

# 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

黄钰辉<sup>1,2</sup> 官丽莉<sup>1,2</sup> 周国逸<sup>1\*</sup> 罗艳<sup>1,2</sup> 唐建维<sup>3</sup> 刘玉洪<sup>3</sup>

(1 中国科学院华南植物园, 广州 510650) (2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

(3 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐腊 666303)

**摘要** 测定云南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种植物叶片及地表凋落物层的干重热值, 分析并比较了两地群落类型热值的差异及其与地理条件的关系。植物叶片分为鲜叶和凋落叶, 地表凋落物层分为新鲜凋落物层(L层)和腐叶层(F层)进行取样测量, 所有样品在60℃烘干至恒重, 样品热值采用 Parr1261 氧弹式热量计测量。结果表明, 西双版纳的11种植物鲜叶和凋落叶干重热值的变化范围分别是14.5953~19.8639和14.0467~19.8840  $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ , L和F层的平均干重热值分别为17.4196和14.7805  $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ; 哀牢山的10种植物鲜叶和凋落叶干重热值的变化范围分别是17.8051~21.5253和17.8934~21.4367  $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ , L和F层的平均干重热值分别为19.2084和17.4947  $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ 。两地植物鲜叶与凋落叶干重热值的大小顺序近似或一致, 即植物鲜叶干重热值越高, 其凋落叶干重热值也越高, 植物鲜叶与凋落叶干重热值的差值有正有负, 因物种而异; 西双版纳凋落物L与F层之间的热值差值显著地大于哀牢山两层凋落物的热值差值, 可能是由西双版纳凋落物的分解速率较快导致的, 两地样品的平均干重热值的顺序为: 鲜叶 > 凋落叶 > L层 > F层; 将两地的相应样品对比发现, 干重热值呈现为哀牢山 > 西双版纳, 体现出高海拔 > 低海拔、高纬度 > 低纬度以及常绿阔叶林 > 热带季节雨林的特点。

**关键词** 优势种 干重热值 鲜叶 凋落叶 凋落物层 能量生态学

## GROSS CALORIC VALUES OF DOMINANT SPECIES AND LITTER LAYER IN MID-MONTANE MOIST EVERGREEN BROAD-LEAVED FOREST IN AILAO MOUNTAIN AND IN TROPICAL SEASON RAIN FOREST IN XISHUANGBANNA, YUNNAN, CHINA

HUANG Yu-Hui<sup>1,2</sup>, GUAN Li-Li<sup>1,2</sup>, ZHOU Guo-Yi<sup>1\*</sup>, LUO Yan<sup>1,2</sup>, TANG Jian-Wei<sup>3</sup>, and LIU Yu-Hong<sup>3</sup>

<sup>1</sup>South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China, <sup>2</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China, and <sup>3</sup>Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China

**Abstract** *Aims* Our objective was to estimate the gross caloric values (GCVs) for two vegetation types and examine the differences.

*Methods* Samples of fresh leaves were collected from 10 dominant species in mid-montane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountain and 11 dominant species in tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna. Leaf litter samples also were collected and divided into fresh litter layer (L layer) and fermentation layer (F layer). Samples were dried to constant weight at 60°C, and GCV of each sample was measured by a PARR1261 oxygenic bomb calorimeter.

*Important findings* There was a wide range of GCVs in fresh leaves and litter layers in both forests. The GCVs in fresh leaves were higher than in leaf litter for all but six species, with the differences between fresh leaves and leaf litter dependent on species characteristics. In both forests, species with higher GCVs in fresh leaves also had higher GCVs in leaf litter. The difference of GCV between L layer and F layer samples was significantly higher in Xishuangbanna than in Ailao Mountain, suggesting that litter layer decomposes more rapidly in Xishuangbanna. The ranking of mean GCVs from the same stand was fresh leaves > leaf litters > L layer litters > F layer litters. Mean GCVs in Ailao Mountain were consistently higher than those in Xishuangbanna, indicating that GCV was correlated with geographical factors. Forest GCVs are higher at high altitude, high lat-

收稿日期: 2005-09-21 接受日期: 2006-03-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(30470306)

本研究在采样时得到西双版纳热带雨林生态系统定位研究站和哀牢山亚热带森林生态系统研究站的帮助, 在此一并致谢

\* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: gyzhou@scib.ac.cn

E-mail of the first author: yhhuang@scib.ac.cn

itude evergreen broad-leaved forest than in low altitude , low latitude tropical seasonal rain forest.

