

浙江北山七子花群落主要植物叶热值

郝朝运, 刘 鹏*

(浙江师范大学植物学实验室, 金华 321004)

摘要: 对不同季节浙江北山七子花群落 18 种优势植物叶的热值和灰分含量进行了研究, 探讨了生境片段化所造成的影响。结果表明: (1) 不同种类植物叶的灰分含量有较大差异, 与植物自身的遗传特性有关 (主要是叶的元素含量), 其中仅乔木层算盘子 (*Glochidion puberum*) 和灌木层华箬竹 (*Sasamorpha sinica*) 的灰分含量高于 10%, 其他植物灰分含量较低; 不同季节植物的灰分含量不同, 且具有不同的季节变化趋势; 从群落林冠到地被层, 各层植物叶的平均灰分含量由高到低依次为乔木层 ($7.49\% \pm 2.59\%$)、灌木层 ($7.20\% \pm 3.22\%$)、草本层 ($6.68\% \pm 1.02\%$) 和间层 ($6.28\% \pm 1.31\%$), 但层次间差异不显著 ($p > 0.05$)。 (2) 不同种类植物叶的去灰分热值变化范围较大, 有 6 种植物的去灰分热值高于 20.00 kJ/g, 4 种植物低于 18.00 kJ/g, 同一层次内常绿植物叶的去灰分热值一般比落叶植物高; 从林冠到地被层, 各层植物叶的去灰分热值由高到低依次为灌木层 (20.33 ± 2.29 kJ/g)、乔木层 (19.92 ± 1.05 kJ/g)、间层 (19.71 ± 3.26 kJ/g) 和草本层 (18.14 ± 0.74 kJ/g), 仅乔木层和草本层之间的差异达到显著水平 ($p < 0.05$); 不同季节植物叶的去灰分热值变化较为复杂, 其中多数植物在春秋季节热值含量较高, 夏季热值含量较低。 (3) 对不同生境条件下 3 种乔木植物叶的热值和灰分含量的比较研究显示, 由于受到片段化后光照增强等因素的影响, 与林内相比林外生境植株叶的干重热值和去灰分热值均明显升高 ($p < 0.05$), 而灰分含量变化规律不明显。分析认为, 生长速率慢和某些高热值成分的积累是造成片段化条件下植物叶热值升高的主要原因。

关键词: 灰分含量; 热值; 季节变化; 七子花

文章编号: 1000-0933(2006)06-1709-09 中图分类号: Q947.5, S718.55+4.1 文献标识码: A

The caloric value of the dominant plant species of a *Heptacodium miconioides* forest at Bei Mountain, Zhejiang Province, China

HAO Chao-Yun, LIU Peng (Department Key Laboratory of Botany, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1709 ~ 1717.

Abstract: Subtropic evergreen and deciduous broadleaved mixed forest forms the transitions from deciduous broadleaved forest to evergreen broadleaved forest. This forest type has an extensive distribution in subtropical mountainous regions of China. This paper focuses on the caloric value, ash content and their dynamics in various layer mature leaves of the dominant plant species in the community. The sampling site was located in the broadleaved forest community at Bei Mountain of Zhejiang Province ($29^{\circ}13'N$, $119^{\circ}38'E$), and the caloric value was measured by GR3500 type oxygen bomb calorimeter.

The ash content of the community species ranged from 4.49% (*Rosa wichuriana*) to 12.19% (*Sasamorpha sinica*), and varied with plant species and sampling seasons. Among 18 plant species in our study, only two species' ash contents (*S. sinica* and *Glochidion puberum*) exceeded 10%. The rank order of the average ash contents in the leaves was the following: tree layer ($7.49\% \pm 2.59\%$) > shrub layer ($7.20\% \pm 3.22\%$) > herbaceous layer ($6.68\% \pm 1.02\%$) > liana layer ($6.28\% \pm$

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(1399277); 浙江省生态学重点学科资助项目

收稿日期: 2005-06-18; 修订日期: 2006-01-19

作者简介: 郝朝运(1979~), 男, 山东菏泽人, 硕士生, 主要从事植物生理生态研究. E-mail: haochy79@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pliu99@vip.sina.com

致谢: 英国迪夫大学(Cardiff University)的 Y. S. Yang 教授对本文写作给予帮助, 在此谨表谢意

Foundation item: The project was supported by Natural Science Foundation of Zhejiang Province Province(No. 399277), Zhejiang Priority Academic Discipline of Ecology

Received date: 2005-06-18; **Accepted date:** 2006-01-19

Biography: HAO Chao-Yun, Master candidate, mainly engaged in plant physiology ecology. E-mail: haochy79@163.com

1.31%), and the differences among those layers were found not to be significant by nonparametric tests ($p > 0.05$). Compared with other plants in tropical and subtropical zones, our study plants had relatively high ash contents ($7.33\% \pm 2.15\%$) in leaves, similar only to some mangrove woods in Dongzhai Harbor Mangrove Forest Reserve of Hainan Province. The ash contents were related with amounts of nutrient elements absorbed in the plant body, which could indicate the role of element enrichment of plants. Levels of these element enrichment in plant components depended on their respective need for elements, and were related with element contents in soils.

