 80
乔木	干	19. 26±0. 38	19. 38±0. 55
乔木	根	19. 22±2. 87	19. 21±0. 82
灌木	叶	17. 71±2. 38	17. 98±2. 44
灌木	枝	18. 19±1. 27	18. 83±0. 77
灌木	根	18. 68±0. 92	18. 67±0. 59
藤本	叶	19. 26±1. 38	19. 76±1. 72
藤本	干	18. 68±1. 84	18. 10±1. 93
藤本	根	18. 39±1. 90	17. 97±1. 79
草本	叶	17. 21±2. 03	17. 45±1. 64
草本	根	17. 31±0. 74	17. 05±1. 24

数值为均值±标准差。

均热值在 18. 19~ 18. 86 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 树干平均热值在 18. 68~ 19. 26 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 树根平均热值在 17. 31~ 19. 22 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$; 所有测试树种在雨季, 树叶平均热值在 17. 45~ 20. 23 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 树枝平均热值在 18. 83~ 19. 03 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 树干平均热值在 18. 10~ 19. 38 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 树根平均热值在 17. 05~ 19. 21 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。方差分析结果表明, 不同器官之间干质量热值在干季差异不显著 ($P > 0. 05$), 在雨季根与叶热值差异达到显著程度 ($P = 0. 031$), 枝与叶热值差异达到极显著程度 ($P = 0. 005$), 其他器官之间热值没有明显的差异 ($P > 0. 05$)。

不同群落层次各器官平均热值排序不尽相同, 乔木各器官间平均干质量热值干季与雨季排序相同: 叶 > 干 > 根 > 枝; 灌木干季: 根 > 枝 > 叶, 灌木雨季枝 > 根 > 叶; 藤本各器官干季与雨季热值大小顺序相同: 叶 > 干 > 根; 草本干季与雨季热值大小顺序相同叶 > 根。

2. 2 相同群落层次优势植物各器官热值干湿季节比较

西双版纳地区干湿季节分明, 从图 1 可见, 各层次优势植物不同器官的热值在干湿季节出现一些规律性的变化, 各层优势植物的根部热值都是干季 > 雨季, 除藤本外, 叶、干、枝的热值基本均是雨季 > 干季, 优势植物各器官的热值在干湿季节存在一定差异, 但统计分析结果表明, 这种干、湿季节的热值差