**Key words** dominant species , gross caloric value , fresh leaf , leaf litter , litter layer , energy ecology

绿色植物在光合作用过程中,将光能转化为化学能,这种潜在的化学能可以用植物热值含量来表示,直接反映植物对太阳能的利用转化效率,其能量水平只有数值上的差异,但是物质组成不仅有数量的差异,还有成分的区别,所以应用能量的概念研究植物群落比单纯用干物质测定更能反映出群落对自然资源(特别是太阳能)的利用情况(Jordan, 1971)。热值还反映了组织中各种生理活动的变化和各种环境因子对植物生长的影响,可作为植物生长状况的一个有效指标(林鹏和林光辉, 1991),其含量可作为植物营养价值的标志之一。对水稻(*Oryza sativa*)叶片热值的研究表明,热值能反映组织各种生理活动的变化和植物生长状况的差异(孙国夫等, 1993)。在研究森林生态系统的结构与功能时,将热值与干物质产量结合起来是评估森林生态系统初级生产力的重要指标,也是生态系统能流研究必不可少的参数(Golley, 1961; Bliss, 1962)。所以,热值对评价和反映生态系统中物质循环和能量转化规律具有重要的指导意义。随着生态系统功能过程研究的深入,热值的测定日益引起了人们的重视。

在西双版纳和哀牢山等地已经开展了较多关于干物质及生物量的研究,但热值研究却未见相关报道。本文通过测定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的鲜叶和凋落叶,以及地表凋落物层的干重热值(Gross caloric value, GCV),比较了物种、群落及地域之间的差异,为全面研究这一地区森林生态系统的结构和功能提供了基础资料,也为森林生态系统的能量流动和生态效率的进一步研究提供科学依据。

## 1 研究地区自然概况和研究方法

### 1.1 研究地区自然概况

#### 1.1.1 西双版纳

研究地点位于西双版纳勐仑, 21°41' N, 101°25' E, 海拔 600 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, 干湿季分明。年降雨量平均为 1 557 mm, 年均温 21.5 °C, 最热月(5 月)均温为 25.3 °C, 最冷月(1 月)均温为 15.5 °C, 多年极端最低温度平均为 7.5 °C,  $\geq 10$  °C 的积温 7 860 °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。

观测样地设于勐仑坝子边缘自然保护区内, 海拔约 750 m, 上层乔木高度 35 m 以上, 观测场地坡度约为 35°, 土壤为第四纪冲积层上发育的砖红壤, 土层较薄, 石头较多, 约 30~40 cm 深处即为砾石层。森林类型为热带湿性季节雨林(郑征等, 1990)。

根据样地调查资料(由西双版纳热带森林生态系统定位研究站提供)在优势种中选择 11 种植物: 番龙眼(*Pometia tomentosa*)、细罗伞(*Ardisia tenera*)、棒柄花(*Cleidion brevipetiolatum*)、蚁花(*Mezzettiopsis creaghii*)、玉蕊(*Barringtonia macrostachya*)、白颜树(*Gironniera subaequalis*)、木奶果(*Baccaurea ramiflora*)、核实(*Drypetes indica*)、干果榄仁(*Terminalia myriocarpa*)、滇南溪桫(*Chisocheton siamensis*)和窄序崖豆树(*Millettia leptobotrya*)。

#### 1.1.2 哀牢山

研究地点位于云南哀牢山自然保护区核心区的徐家坝地区, 约 24°32' N, 101°01' E, 海拔 2 400~2 600 m。受来自印度洋的西南季风影响, 降水丰沛, 年平均降雨量 1 841 mm, 相对湿度 86%, 年平均气温 10.7 °C, 最冷月(1 月)平均气温 4.7 °C, 最热月(7 月)平均 16.4 °C, 最低气温极值 -8 °C, 全年无霜期 180 d, 表现出终年温凉潮湿的气候特征。

以木果石栎(*Lithocarpus xylocarpus*)为标志的哀牢山中山湿性常绿阔叶林是徐家坝地区分布面积(近 5 333 hm<sup>2</sup>)最大、保存最好的原生植被。乔木层高 20~25 m, 胸径 30~40 cm, 除木果石栎外, 还有相当数量的腾冲栲(*Castanopsis wattii*)、红花木莲(*Manglietia insignis*)、滇木荷(*Schima noronhae*)等, 林相完整, 树干密布苔藓, 林冠郁闭。地表枯枝落叶层平均厚度 5~7 cm, 林内倒木、枯立木和大枯枝数量多, 分布不均匀。林地土壤为山地黄棕壤, pH 值为 4.3, 有机质含量 9%~12% (刘文耀等, 1995)。