Ash-free caloric values of community species ranged from 16.28% (*Pueraria edulis*) to 23.55% (*Camellia fraterne*), which varied among plant species and sampling seasons. Among the 18 plant species, 6 species had high ash-free caloric values (> 20.00 kJ/g), and 4 species had low ash-free caloric values (< 18.00 kJ/g). In the same community layer, evergreen species commonly had higher ash-free caloric value than deciduous species. The rank order of average ash-free caloric values in the leaves was the following: shrub layer (20.33 ± 2.29) kJ/g $>$ tree layer (19.92 ± 1.05) kJ/g $>$ liana layer (19.71 ± 3.26) kJ/g $>$ herbaceous layer (18.14 ± 0.74) kJ/g, and the difference between tree layer and liana layer was found to be significant by nonparametric test ($p < 0.05$). Caloric values of leaves varied with phenological phase, and changes were related to biological characteristics of species. In our plant community, annual fluctuation of the caloric values was different among the species, and most species had higher ash-free caloric values in spring and autumn than in summer. To some extent, the variation of caloric values within a species reflected the difference of developmental status.

To reflect the effect of habitat fragmentation on the caloric values, the caloric values of three tree species in different habitats were compared. Gross and ash-free caloric values of three species outside the forest were highest, and the difference between outside and inside the forest was significant according to t test ($p < 0.05$), indicating that habitat fragmentation had obvious influences on the caloric values. Our analysis showed that some environment factors vary. For instance increase of light intensity and water content of soil, and caloric values of the sampling species outside the forest all were significant higher ($p < 0.05$) than inside the forest. However, dynamic changes of ash content in different habitat showed no regular trend.

Key words: ash content; caloric value; seasonal dynamic; *Heptacodium miconioides*

植物热值是植物含能产品能量水平的一种度量,较有机物重量能更直接反映植物在光合作用中对太阳能的固定和累积能力,是评价植物化学能累积率高低的重要指标;由于它与干物质产量结合是评估森林生态系统初级生产力的重要指标,因而也是生态系统能量流动研究中必不可少的参数^[1-3];同时,植物热值也能反映组织中各种生理活动的变化和植物生长状况的差异,可作为植物生长状况的一个有效指标^[4]。自 Long^[5]于 20 世纪 30 年代首先较系统地研究植物热值以来,对生态系统各种物质热值及其变化机制的研究日趋广泛,直到上世纪 80 年代初我国的相关工作才有所开展^[6,7]。国内外众多学者主要从植被类型、群落种群、植物个体等层次上,对植物热值的变化及其与主要生态因子的关系、植物在时间梯度上的热值动态、植物种群的热值结构、能量在植物各器官的分配、各种胁迫条件对植物热值的影响等多个方面进行了较为系统的研究^[8-15]。目前国内关于植物群落水平的热值研究较多,如胡自治等^[16]对甘肃天祝高寒株芽蓼(*Polygonum viviparum*)草甸群落的热值进行了研究,结果显示植物不同部位(地上部分和地下部分)、不同发育时期、现存量和立枯物+凋落物等热值含量均有所不同;林益明等^[17]在对福建武夷山甜槠群落的能量研究时发现,群落各组样品的干重热值具有一定的差异;任海等^[18]研究了南亚热带鼎湖山 4 种植物群落 37 种主要植物的热值,认为热值会因植物种类、植物部位、光强、日照时数、养分含量、季节和土壤类型而发生变化。

亚热带常绿、落叶阔叶混交林是北亚热带低山的代表类型,是落叶阔叶林与常绿阔叶林之间的过渡,在我国亚热带山地有较广泛的分布。七子花(*Heptacodium miconioides*)是中国特有的珍稀濒危植物,属于国家二级重点保护,先后被列入中国被子植物关键类群中高度濒危种类^[19]和中国生物多样性保护行动计划中优先保护的物种^[20]。由于形态特殊,七子花不但在系统演化和区系分类上具有一定的学术价值,也可以作为优良的园林和绿化树种,但其分布非常狭窄,生境的不断恶化更加重了分布范围和种群规模不断缩小的趋势,目前仅

在浙江北山、大盘山和天台山等地有成片分布,所以其相关研究和保护工作具有紧迫性^[21]。目前尚未见七子花种群和群落热值方面的研究报道。本文以七子花群落为研究对象,对群落不同层次优势植物叶的热值、灰分含量及其季节变化规律进行分析,探讨了生境片段化对植物热值的影响,为揭示中、北亚热带地带性森林类型中植物叶热值的分布规律提供科学依据。

1 研究区域自然概况和研究方法

1.1 自然概况

北山位于浙江省中部,金华市北郊,地理坐标为 29°13'N, 119°38'E。气候属亚热带季风气候,雨量充沛,平均降水量 1500~1800 mm,平均气温 15.1℃,极端高温 41.3℃,极端低温 -9.5℃, 10℃ 以上的积温为 5504.5℃,山体以流纹岩为主,局部地段分布有石灰岩,土壤以中亚热带山地红、黄壤为主。由于修建水管和开路等原因,研究群落曾遭受了一定程度的破坏,较高的乔木多被砍伐,加之林内乔木立地条件较差(土层较薄、岩石裸露等),所以群落乔木层不发达。乔木层盖度在 50% 左右,以七子花、山胡椒 (*Lindera glauca*) 和青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*) 为主,其中七子花的重要值达 20.38%。灌木层发达,盖度在 50%~80% 之间,主要有野蔷薇 (*Rosa multiflora*)、连蕊茶 (*Camellia fraterna*)、华箬竹 (*Sasamorpha sinica*)、大叶胡枝子 (*Lespedeza davidii*) 等。草本层植物常集中在群落透光部位,主要有白花败酱 (*Patrinia villosa*)、三脉叶马兰 (*Aster ageratoides*) 等,还有一些蕨类植物。由于乔木层盖度低,间层藤本植物发达,主要有野葛 (*Pueraria lobata*)、华东菝葜 (*Smilax sieboldii*) 和珍珠莲 (*Ficus sarmentosa*) 等。