异除了藤本树干差异显著外 (t 检验, $P = 0.044$), 其他器官热值在干湿季节差异不显著 (t 检验, $P > 0.05$)。

2.3 相同树种在相同群落不同层次中热值干湿季节比较

网脉核实木和细罗伞是同时出现在热带季节雨

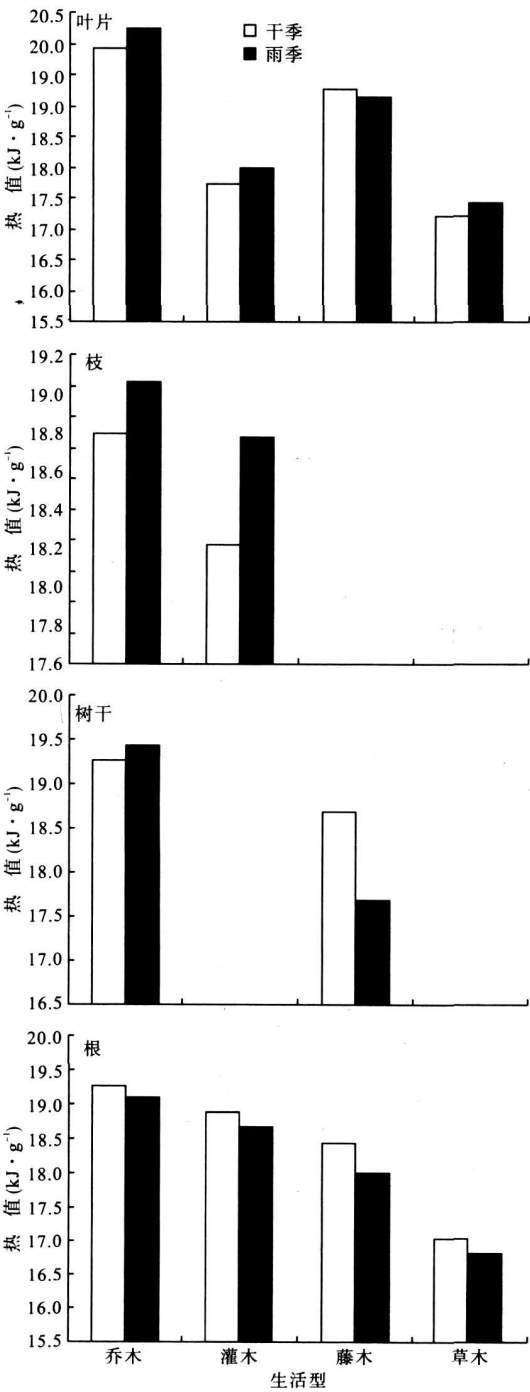


图 1 优势植物各器官热值干湿季节比较
Fig 1 Comparison of dominant species of all kinds of organs calorific values at different layers in dry and rainy seasons

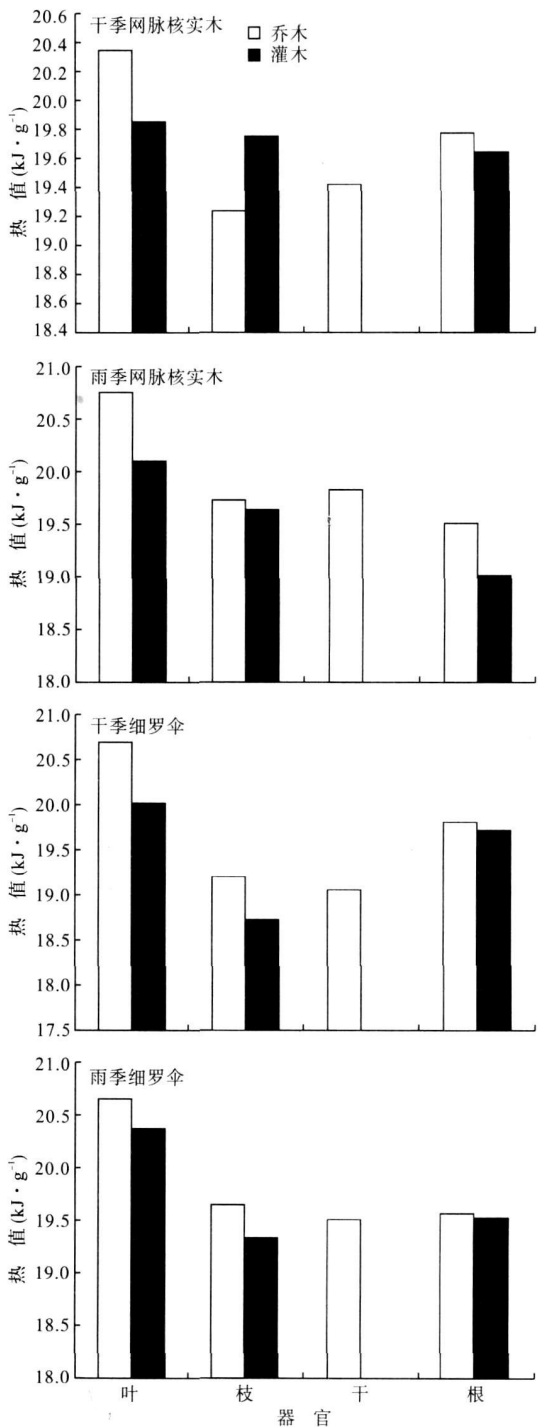


图 2 乔、灌木层不同树种各器官干季和雨季的热值
Fig 2 Calorific values of all kinds of organs in different tree species between arbor and shrubby layers in dry and rainy seasons

林乔木层与灌木层中的优势植物, 本研究选择这 2 种植物作为测试树种, 比较它们在乔木、灌木层次中的各器官在干湿季节的热值发现 (图 2), 除了网脉核实木的枝外, 基本都是乔木层的相应部位热值大于灌木层的相应部位热值。表明在群落的垂直结构

表 3 各层优势植物所有器官干湿季节热值排序
Tab 3 Caloric value sequences of four organs in dry and rainy seasons