根据样地调查资料(吴征镒等, 1983)在优势种中选择 10 种植物: 木果石栎、景东石栎(*Lithocarpus chintungensis*)、腾冲栲、滇木荷、红花木莲、舟柄茶(*Hartia sinensis*)、多花含笑(*Michelia floribunda*)、长尾青冈(*Cyclobalanopsis stewardiana* var. *longicaudata*)、绿背石栎(*Lithocarpus hypovirdis*)、瓦山安息香

(*Styrax perkinsiae*)

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 取样方法

取样时间为 2004 年 8 月下旬,取样地点分别是中国科学院哀牢山森林生态系统定位研究站与西双版纳热带森林生态系统定位研究站的观测样地内。

**鲜叶:**在样地内选择 3~5 个 10 m × 10 m 的小区,每个小区内选择同种树种 2~3 株,在离地面 3~4 m 处用高枝剪沿树的东、西、南、北、中 5 个方位各剪下一小枝,取叶样装入布袋。同一树种样品混匀为一个混合样。

**凋落叶:**在采鲜叶的树下收集相应树种的新鲜凋落叶,装入布袋。哀牢山的瓦山安息香、绿背石栎和西双版纳的细罗伞、核实、蚁花等树种新鲜凋落叶较少,只能采树上老叶代替。

**凋落物层:**根据凋落物的分解程度将按自然层次分为新鲜凋落物层(Fresh litter layer, L 层)和腐叶层(Fermentation litter layer, F 层)。L 层的叶片新鲜完整,尚未分解,没有破损;F 层的凋落物呈半分解状态,多见霉斑,叶片大多粘在一起,肉眼还能辨认植物残体的组织结构,没有无机质土壤混入(易兰等 2005)。在样地内选择间隔 10 m 左右的样点 8~9 个,用 0.2 m × 0.2 m 的四方形采样框,按 L 和 F 层采集框内地表凋落物层样品,装入布袋。将鲜叶、凋落叶和凋落物层样品带回实验室后,在 60 °C 烘至恒重,粉碎过 60 目筛,并装瓶保存。

### 1.2.2 热值测定

磨碎过筛的鲜叶、凋落叶及凋落物层样品 60 °C 烘干至恒重,直接用 Parr1261 氧弹式热量计测定干重热值。每份样品 2~3 次重复,重复间误差控制在  $\pm 0.2 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

### 1.2.3 数据统计

用每个样品测量 2~3 次的平均值表示该样品的平均热值数据。对于各样地鲜叶与凋落叶,凋落物 L 与 F 层,以及不同优势树种同类型样品进行单因素方差分析(ANOVA),差异显著水平为  $\alpha = 0.05$ 。相同类型样品不同样地之间的差异亦通过单因素方差分析检验差异是否显著,差异显著水平为  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 鲜叶与凋落叶热值

鲜叶与凋落叶的热值见表 1。西双版纳热带季

节雨林植物鲜叶的热值分布范围是  $14.5953 \sim 19.8639 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ,变异系数 9.36%;凋落叶的热值变化范围是  $14.0467 \sim 19.8840 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ,变异系数 10.91%。哀牢山中山湿性常绿阔叶林植物鲜叶的热值变化范围是  $17.8051 \sim 21.5253 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ,变异系数 5.22%;凋落叶的热值分布范围是  $17.8934 \sim 21.4367 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ,变异系数 6.08%。

将优势树种按鲜叶与凋落叶的热值分别排序,西双版纳按鲜叶热值大小排序为:云南玉蕊 > 番龙眼 > 细罗伞 > 滇南溪桫 > 窄序崖豆树 > 蚁花 > 核实 > 白颜树 > 干果榄仁 > 棒柄花 > 木奶果,按凋落叶热值大小排序为:滇南溪桫 > 云南玉蕊 > 细罗伞 > 番龙眼 > 蚁花 > 窄序崖豆树 > 核实 > 干果榄仁 > 白颜树 > 棒柄花 > 木奶果,个别植物在鲜叶与凋落叶热值排序中的位置略有不同,但大体一致,将排序划层次发现,云南玉蕊、滇南溪桫、番龙眼、细罗伞的鲜叶和凋落叶均处于高热值的层次( $> 19.0 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ),而棒柄花、木奶果则处于低热值层次( $< 17.0 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ )。除去缺凋落叶的树种,哀牢山的优势树种按鲜叶及凋落叶热值大小排序则完全一致:木果石栎 > 景东石栎 > 腾冲栲 > 滇木荷 > 红花木莲 > 舟柄茶 > 多花含笑 > 长尾青冈 > 绿背石栎 > 瓦山安息香。这一现象表明,鲜叶热值较高的植物,其凋落叶热值也较高。