1.2 研究方法

研究地位于金华北山仙瀑洞附近,介于海拔 650~800 m,属于次生中北亚热带常绿、落叶阔叶混交林,选择群落各层代表性植物 18 种,隶属于 15 科 18 属(表 1)。样品于春季(2004 年 4 月中旬)、夏季(同年 7 月中旬)和秋季(同年 11 月初)分 3 次采集,为揭示生境片段化对植物热值的影响,同时从林外和林缘采集七子花、山胡椒、算盘子 (*Glochidion puberum*) 的叶进行测定,以与林内生境的相应数据对比分析。乔木层植物定株标记采样,灌木层、草本层和间层植物则固定地段取样,按不同层次、方位混合采集叶片。由于某些植物种类,如三脉叶马兰等在 11 月之前已经干枯,所以在其干枯之前进行秋季叶片采集。每种植物设 5 个重复。

所有样品经 105℃ 杀青 20 min,后经 80℃ 完全烘干,磨粉处理后过筛贮存备用;另取小样 105℃ 烘干至恒重,用热量计法测定其干重热值(GCV),仪器采用长沙仪器厂生产的 GR-3500 型微电脑氧弹式热量计测定(环境温度是 20℃ 左右)。测定时每样品重复测定 3 次,保证充分燃烧的重复值相差不超过 0.30 kJ/g。灰分含量(AC)的测定用干灰分法,即样品在马福炉 550℃ 下灰化 5 h 后测定。去灰分热值($AFCV = GCV / (1 - AC)$)。

2 结果与讨论

2.1 群落植物叶灰分含量的研究

灰分是指植物体矿物元素氧化物的总和,其高低可反映不同植物对矿质元素选择吸收与积累的特点。图 1 为北山七子花群落各层优势植物叶的平均灰分含量及误差分析。从图 1 可见,乔木层植物叶的灰分含量从高到低依次为算盘子、七子花、青冈、盐肤木 (*Rhus chinensis*)、山胡椒;灌木层植物依次为华箬竹、连蕊茶、绣球荚蒾 (*Viburnum macrocephalum*)、大叶胡枝子、野蔷薇;草本层植物依次为蕨 (*Pteridium aquilinum*)、芒萁 (*Dicranopteris pedata*)、三脉叶马兰、白花败酱、山麦冬 (*Liriope spicata*);间层植物依次为华东菝葜、珍珠莲、野葛。总体而言,群落各层次叶片灰分含量由高到低依次为乔木层($7.49\% \pm 2.59\%$)、灌木层($7.20\% \pm 3.22\%$)、草本层($6.68\% \pm 1.02\%$)和间层($6.28\% \pm 1.31\%$),但独立样本非参数检验(Independent samples nonparametric test)的结果显示,不同层次间灰分含量差异不显著($\text{Chi-Square} = 0.794$, $p = 0.851$, Kruskal-Wallis test)。

植物叶片灰分含量的高低受多重因素影响,其中植物自身遗传特性的影响最为显著。本研究显示,不同植物种类叶的灰分含量的变化无明显规律,但灰分含量的高低直接与植物组织内的元素含量有关。本研究的植物华箬竹灰分含量较高($12.19\% \pm 0.96\%$),林益明等^[22]对 21 种园林竹类植物的研究也发现竹类植物具有较高的灰分含量($10.02\% \sim 23.02\%$),分析认为这与竹类植物叶内硅元素的含量较高有关,硅广泛分布于竹

叶的表皮层、维管束、维管束鞘和厚壁组织中,以二氧化硅胶($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)的形态存在^[23]。

本研究显示,植物不同生长发育时期的灰分含量不同,与以往的一些群落能量学研究结果类似。谭忠奇等^[24]对五种丛生状棕榈植物叶片灰分含量的研究发现,同属的5种植物灰分含量的变化趋势各不相同;林益明等^[14]对4种灌木状和4种乔木状棕榈植物叶灰分含量的研究也发现,8种植物叶的灰分含量具有不同的变化趋势。不同种类植物灰分含量在时间梯度上的变化差异可能与植物固有的遗传特性、生长发育节律或生殖对策有关。一般认为,春夏季是植物生长旺盛期,各种矿质元素的积累使其灰分含量相对较高,以满足生长发育的需要,随后在叶片衰老过程中由于吸收消耗及碳水化合物、核酸、脂类和蛋白质等降解后小分子物质的外运,使老叶的灰分含量低于幼叶和成熟叶^[11,25]。

不同的地域的植物群落,其植物的灰分含量存在明显的不同。任海等^[18]研究广东省鼎湖山季风常绿阔叶林植物叶的灰分含量为2.6%~5.2%,针阔叶混交林植物叶的灰分含量为1.5%~3.8%,针叶林植物叶的灰分含量为1.9%~3.8%,林鹏等^[26]研究海南东寨港7种红树植物叶的灰分含量在7.11%~9.80%之间,林益明等^[26]研究福建华安竹园竹类植物叶的灰分含量在8.05%~28.14%之间。七子花群落植物叶的灰分含量介于4.49%~12.19%,平均为 $7.33\% \pm 2.15\%$,与上述地域相比,七子花群落植物叶的灰分含量略高于鼎湖山季风常绿阔叶林,大体等于东港寨红树植物的灰分含量。