优势树种	叶	枝	干	根
白颜树	c(c)	d(b)	a(a)	b(d)
棒柄花	a(a)	c(c)	b(b)	d(d)
滇南溪桫	a(a)	d(d)	c(c)	b(b)
毒鼠子	a(a)	d(b)	b(d)	c(c)
多花白头树	b(c)	d(a)	c(d)	a(b)
绒毛番龙眼	a(a)	d(c)	b(b)	c(d)
割舌树	a(a)	d(d)	c(c)	b(b)
假海桐	d(a)	a(b)	b(c)	c(d)
尖叶茜树	b(a)	d(d)	c(b)	a(c)
金钩花	a(a)	c(b)	b(c)	d(b)
景洪暗罗	a(a)	c(b)	b(c)	d(d)
勐仑翅子树	a(a)	b(b)	c(d)	d(c)
木奶果	d(a)	c(c)	a(a)	b(b)
染木	d(a)	c(c)	a(a)	b(b)
网脉核实木	a(a)	d(d)	c(b)	b(c)
细罗伞	a(a)	b(b)	d(c)	c(d)
香港大沙叶	a(a)	b(d)	b(b)	c(c)
蚊花	a(a)	b(b)	c(d)	d(c)
银钩花	d(a)	c(b)	a(c)	b(d)
梭果玉蕊	a(a)	c(c)	b(b)	d(d)
云南肉豆蔻	a(a)	c(c)	b(b)	d(d)
窄序崖豆树	a(b)	d(d)	c(a)	b(c)
网脉核实木	a(a)	b(b)		c(c)
细罗伞	a(a)	c(c)		b(b)
细腺萼木	c(c)	b(a)		a(b)
野靛棵	a(a)	b(b)		c(c)
越南山矾	a(a)	b(b)		c(c)
橙果五层龙	a(c)		c(a)	b(b)
粗茎崖角藤	a(a)		b(c)	c(b)
方茎马钱	a(a)		b(c)	c(b)
瓜馥木	a(a)		c(b)	b(c)
石柑子	b(b)		c(c)	a(a)
多裂黄檀	a(a)		b(c)	c(b)
柃叶	a(b)			b(a)
多序楼梯草	a(a)			b(b)
薄叶卷柏	a(a)			b(b)
阔叶三叉蕨	a(b)			b(a)

a b c、d代表本器官在 4个器官中热值的排列位置(括号里的代表雨季排序)。

中,热值呈现出从上到下递减的规律。而不同层次的这 2种植物相应部位的热值在干、湿季节差异不大,尚未达到显著性水平(*t*检验, $P > 0.05$),即同一群落的同种植物相应部位及其整体平均热值不会随着植物所处分布层次不同出现较大的波动,这与旷

远文等(2005)对鼎湖山季风常绿阔叶林各层次优势种热值研究的结果一致。

2.4 同种优势植物各器官热值干湿季节比较

大部分乔木、灌木、藤本树种以及草本植物树种各器官热值循着叶、枝或干、根的顺序递减的规律(表 3)。这与任海等(1999)研究结果相似,但在少数乔木与部分灌木树种中如假海桐、多花白头树、染木、细腺萼木等却出现树干(树根、树枝)热值在同种植物各器官中热值最大的情况,这不符合叶片热值最大的理论,这与李意德等(1996)在热带山地雨林研究的主要树种各器官热值特征相同,也与旷远文等(2005)鼎湖山季风常绿阔叶林各层次优势种热值研究特征相同。其原因到底是与这些植物树干、树枝、根部含有某些特异性物质有关,还是由这些植物本身的能量分配特性所决定,有待于进一步的研究。

乔木的各个器官之间差异最明显,乔木树叶与树枝、树干、树根之间热值差异达到极显著水平($P < 0.001$),根与枝差异达显著水平($P = 0.038$);灌木根与叶之间热值在干湿季差异明显($P < 0.05$),雨季叶与枝差异明显($P < 0.05$);藤本、草本各器官之间差异不太明显($P > 0.05$)。