### 2.2 鲜叶与凋落叶的热值差值

西双版纳热带季节雨林优势植物鲜叶和凋落叶之间的热值差值见图 1。鲜叶到凋落叶的热值变化有增有减,其中有 2 种植物的凋落叶热值大于鲜叶热值,不同植物鲜叶与凋落叶的热值变化因树种而异。考虑到鲜叶热值与凋落叶热值的差值有正有负,所以对差值取绝对值,热值差值的平均值为  $(0.4628 \pm 0.3784) \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ,鲜叶的平均热值显著大于凋落叶的平均热值( $p < 0.05$ )。

除滇木荷与红花木莲缺凋落叶外,哀牢山其余 8 种植物鲜叶与凋落叶之间的热值差值见图 2,其中多花含笑的鲜叶热值与凋落叶热值相差相对较大,其余基本上都处于  $\pm 0.2 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  的范围内,其中有 4 种植物的凋落叶热值大于鲜叶热值。热值差值(取绝对值后)的平均值为  $(0.1914 \pm 0.1667) \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ,鲜叶与凋落叶的平均热值的差异达不到显著水平( $p > 0.05$ )。

### 2.3 地表凋落物层的热值

L 和 F 层的热值及二者之间的差值见表 2。西

表 1 鲜叶与凋落叶的热值  
Table 1 The gross calorific value (GCV) of fresh leaf and leaf litter

地点 Site	森林类型 Forest type	物种 Species	鲜叶 Fresh leaf (kJ·g <sup>-1</sup> )	凋落叶 Leaf litter (kJ·g <sup>-1</sup> )
西双版纳 Xishuangbanna	热带季节雨林 Tropical season rain forest	玉蕊 <i>Barringtonia macrostachya</i>	19.863 9	19.786 9
		番龙眼 <i>Pometia tomentosa</i>	19.701 7	19.331 6
		细罗伞 <i>Ardisia tenera</i>	19.656 3	19.455 6
		滇南溪桫 <i>Chisocheton siamensis</i>	19.165 7	19.884 0
		窄序崖豆树 <i>Millettia leptobotrya</i>	18.776 6	18.147 5
		蚁花 <i>Mezzettiopsis creaghii</i>	18.626 8	18.179 2
		核实 <i>Drypetes indica</i>	17.780 3	17.692 0
		白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>	17.061 0	15.678 0
		千果榄仁 <i>Terminalia myriocarpa</i>	17.030 2	17.151 1
		棒柄花 <i>Cleidion brevipetiolatum</i>	16.111 7	15.604 7
		木奶果 <i>Baccaurea ramiflora</i>	14.595 3	14.046 7
平均 ± 标准误 Mean ± SE			18.033 5 ± 0.508 9	17.723 3 ± 0.583 3
哀牢山 Ailao Mountain	中山湿性常绿阔叶林 Mid-montone moist evergreen broad-leaved forest	景东石栎 <i>Lithocarpus chintungensis</i>	21.525 3	21.436 7
		绿背石栎 <i>Lithocarpus hypovirdis</i>	20.852 5	21.016 5
		瓦山安息香 <i>Styrax perkinsiae</i>	20.821 6	20.784 7
		木果石栎 <i>Lithocarpus xylocarpus</i>	20.482 2	20.703 8
		长尾青冈 <i>Cyclobalanopsis stewardiana</i> var. <i>longicaudata</i>	20.435 3	20.243 0
		滇木荷 <i>Schima noronhae</i>	20.408 4	-
		腾冲栲 <i>Castanopsis wattii</i>	19.788 1	19.952 7
		红花木莲 <i>Manglietia insignis</i>	19.526 7	-
		多花含笑 <i>Michelia floribunda</i>	19.241 9	18.666 9
		舟柄茶 <i>Hartia sinensis</i>	17.805 1	17.893 4
		平均 ± 标准误 Mean ± SE		