2.2 群落各层次不同种类植物去灰分热值的比较

干重热值包含着部分在能量测定中不起作用的灰分,因此在比较不同种类植物的能量时,需要去掉这部分灰分以求得较为准确的单位干物质能量^[27]。图2为北山七子花群落各层优势植物叶的平均去灰分热值及误差分析。从图2可见,乔木层植物叶的去灰分热值由高到低依次为青冈、山胡椒、盐肤木、算盘子、七子花;灌木层植物依次为连蕊茶、华箬竹、绣球荚蒾、野蔷薇、大叶胡枝子;草本层植物依次为三脉叶马兰、白花败酱、芒萁、蕨、山麦冬;间层植物依次为华东菝葜、珍珠莲、野葛。其中去灰分热值高于20.00 kJ/g的植物有6种,依次为连蕊茶、华东菝葜、华箬竹、珍珠莲、青冈、山胡椒,低于18.00 kJ/g的植物有蕨、大叶胡枝子、山麦冬和野葛4种。

本研究显示,群落内植物种间去灰分热值的变化范围较大,规律不明显。同一层次内,除草本层外,其余各层次均以常绿植物的去灰分热值为最高,如乔木层的青冈,灌木层的连蕊茶和华箬竹,间层的华东菝葜和珍珠莲等。相对于落叶植物而言,这些分布于亚热带或暖温带的常绿植物的去灰分热值一般较高。以往的研究表明,植物在能量生产中合成的基本物质是脂肪、蛋白质和碳水化合物,三者的热值是不同的,脂肪(主要成分脂肪酸)的热值最高(39.54 kJ/g),蛋白质次之(23.64 kJ/g),碳水化合物(主要成分为葡萄糖)的热值最低(17.15 kJ/g),植物器官的热值直接受上述3成分含量的影响^[2]。为了抵御冬季寒冷的气候条件,常绿植物叶常有

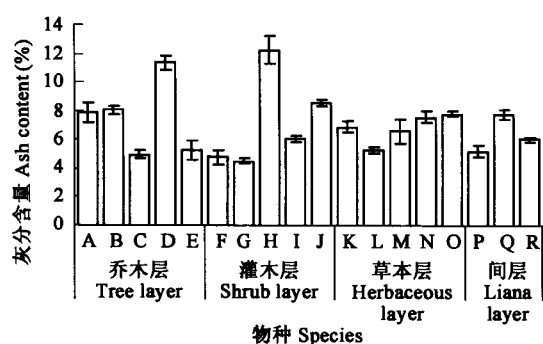


图1 北山七子花群落主要植物叶的平均灰分含量比较

Fig.1 The comparison of average ash content of main plants in Bei Mountain

A: 青冈 *C. glauca*; B: 七子花 *H. miconioides*; C: 山胡椒 *L. glauca*; D: 算盘子 *G. puberum*; E: 盐肤木 *R. chinensis*; F: 大叶胡枝子 *L. davidii*; G: 野蔷薇 *R. multiflora*; H: 华箬竹 *S. sinica*; I: 绣球荚蒾 *V. macrocephalum*; J: 连蕊茶 *C. fraternal*; K: 三脉叶马兰 *A. agcratoides*; L: 山麦冬 *L. spicata*; M: 白花败酱 *P. villosa*; N: 芒萁 *D. pedata*; O: 蕨 *P. aquilinum*; P: 野葛 *P. lobata*; Q: 华东菝葜 *S. sieboldi*; R: 珍珠莲 *F. sarmentosa*; 下同 the same below

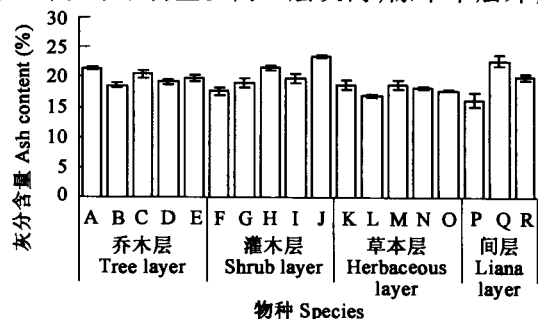


图2 北山七子花群落主要植物叶的平均热值比较

Fig.2 The comparison of average calorific value of main plants in Bei Mountain

一些特化性状以维持植物叶在冬季的正常生理功能,如角质层、蜡质层增厚以及细胞内油滴增加等。这些特化结构导致常绿植物叶内脂肪、蛋白质等高热值成分的大量积累,在一定程度上增加了其热值含量。如常绿植物华箬竹的去灰分热值高达 (21.53 ± 0.50) kJ/g,远高于同层次的大叶胡枝子、野蔷薇等落叶植物。毛燕对不同竹种竹叶的研究即发现竹叶内蛋白质的含量较高^[28]。这一现象在以往的研究中也有所揭示,Golley^[1]曾发现松林群落内含较高的松脂和松节油而使其热值提高;林益明和林鹏等的研究都发现干重热值的高低与植物的抗寒性有一定的关系,抗寒的种类比喜热的种类干重热值相对较高^[3,28]。