3 讨 论

3.1 层间藤本植物干、湿季节热值

热带地区热值在干、湿季节均遵循乔木层 > 藤本层 > 灌木层 > 草本层,该热值顺序特征与群落中各层次太阳辐射强度的分布紧密相关。热带季节雨林太阳辐射通常遵循从上到下指数递减规律(任海等, 1996)。研究发现,热带季节雨林藤本植物的干质量热值较高,其原因是层间大型藤本植物能迅速生长,达到光照较好的林冠上层,其叶层可以更加有效地利用充足的光能进行光合作用,固定太阳能,因而热值与乔木层接近;另外,藤本植物的热值干季 > 雨季(林鹏等, 1996)。一方面,大型藤本植物生长迅速,生活在群落上层,可以充分接受阳光进行光合作用。根据能量耗散策略,顶极群落大都是通过热值增加来耗散光合作用的能量,因此,藤本植物干质量热值非常接近乔木层树种的热值;另一方面,在雨季时,植物生理生命活动加强,藤本植物的光合能量

很大部分用于雨季自身旺盛生命活动的需求, 以满足生物量的增加, 而大型藤本植物(常见种)的叶面积小, 通过光合作用转化太阳能量有限, 因此, 在雨季旺盛的生命活动需求下, 层间藤本植物不会过多以增加热值的方式来耗散光合作用所转化的能量, 因而藤本植物在干季反而能蓄积更多的能量, 确切机理尚需要在进一步在掌握充分实验数据的基础上深入探讨。

3.2 根部干、湿季节热值

雨季叶热值较高的原因可能是因为植物在雨季处于生理活动和生长发育的旺盛时期, 它自身合成高能有机物的能力在雨季得到加强, 含有较多的高能化合物如蛋白质和脂肪等物质, 因此, 叶的干质量热值在雨季一般较高。枝、干作为植物的支持器官, 由于叶在雨季合成高能化合物多, 因此输送给枝、干的有机物也多, 因而枝、干的干质量热值在雨季较高。根的热值在雨季比干季低, 可能是由于根肩负着矿质营养和水分吸收的双重功能, 在干季时, 植物生理活动弱, 能量耗散少, 因此, 根能够在干季积累更多的能量; 而雨季时, 植物由于生理活动加强, 就必须吸收更多的矿质营养和水分, 虽然叶在雨季能够合成更多的有机物, 也能够向枝、干、根也输送更多的有机物, 但由于根离叶最远, 它在雨季比干季多获得的能量小于它在雨季比干季多耗散的能量, 也就是说, 根在干季能蓄积更多能量, 因此, 根的热值在雨季比干季低。

3.3 器官间热值差异

在任何特定的物种中, 器官之间热值的差异与器官的功能息息相关(乔秀娟等, 2007), 但大多数都遵循以下 2 点: 1) 只有储藏高能物质的器官才可能拥有高热值(Piteka 1978); 2) 只有直接支持繁殖与生长的器官才会拥有高热值。Golley(1969)指出, 叶片拥有明显高于其他器官的热值, 主要原因是叶片是进行光合作用的器官, 应该含有较高的蛋白质及脂肪; 另一方面, 它本身可以合成一些高能物质。较高的热值一般都意味着高能物质(如脂类、淀粉等)的大量存在(Ovington & Heikamp, 1960)。根、干及枝是支持器官, 含有大量的纤维素, 而纤维素的热值低于蛋白质与脂肪, 所以, 这些器官的热值通常低于叶片的热值(乔秀娟等, 2007)。在这 3 种

器官中, 枝和干肩负着输送及存储水与营养物质的任务, 而根则是距离叶片最远的器官, 其主要任务是吸收矿质元素及水分, 所以它的热值通常最低(祖元刚, 1990)。

3.4 热值与环境因子关系

植物热值的差异除受不同植物自身组成、结构和功能影响外, 还受光照强度、日照长短、土壤类型和营养条件等诸方面环境因素影响(Golley, 1961, 1968; Bliss, 1962), 植物热值反映着植物组织各种生命活动的变化和植物生长状况的差异。各种环境因子对植物生长的影响, 在一定程度上可以从热值的变化上反映出来。本研究比较了群落各层次优势树种热值干湿季节的差异, 研究表明, 各层次优势树种相同的器官热值在干湿季节具有相同的变化趋势, 除根的热值是干季 > 雨季外, 其他器官(藤本除外)热值基本上都是雨季 > 干季, 但在这些差异中, 只有藤本树干差异显著($P = 0.044$)外。说明植物生态学特性在植物热值中起主导作用, 外部气候条件只是一些限制性因子。