- : 缺样 Missing samples

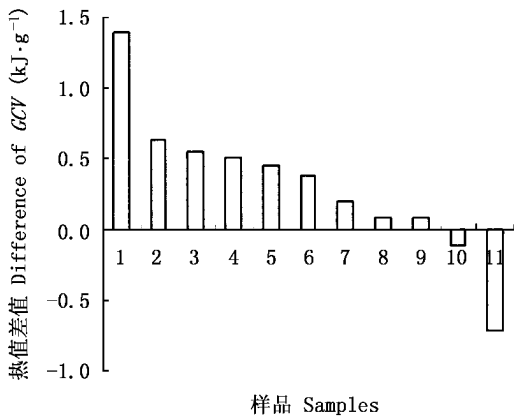


图 1 西双版纳热带季节雨林植物鲜叶和凋落叶的热值差值  
Fig.1 The difference of gross calorific value (GCV) between fresh leaves and leaf litters of plants in the tropical season rain forest in Xishuangbanna

1. 白颜树 *Gironniera subaequalis* 2. 窄序崖豆树 *Millettia leptobotrya* 3. 木奶果 *Baccaurea ramiflora* 4. 棒柄花 *Cleidion brevipetiolatum* 5. 蚁花 *Mezzettiopsis creaghii* 6. 番龙眼 *Pometia tomentosa* 7. 细罗伞 *Ardisia tenera* 8. 核实 *Drypetes indica* 9. 玉蕊 *Barringtonia recemosa* 10. 千果榄仁 *Terminalia myriocarpa* 11. 滇南溪桫 *Chisocheton siamensis*

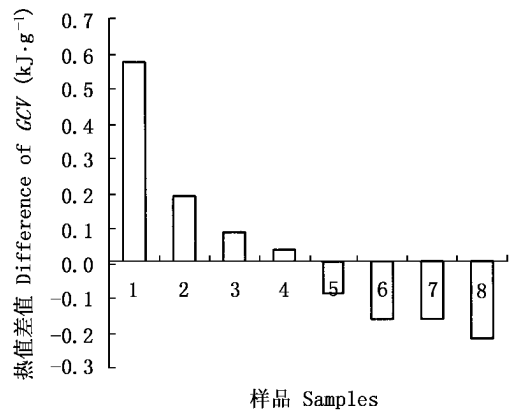


图 2 哀牢山中山湿性常绿阔叶林植物鲜叶与凋落叶热值的差值  
Fig.2 The difference of gross calorific value (GCV) between fresh leaves and leaf litters of plants in the mid-montone moist evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountain

1. 多花含笑 *Michelia floribunda* 2. 长尾青冈 *Cyclobalanopsis stewardiana* var. *longicaudata* 3. 景东石栎 *Lithocarpus chintungensis* 4. 瓦山安息香 *Styrax perkinsiae* 5. 舟柄茶 *Hartia sinensis* 6. 绿背石栎 *Lithocarpus hypovirdis* 7. 腾冲栲 *Castanopsis wattii* 8. 木果石栎 *Lithocarpus xylocarpus*

双版纳热带季节雨林样地的地表凋落物的 L 层的干重热值介于 15.875 7 ~ 18.758 2 kJ·g<sup>-1</sup> 之间, 变异系数为 5.89%, F 层的干重热值介于 11.799 7 ~

17.186 4 kJ·g<sup>-1</sup> 之间, 变异系数为 10.64%, L 层的平均热值显著地大于 F 层 ( $p < 0.01$ ); 哀牢山中山湿性常绿阔叶林样地的地表凋落物 L 层的干重热值介于

18.208 3 ~ 20.062 4  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  之间, 变异系数为 2.96% ,F 层的干重热值介于 16.250 6 ~ 18.530 8  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  之间, 变异系数为 4.74% ,L 与 F 层的平均热值的差异也达到了显著水平 ( $p < 0.01$ )。L 层的变异系数均小于 F 层的变异系数, 这与凋落物层的划

分有关, L 层是未分解层, 而 F 层是已分解层, 分解过程的差异必然导致 F 层的变异系数更大。两地 L 与 F 层之间的热值差值均为正值, 且 L 与 F 层之间的热值差值呈现为西双版纳显著地大于哀牢山 ( $p < 0.05$ )。

表 2 新鲜凋落物层(L 层)与腐叶层(F 层)的热值及两者间热值差值

Table 2 The gross caloric value (GCV) of fresh litter layer (L) and fermentation layer (F) and the difference between L and F layer