2.3 群落不同时期去灰分热值动态变化

以往研究表明,植物热值随外界环境条件和自身生长发育规律有节律地变化^[29,30]。表1为北山七子花群落各层优势植物叶的干重热值、灰分含量、去灰分热值的季节变化及其显著性检验。从表1可见,七子花群落内植物的去灰分热值随季节变化的幅度和趋势因种而异。乔木层植物中,山胡椒、算盘子和盐肤木叶的去灰分热值差异在春—夏、春—秋达到显著水平($p < 0.05$),其中盐肤木的去灰分热值夏—秋两季的差异也达到了显著水平,七子花春—夏、夏—秋差异显著,而青冈仅夏—秋达到显著水平;灌木层的大叶胡枝子和绣球荚蒾不同季节间的去灰分热值均差异显著,野蔷薇春—夏、夏—秋差异显著,华箬竹春—秋、夏—秋差异显著,而连蕊茶仅夏—秋差异显著;草本层植物中,三脉叶马兰、白花败酱和芒萁的去灰分热值春—夏、春—秋差异显著,而山麦冬和蕨不同季节均无显著差异;间层植物中,野葛、华东菝葜不同季节去灰分热值差异均显著,变化最大的野葛其7月中旬与11月初的去灰分热值相差达2.31 kJ/g,珍珠莲仅夏—秋两季差异显著。从中可以看出,相对于落叶植物而言,常绿植物去灰分热值的变化幅度一般较小。

从本研究结果看,多数植物叶的去灰分热值在春季维持在较高水平,在夏季热值含量有所下降,而秋季又升高到一个较高的水平,与以往的研究结论类似。日本学者福山正隆等^[2]研究发现,日本的放牧草地上的大多数优势牧草表现出春季、秋季干重热值高,而夏季急剧降低的特点;林益明等^[23]研究发现绿竹叶的干重热值在春季最高,冬季最低。叶片热值的这种变化模式可能与植物的物候规律及对环境因子变化的反应有关,植物体内有机物的组成不同会导致植物的热值不同。在植物恢复生长期(春季到初夏),其生长量相对较少,有机物的不断积累使其热值较高;夏季通常是植物年生长中的高峰期,伴随着生长加速和开花结实等,植物叶中的粗蛋白含量减少,粗纤维和碳水化合物的比例增加,热值含量骤减;从夏季到秋季,由于温度逐渐降低,植物的生长量显著减少,但叶的光合作用仍较为旺盛,植物开始累积有机物质来增强抗寒的能力,因而热值明显提高。

2.4 群落层次间去灰分热值的比较

依据表1数据计算得出的各层平均去灰分热值可知,从林冠到地被层的热值含量有所波动,其中以灌木层最高 (20.33 ± 2.29) kJ/g,其余依次为乔木层 (19.92 ± 1.05) kJ/g、间层 (19.71 ± 3.26) kJ/g和草本层 (18.14 ± 0.74) kJ/g,非参数检验结果显示,乔木层和草本层去灰分热值差异显著(Wilcoxon = 17.000, $p = 0.028$, Mann-Whitney test),而其他层次间差异未达到显著水平。一般认为,群落不同层次叶片去灰分热值依次为乔木层 > 灌木层 > 草本层,排列顺序与群落植物所受的光照强度大小一致。乔木层叶片处于林冠上部,有较长的日照时间和充足的光能,有利于植物的光合作用吸收和固定能量,因而干重热值高;而灌木层叶片处于荫蔽生境,可利用光能少,因而热值低。根据任海等^[18]的报道,鼎湖山针叶林、针阔叶混交林和季风常绿阔叶林内不同太阳辐射能的垂直分布从上到下遵循指数递减规律,而各群落层次热值从上到下也是递减的,体现出热值与群落内光强协同变化的特点;Whittaker等^[31]曾报道,在中生性的环境中群落各层的生产力的大小依次是乔木层 > 灌木层 > 草本层,这在雨林中更为明显,在热值上也反映出来;Adamandiadou等^[32]的研究也显示灌木的热值大于草本的热值。

本研究与以往的研究结论有所差异,不同之处在于七子花群落灌木层的去灰分热值略高于乔木层,但两者差异并未达到显著水平。初步分析后认为,这与七子花群落的生境条件和外界影响有一定的关系。由于群落内土层较薄、岩石裸露严重,乔木的立地条件不够优越,加之该群落曾受到了人为的破坏,林内较高的乔木

植株多被砍伐,导致七子花群落内乔木层不够发达,为灌木层植物留有较好的光照条件。优越的光照条件在一定程度上增高了灌木层植物的热值水平,所以灌木层的去灰分热值较高甚至略高于乔木层也不难理解。