对同一树种而言, 热值同样遵循层次从上往下热值递减的变化规律, 但与植株所处的层次差异不明显(t 检验, $P > 0.05$), 表明热值主要与植物本身的生物学特性相关。相对于与其他植物的光能捕获特性而言, 相同群落不同层次的同一树种的光能捕获特性是不变的(旷远文等, 2005)。

由于热值是由植物本身生物学特性以及光照等外部因素的综合反映, 今后将着重探讨植物热值随季节变化的动态规律及其与水热条件以及植物本身能量的分配规律和流动过程等机理, 这方面的研究目前还刚刚起步, 需要对实验进行科学布局的基础上深入进行。

致谢 本文为西双版纳热带雨林生态系统研究站长期生态学研究的部分生物监测数据。我们衷心感谢陈德富、鲁云、曹必忠等为本研究的野外观测和室内分析所付出的辛勤劳动。

参考文献

- 陈美玲, 上官周平. 2009 黄土高原子午岭林区 6 个典型群落优势种的热值和养分特征. 林业科学, 45(3): 140-144.
官丽莉, 周小勇, 罗艳. 2005 我国植物热值研究综述.

- 生态学报, **24**(4): 452-457.
- 黄钰辉, 官丽莉, 周国逸, 等. 2007. 西双版纳热带季节雨林和哀牢山中山湿性常绿阔叶林优势植物及地表凋落物层的热值. 植物生态学报, **31**(3): 457-463.
- 旷远文, 温达志, 周国逸. 2005. 鼎湖山季风常绿阔叶林各层次优势种热值研究. 北京林业大学学报, **27**(2): 6-12.
- 李意德, 吴仲民, 曾庆波, 等. 1996. 尖峰林山地雨林主要种类能量背景值测定分析. 植物生态学报, **20**(1): 1-10.
- 林 华, 曹 敏, 张建侯. 2007. 中国西南地区热带季节雨林及山地常绿阔叶林热值及能量分配格局. 植物生态学报, **31**(6): 1103-1110.
- 林 鹏, 邵 中, 郑文教. 1996. 福建和溪亚热带雨林优势植物叶的热值研究. 植物生态学报, **20**(4): 303-309.
- 刘世荣, 王文章, 王明启. 1992. 落叶松人工林生态系统净初级生产力形成过程中的能量特征. 植物生态学与地植物学学报, **16**(3): 209-218.
- 刘文杰, 张克映, 王昌命, 等. 2001. 西双版纳热带雨林干季林冠层雾露形成的小气候特征研究. 生态学报, **21**(3): 485-491.
- 乔秀娟, 曹 敏, 林 华. 2007. 西双版纳不同林龄次生植物群落优势树种的热值. 植物生态学报, **31**(2): 326-332.
- 任 海, 彭少麟, 刘鸿先, 等. 1999. 鼎湖山植物群落及其主要植物的热值研究. 植物生态学报, **23**(2): 148-154.
- 任 海, 彭少麟, 张祝平, 等. 1996. 鼎湖山季风常绿阔叶林林冠结构与辐射研究. 生态学报, **16**(2): 174-179.
- 杨福国, 何海菊. 1983. 高寒草甸地区常见植物热值的初步研究. 植物生态学与地植物学丛刊, **7**(4): 280-288.
- 祖元刚. 1990. 能量生态学引论. 长春: 吉林科学技术出版社.
- Bliss IC. 1962. Caloric and lipid content in alpine tundra plants. *Ecology*, **43**: 753-757.
- Golley FB. 1969. Caloric value of wet tropical forest vegetation. *Ecology*, **50**: 517-519.
- Golley FG. 1961. Energy values of ecological materials. *Ecology*, **42**: 581-584.
- Golley FG. 1968. Caloric value of wet tropical forest vegetation. *Ecology*, **50**: 517-519.
- Long FL. 1999. Application of calorimetric methods to ecological research. *Plant Physiology*, **9**: 323-327.
- Ovington JD, Heitkamp D. 1960. The accumulation of energy in forest plantations in Britain. *Journal of Ecology*, **48**: 639-646.
- Pitelka LF. 1978. Variation in caloric values of annual and perennial lupines (*Lupinus Leguminosae*). *American Midland Naturalist*, **99**: 454-462.

作者简介 唐炎林,男,1973年生,硕士,助理研究员。主要从事生态学监测与研究工作。E-mail tangy@xtbg.org.cn
责任编辑 王 伟