地点 Site	样方 Samples	L 层 L layer ( $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ )	F 层 F layer ( $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ )	L 与 F 层热值差值 Difference of GCV between L and F layer ( $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ )
西双版纳 Xishuangbanna	X1	18.567 6	14.942 7	3.624 9
	X2	16.210 0	13.124 3	3.085 7
	X3	18.216 8	14.578 1	3.638 7
	X4	17.880 1	15.744 4	2.135 7
	X5	17.523 5	15.024 0	2.499 5
	X6	16.909 5	15.922 5	0.987 1
	X7	16.834 9	11.799 7	5.035 2
	X8	15.875 7	14.702 4	1.173 3
	X9	18.758 2	17.186 4	1.571 8
		平均值 ± 标准误 Mean ± SE	17.419 6 ± 0.341 9	14.780 5 ± 0.524 2
哀牢山 Ailao Mountain	A1	19.492 9	17.437 7	2.055 2
	A2	18.771 1	16.370 6	2.400 5
	A3	19.338 2	18.152 6	1.185 6
	A4	18.208 3	16.250 6	1.957 7
	A5	19.005 0	17.547 2	1.457 9
	A6	19.143 8	17.472 6	1.671 3
	A7	19.645 5	18.195 9	1.449 6
	A8	20.062 4	18.530 8	1.531 7
		平均值 ± 标准误 Mean ± SE	19.208 4 ± 0.200 7	17.494 7 ± 0.293 2

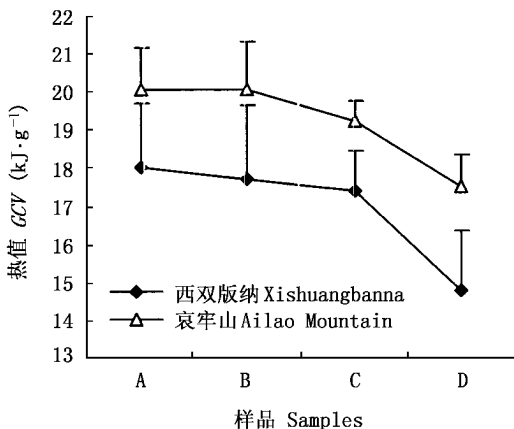


图 3 西双版纳和哀牢山样品平均热值的比较(误差线表示标准误)

Fig.3 Comparison on average gross caloric value (GCV) of samples in Xishuangbanna and in Ailao Mountain (error bars represent standard error)

A. 鲜叶 Fresh leaf B. 凋落叶 Leaf litter C. L 层 L layer D. F 层 F layer

## 2.4 两地的比较

将西双版纳热带季节雨林与哀牢山中山湿性常绿阔叶林各种样品的平均热值作图(图 3)比较可知, 无论是鲜叶或凋落叶, 还是地表凋落物的 L 与 F 层, 其热值都是哀牢山 > 西双版纳, 且差异极显著 ( $p < 0.01$ )。样品平均热值的大小顺序都是: 鲜叶 > 凋落叶 > L 层 > F 层, 各层次热值逐级递减。任海等(1999)比较不同群落时也发现, 各群落内叶片的热值最高, 凋落叶的次之, 地被物(凋落物残体)的最小, 与本研究结果一致。

## 3 讨论

热值会因植物种类、光强、日照时数、养分含量、季节和土壤类型等而发生变化(Golley, 1961; Bliss, 1962; 祖元刚, 1990; 林鹏和林光辉, 1991)。由于本文取样时间一致, 因而植物种类、光照及营养状况的差异可能是造成热值不同的主要原因。

两地无论鲜叶还是凋落叶, 热值变化范围都比

较大,说明不同种类之间存在差异。本研究发现鲜叶热值越高的植物,其凋落叶的热值也越高,这一结果与林鹏等(1996)对落叶与成熟鲜叶热值含量的月变化趋势研究是一致的,成熟鲜叶热值高的月份落叶热值也高。这种趋势与叶的能量固定和贮存是吻合的,鲜叶的热值越高,表明其光合作用固能贮能越高,同时落叶的热值也表现较高的趋势。