表 1 北山七子花群落主要植物叶热值和灰分含量*

Table 1 The caloric value and ash content of main plants in Bei Mountain

层次 Layer	种类 Species	指标 Index	季节 Season			层次 Layer	种类 Species	指标 Index	季节 Season		
			春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn				春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn
乔木层 Tree layer	青冈 <i>C. glauca</i>	GCV	19.67a	19.77a	19.52a	草本层 Herb layer	连蕊茶 <i>C. fraternal</i>	GCV	21.58ab	21.24a	21.79b
		AC	7.37a	8.60b	7.63a			AC	8.33a	8.76b	8.54ab
		AFCV	21.24ab	21.63a	21.13b			AFCV	23.54ab	23.28a	23.82b
	七子花 <i>H. miconioides</i>	GCV	17.31ab	16.67a	17.43b		三脉叶马兰 <i>A. agcratoides</i>	GCV	18.29a	17.18b	17.11b
		AC	7.77a	8.32a	8.09a			AC	6.80ab	7.27a	6.58b
		AFCV	18.77b	18.18b	18.96a			AFCV	19.62a	18.53b	18.32b
	山胡椒 <i>L. glauca</i>	GCV	18.88a	19.85b	19.67b		山麦冬 <i>L. spicata</i>	GCV	15.94a	16.20a	16.32a
		AC	4.83a	4.69a	5.33b			AC	5.03a	5.45b	5.16ab
		AFCV	19.84a	20.83b	20.78b			AFCV	16.78a	17.13ab	17.21b
	算盘子 <i>G. puberum</i>	GCV	17.53a	16.85b	16.76b		白花败酱 <i>P. villosa</i>	GCV	18.34a	16.90b	17.33c
		AC	10.78a	11.39a	11.86a			AC	6.32a	7.54b	5.85c
		AFCV	19.65a	19.02b	19.02b			AFCV	19.58a	18.28b	18.41b
灌木层 Shrub layer	盐肤木 <i>R. chinensis</i>	GCV	18.54a	18.76a	19.33b		芒萁 <i>D. pedata</i>	GCV	16.67a	16.87ab	17.09b
		AC	4.48a	5.82b	5.43ab			AC	7.16a	7.95b	7.53ab
		AFCV	19.41a	19.92b	20.44c			AFCV	17.96a	18.33b	18.48b
	大叶胡枝子 <i>L. davidii</i>	GCV	16.11a	16.78b	17.43c	间层 Liana layer	蕨 <i>P. aquilinum</i>	GCV	16.34a	16.56a	16.44a
		AC	5.09a	4.96ab	4.18b			AC	7.63a	7.72ab	8.01b
		AFCV	16.97a	17.66b	18.19c			AFCV	17.69a	17.95a	17.87a
	野蔷薇 <i>R. multiflora</i>	GCV	18.50a	17.36b	18.77a		野葛 <i>P. lobata</i>	GCV	15.37a	16.59b	14.39c
		AC	4.26a	4.66a	4.54a			AC	4.68a	5.32ab	5.43b
		AFCV	19.32a	18.21b	19.65a			AFCV	16.12a	17.52b	15.21c
	华箬竹 <i>S. sinica</i>	GCV	18.93ab	18.57a	19.22b		华东菝葜 <i>S. sieboldii</i>	GCV	20.46a	20.74a	21.83b
		AC	11.14a	12.41b	13.02b			AC	7.32a	7.86b	7.95b
		AFCV	21.30a	21.19a	22.10b			AFCV	22.08a	22.51b	23.72c
	绣球荚蒾 <i>V. macrocephalum</i>	GCV	19.35a	18.05b	18.50c		珍珠莲 <i>F. sarmentosa</i>	GCV	18.84a	18.52a	19.27b
		AC	6.32a	5.88a	5.93a			AC	6.19a	5.88a	5.93a
		AFCV	20.65a	19.18b	19.67c			AFCV	20.08a	19.68b	20.48c

* 数值后字母不同表示同种植物不同季节间热值或灰分含量差异显著 ($p < 0.05$) Values followed by a different letter in rows mean significantly different between seasons at 0.05 levels

2.5 生境片段化对植物叶热值的影响

生境片段化是指大而连续的生境变成空间隔离的小种群的现象,由于人为活动等外界影响,七子花群落受到了一定程度的片段化胁迫,原有的生长环境产生了新的变化。为了揭示生境片段化对植物热值的影响,本研究从林外和林缘对七子花、山胡椒、算盘子叶进行了采集和热值测定,以与林内的相应数据对比分析(表2)。

从去灰分热值的比较看,七子花、山胡椒都是林外植株叶的去灰分热值含量最高,林边缘次之,林内的去灰分热值最低,算盘子也是以林外生境的最高,不同的是其林边缘的热值比林内的低。独立样本 t 检验 (Independent samples t test) 的结果显示,七子花林外与林内的去灰分热值差异显著 ($p < 0.05$),而林缘与林内的差异不明显 ($p > 0.05$),山胡椒在不同生境条件下去灰分热值差异均显著,算盘子在不同生境条件下差异均不显著。3种植物叶的干重热值的变化趋势与去灰分热值的变化趋势类似,总体上看,3种小乔木树种都以林外生境的热值含量最高,说明生境条件的变化对3种植物的去灰分热值产生了明显的影响。灰分含量的变化并没有一致的规律,七子花和山胡椒都以林内的灰分含量最高,而算盘子相反,林内植株的灰分含量最低,但差异均不显著。

表 2 不同生境条件下 3 种植物叶的热值和灰分含量比较**

Table 2 Comparing of the caloric value and ash content of three plant species in different habitat

植物种类 Plant species	指标 Index	生境 Habitat		
		林内 Inside	林边缘 Edge	林外 Outside
七子花 <i>H. miconioides</i>	干重热值 Gross caloric value (kJ/g)	17.13a	17.46ab	17.81b
	灰分含量 Ash content (%)	8.06a	7.59a	7.42a
	去灰分热值 Ash free caloric value (kJ/g)	18.63a	18.89ab	19.24b
山胡椒 <i>L. glauca</i>	干重热值 Gross caloric value (kJ/g)	19.47a	19.86ab	20.13b
	灰分含量 Ash content (%)	4.95a	4.79a	4.84a
	去灰分热值 Ash free caloric value (kJ/g)	20.48a	20.86b	21.20c
算盘子 <i>G. puberum</i>	干重热值 Gross caloric value (kJ/g)	17.05a	16.85a	17.14a
	灰分含量 Ash content (%)	11.34a	13.04a	13.18a
	去灰分热值 Ash free caloric value (kJ/g)	19.45a	19.38a	19.74a