无论在西双版纳还是在哀牢山,植物鲜叶与凋落叶的热值差值不是简单地为正或为负,热值的变化随植物种类而异。由于热值的本质是样品中有机化合物的组成及含量的反映(林鹏和林光辉,1991;杨福国和何海菊,1983),因此热值的变化反映了有机化合物含量及组成的变化。有研究表明,叶片的热值高于凋落叶的主要原因可能是叶片在凋落之前已将部分高能有机物转移到其它部位(任海等,1999)。同时,本研究中还出现6种植物的凋落叶热值大于鲜叶热值。福建和溪亚热带雨林中落叶的热值均高于成熟鲜叶的平均热值(林鹏等,1996)。早在20世纪70年代Hughes(1971)就注意到这一现象,并称之为“叶脱落时的热值增值(Leaf caloric value increment at abscission)”,但对其成因未加以解释。范航清和林鹏(1994)研究秋茄(*Kandelia candel*)红树植物落叶分解的碎屑能量变化,也发现秋茄落叶的热值稍大于其活叶的热值,说明叶片衰老过程中从叶片转移再分配的有机物是具有较低热值部分,从而相对提高了落叶的热值。叶片在衰老凋落的过程中热值提高对物种自身而言是一种能量上的浪费,这一现象的机制还有待进一步研究。

两地地表凋落物L与F层间的热值差值均为正值,且L层的热值显著高于F层的热值,表明地表凋落物层处于有序的分解状态。地表凋落物层的能量释放主要受土壤微生物、温度、水分及淋溶等生态因子影响。与西双版纳相比,哀牢山L与F层之间的热值差值的变异更小,地表凋落物层的分解状态较为一致。L与F层之间的热值差值呈现为西双版纳显著大于哀牢山,这与两地凋落物的分解速率及其过程有着密切的联系。研究表明热值与气温和不同层次土壤温度都显著相关(张清海等,2005)。虽然西双版纳的年平均降雨量(1557 mm)比哀牢山(1841 mm)低,但西双版纳的年平均气温(21.5 °C)却比哀牢山的(10.7 °C)高近一倍,可以推论前者较好的湿热条件导致其凋落物分解速率大于后者,因而L与F层之间的热值差值较大。西双版纳热带季节雨林凋落物的消失常数为2.0(任泳红等,1999),

而哀牢山木果石栎(*Lithocarpus xylocarpus*)林的凋落物消失参数为0.73~0.94(张世聪和徐跃,1990),说明西双版纳凋落物的分解速率远大于哀牢山的分解速率,这与我们提出的推论相符。

由于两地植物所选取的种类不同,热值在个体间出现差异是必然的,而整体水平上的显著差异则与两地的植被类型、地理条件、气候等诸多因素有关。Jordan(1971)综合生态群落中不同植被类型叶片的平均干重热值后认为,植物群落的热值含量随降水梯度的降低而减少,随可利用太阳辐射梯度的降低而增加,这与本研究的结果相似,哀牢山的年均降雨量比西双版纳大,叶片平均热值也更高。从植被类型看,西双版纳为热带季节雨林,哀牢山为中山湿性常绿阔叶林,热值呈现为热带季节雨林小于常绿阔叶林,这与Golley(1969)和Jordan(1971)研究的变化趋势一致。从海拔差异看,西双版纳样地海拔650 m,哀牢山样地海拔2400~2600 m,二者海拔相差较大,热值呈现为高海拔大于低海拔。对华盛顿高山植物的能量研究证实高山地区植物热值较高(Hadley & Bliss,1964),高寒草甸群落的平均热值也相对较高(杨福国和何海菊,1983)。西双版纳与哀牢山的经度相差不大,从纬度位置看,前者位于21°41' N,后者位于24°32' N,热值呈现为高纬度大于低纬度的趋势,这与Golley(1969)的植物热值随纬度的增加而升高的结论相同。但徐永荣等(2004)发现,同一类型植物的干重热值在低纬度的武汉比在高纬度的天津大。林鹏和林光辉(1991)研究秋茄的热值时发现,干重热值含量在冬季随纬度升高而升高,其它季节则随纬度上升而下降。林益明等(2000)研究秋茄木材也发现在夏季秋茄木材的热值随纬度升高而下降,他认为可能是由于Golley(1969)采样时间的差异及用不同种类比较等因素的影响,而本研究也是进行了不同种类比较。此外,两地的光强、日照时数、气候及养分状况等的差异必然也导致植物热值的差异,最终表现出来的热值差异是所有因素综合影响的结果,这些因素各自的影响有待进一步研究,用统一的方法对各个生态系统进行同步的研究以探寻出各个因素真正的影响。

## 参 考 文 献

- Bliss LC (1962). Caloric and lipid content in alpine tundra plants. *Ecology*, 43, 753 - 757.
- Fan HQ(范航清), Lin P(林鹏)(1994). Studies on detritus energy during the decomposition of *Kandelia candel* leaf litter. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 36, 305 - 311. (in Chinese with

- English abstract)
- Golley FB (1969). Caloric of wet tropical forest vegetation. *Ecology*, 50, 517 – 519.
- Golley FB (1961). Energy values of ecological materials. *Ecology*, 42, 581 – 584.
- Hadley EB, Bliss LC(1964). Energy relationships of alpine plants of Mt. Washington, New Hampshire. *Ecological Monographs*, 34, 331 – 357.
- Hughes MK (1971). Seasonal calorific values form a deciduous woodland in England. *Ecology*, 52, 923 – 926.
- Jordan CF (1971). Productivity of a tropical forest and its relation to a world pattern of energy storage. *Journal of Ecology*, 59, 127 – 142.
- Lin P(林鹏), Lin GH(林光辉)(1991). Study on the caloric value and ash content of some mangrove species in China. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), 15, 114 – 120. (in Chinese with English abstract)
- Lin P(林鹏), Shao C(邵成), Zheng WJ(郑文教)(1996). Study on the caloric values of dominating plants in a subtropical rain forest in Hexi of Fujian. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 20, 303 – 309. (in Chinese with English abstract)
- Lin YM(林益明), Lin P(林鹏), Wang T(王通)(2000). Caloric values and ash contents of some mangrove woods. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 11, 181 – 184. (in Chinese with English abstract)
- Liu WY(刘文耀), Xie SC(谢寿昌), Xie KJ(谢克金), Yang GP(杨国平)(1995). Preliminary studies on the litterfall and coarse woody debris in mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 37, 807 – 814. (in Chinese with English abstract)
- Ren H(任海), Peng SL(彭少麟), Liu HX(刘鸿先), Cao HL(曹洪麟), Huang ZL(黄忠良)(1999). The caloric value of main plant species at Dinghushan, Guangdong, China. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 23, 148 – 154. (in Chinese with English abstract)
- Ren YH(任泳红), Cao M(曹敏), Tang JW(唐建维), Tang Y(唐勇), Zhang JH(张建侯)(1999). A comparative study on litterfall dynamics in a seasonal forest and a rubber plantation in Xishuangbanna, SW China. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 23, 418 – 425. (in Chinese with English abstract)
- Sun GF(孙国夫), Zheng ZM(郑志明), Wang ZQ(王兆骞)(1993). Dynamic of caloric values of rice. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 12(1), 1 – 4. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZY(吴征镒), Qu ZX(曲仲湘), Jiang HQ(姜汉侨)(1983). *Research of Forest Ecosystem on Ailao Mountains, Yunnan* (云南哀牢山森林生态系统研究). Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese)
- Xu YR(徐永荣), Feng ZW(冯宗炜), Zhu JE(朱敬恩)(2004). Comparison of foliage caloric values of garden plants in Wuhan and Tianjin, China. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 23(6), 11 – 14. (in Chinese with English abstract)
- Yang FT(杨福囤), He HJ(何海菊)(1983). A preliminary study on caloric of common plants in alpine meadow. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学丛刊), 7, 280 – 288. (in Chinese with English abstract)
- Yi L(易兰), You WH(由文辉), Song YC(宋永昌)(2005). Soil animal communities in the litter of the evergreen broad-leaved forest at five succession stages in Tiantong. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 25, 466 – 473. (in Chinese with English abstract)
- Zhang QH(张清海), Ye GF(叶功富), Lin YM(林益明)(2005). Dynamic caloric value of *Casuarina equisetifolia* litter fall during decomposition on coast sandy land. *Forest Research* (林业科学研究), 18, 455 – 459. (in Chinese with English abstract)
- Zhang SC(张世聪), Xu Y(徐跃)(1990). The mineral-element content of litterfall in a *Lithocarpus xylocarpus* forest in the Ailao Mountains. *Journal of Southwest Forestry College* (西南林学院学报), 10, 161 – 167. (in Chinese with English abstract)
- Zheng Z(郑征), Liu LH(刘伦辉), He AJ(和爱军), Jing GF(荆桂芬)(1990). Litterfall and leaf consumption by animals in humid seasonal rainforest in Xishuangbanna, China. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 32, 551 – 557. (in Chinese with English abstract)
- Zu YG(祖元刚)(1990). *Introduction to Energy Ecology* (能量生态学引论). Jilin Science and Technology Press, Changchun. (in Chinese)