* * 数值后字母不同表示同种植物不同生境热值或灰分含量差异显著 ($p < 0.05$) Values followed by a different letter in rows mean significantly different between habitats at 0.05 levels

大量的研究表明,砍伐和破坏所造成的生境片断化使群落植物原有的生长环境产生了新的变化,整个群落从内向外产生生态环境梯度,光照、温度、湿度和土壤含水量等条件发生了改变,从而对片断化生境中植物的生长和发育产生了影响^[33,34]。胁迫条件会抑制植物的生长发育,刘鹏等对不同光照条件下七子花光合生理特性的研究显示,生境片断化所导致的强光照条件(大于 $800 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)抑制了七子花的光合作用,降低了其生长速率^[35]。同时,光照、干旱等胁迫条件可诱导植物叶内某些胁迫蛋白、氨基酸等物质的大量合成和积累^[36,37],这些高热值成分的增加将在一定程度上增高叶片的热值含量。可见,七子花群落生境片断化后,光照增强、温度升高、土壤含水量降低等环境因子的改变不但抑制了植物的生长,而且还在一定程度上增高了叶片的热值含量。因此,相对于林内植物而言,片断生境下植物叶片热值含量明显升高也不难理解。综合以上分析,本研究认为生长受抑制和叶内某些高热值成分的增加是导致林外和林缘植物叶热值含量显著升高的主要原因。由于人口膨胀、经济飞速发展等原因,森林皆伐和连续森林的片断化在世界范围内不断扩大,但是目前有关生境片断化对植物群落能量水平和动态影响的研究还不多见,应当引起一定的重视。

3 结论

不同植物叶的灰分含量具有较大差异,灰分含量的高低与组织器官内的元素含量高低有关。不同生长发育时期植物灰分含量是不同的,群落内各植物灰分含量的季节变化趋势有较大差异,规律不明显。总体而言,群落各层次叶片灰分含量从高到低依次为乔木层、灌木层、草本层和间层,但不同层次间差异不显著。

植物种间去灰分热值的变化范围较大,同一群落层次内,常绿植物种类一般具有较高的去灰分热值。从林冠到地被层,群落各层植物叶的去灰分热值由高到低依次为灌木层、乔木层、间层和草本层,其中仅乔木层和草本层之间的差异达到了显著水平。本研究与以往结论的不同之处在于,群落灌木层去灰分热值含量高于乔木层,分析认为,群落内较差的立木条件以及人为干扰破坏引起的光照增强是造成灌木层热值较高的主要原因。植物去灰分热值随季节变化的幅度和趋势因种而异,多数植物春季的热值含量维持在较高水平,夏季热值含量有所下降,到秋季又达到一个较高水平。

对不同生境条件下七子花、山胡椒、算盘子植物叶热值的比较研究显示,相对于林内植株,林外植株叶的干重热值和去灰分热值明显升高。分析认为,片断化造成群落环境因子的改变,如光照增强、土壤含水量降低等,不但抑制了植物的正常生长,也造成叶内一些高热值成分的大量合成和积累,从而使林缘和林外植株叶热值含量明显增高。不同生境条件植物灰分含量虽然也有较大变化,但变化规律不明显。目前森林片断化面积在世界范围内不断增大,有关生境片断化对植物群落能量水平和动态的影响应当引起一定的重视。

References:

- [1] Golley F B. Energy values of ecological materials. Ecology, 1961, 42(3): 581 ~ 584.

- [2] Zu Y G. Energy Ecology. Changchun: Jilin Sciences and Technicality Press, 1990. 1 ~ 254.
- [3] Lin P, Lin G H. Study on the caloric value and ash content of some mangrove species in China. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1991, 15(2): 114 ~ 120.
- [4] Zheng Z M, Sun G F, Wang Z Q. Study on the dynamic of calorific value and energy of rice. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(2): 218 ~ 220.
- [5] Long F L. Application of calorimetric methods to ecological research. *Plant Physiology*, 1934, 9(2): 323 ~ 327.
- [6] Wang F T. Primary study on the energy coefficient of energy flow accounting in the agroecosystem of plain area. *Chinese Journal of Ecology*, 1984, 3(6): 44 ~ 46.
- [7] Zu Y G, Zhu T C. The stability analysis and energy flow through *Leymus chinensis* population. *Acta Botanica Sinica*, 1987, 29(1): 95 ~ 103.
- [8] Gorham E, Sanger J. Caloric value of organic matter in woodland, swamp, and lare soils. *Ecology*, 1967, 48: 492 ~ 494.
- [9] Lin P, Lin Y M, Li Z J, *et al.* Study on energy of *Pinus taiwanensis* community in Wuyi Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(4): 504 ~ 507.
- [10] Wu H S, Liu H P, Huang D J, *et al.* The energy flow and its utilization efficiency of the three forest communities in Dinghushan Natural Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(1): 82 ~ 89.
- [11] Guo J X, Wang R D, Bao G Z. Caloric value of Northeast *Aneurolepidium chinense* grassland species. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(6): 746 ~ 750.
- [12] Jakl T, Bolhar-Nordenkamp H R. Energy conversion efficiency and energy partitioning of white lupins. *Bioresource Technology*, 1991, 41: 129 ~ 133.
- [13] Kutbay H G, Kiline M. Seasonal changes in energy values of *Phillyrea latifolia* L. *Turkish Journal of Botany*, 1994, 18: 489 ~ 491.
- [14] Lin Y M, Wang Z C, Ke L N, *et al.* Monthly changes in the caloric values of the leaves of four shrubby and four tree-dwelling palmae species. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1117 ~ 1124.
- [15] Lin P, Wang W Q. Changes in the caloric values of *Kandelia candel* seedlings under salt stress. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(5): 466 ~ 470.
- [16] Hu Z Z, Sun J X, Zhang Y S, *et al.* Preliminary studies on caloric value and nutrient composition in Tianzhu Alpine *Polygonum viviparum* meadow. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1990, 14(2): 185 ~ 190.
- [17] Lin Y M, Lin P, Li Z J, *et al.* Study on energy of *Castanopsis eyrei* community in Wuyi Mountains. *Acta Botanica Sinica*, 1996, 38(12): 989 ~ 994.
- [18] Ren H, Peng S L, Liu H X, *et al.* The caloric values of main plant species at Diinghushan, Guangdong, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(2): 148 ~ 154.
- [19] Chen L Z eds. The state of biodiversity in China and conservation strategy. Beijing: Academic Press, 1994. 47 ~ 53.
- [20] Group of biodiversity conservation operative program in China. Program of Biodiversity Conservation Operation in China. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1994. 75 ~ 80.
- [21] Hao C Y, Zhang J J, Liu P. Development of the research on *Heptacodium miconioides* and protection strageties. *Journal of Zhejiang Forestry Science & Technology*, 2003, 23(5): 48 ~ 53.
- [22] Lin Y M, Zheng M Z, Lin P, *et al.* Ash content and caloric value in leaves of garden bamboo species. *Journal of Xiamen University(Natural Science)*, 2000, 39(1): 136 ~ 140.
- [23] Lin Y M, Lin P. Dynamics of Si element in *Dendrocalamopsis oldhami* Forest. *Subtropical Plant Research Communication*, 1998, 27(2): 1 ~ 6.
- [24] Tan Z Q, Lin Y M, Ding Y L, *et al.* Monthly changes in caloric values of five shrubby palmae species leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(7): 1135 ~ 1138.
- [25] Tan Z Q, Lin Y M, Xiang P, *et al.* Caloric value and ash content in the leaves at the different development stages of five Ficus species. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2003, 20(3): 264 ~ 267.
- [26] Lin Y M, Li B Z, Chen Y Y, *et al.* Caloric values in leaves of some bamboo species in the Bamboo Garden of Hua'an County, Fujian. *Chinese Bulletin of Botany*, 2001, 18(3): 356 ~ 362.
- [27] Reiners W A. Comparison of oxygen-bomb combustion with standard ignition techniques for determining total ash. *Ecology*, 1972, 53: 132 ~ 136.
- [28] Mao Y A preliminary study of chemical composition in leaves of *Phyllostachys praecox* and *P. prominens*. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 1997, 14(4): 410 ~ 414.
- [29] Golley F B. Caloric value of wet tropical vegetation. *Ecology*, 1969, 50(3): 517 ~ 519.
- [30] Lin G H, Lin P. The change of caloric values of a mangrove species, *Kandelia Candel* in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(1): 44 ~ 48.
- [31] Whittaker R H, Niering W A. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona V. Biomass, production and diversity along the elevation gradient. *Ecology*, 1975, 56(4): 771 ~ 790.
- [32] Adamandiadou S. Caloric content of plants dominating phryganic (East Medieterranean) ecosystems in Greece. *Flora*, 1978, 167: 574 ~ 584.
- [33] Camargo J L C, Kapos V. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in Central Amazonian forest. *Journal of Tropical Ecology*, 1995, 11: 205 ~ 221.
- [34] Carlson D W, Groot A. Microclimate of clear-cut, forest interior, and small openings in trembling aspen forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1997,

87: 313 ~ 329.

- [35] Liu P, Xu G D. Effect of light in site fragmentation on physiological characteristics of *Heptacodium miconioides*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(4): 43 ~ 48.
- [36] Sivakumaran S, Horan R, Heald J, *et al.* Effect of water stress on metabolism of abscisic acid in *Populus robusta* X *Schnied* and *Euphorbia lathyrus* L. *Plant, Cell and Environment*, 1980, 1(1): 15 ~ 21.
- [37] Schulte P J, Hinckley T M. Absciscic acid relations and the response *Populus trichocarpa* stomata to leaf water potential. *Tree Physiology*, 1987, 3(2): 255 ~ 260.

参考文献:

- [2] 祖元刚. 能量生态学引论. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990. 1 ~ 254.
- [3] 林鹏, 林光辉. 几种红树植物的热值和灰分含量的研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1991, 15(2): 114 ~ 120.
- [4] 郑志明, 孙国夫, 王兆骞. 水稻热值和能量的动态变化研究. *生态学报*, 1994, 14(2): 218 ~ 220.
- [6] 王方桃. 平原地区农业生态系统能流计量的折能系数初步研究. *生态学杂志*, 1984, 3(6): 44 ~ 46.
- [7] 祖元刚, 祝延成. 羊草种群的能量流动及其稳定性分析. *植物学报*, 1987, 29(1): 95 ~ 103.
- [9] 林鹏, 林益明, 李振基, 等. 武夷山黄山松群落能量的研究. *生态学报*, 1999, 19(4): 504 ~ 507.
- [10] 吴厚水, 刘慧屏, 黄大基, 等. 鼎湖山自然保护区 3 种群落的能量流动和能量利用效率. *生态学报*, 1998, 18(1): 82 ~ 89.
- [11] 郭继勋, 王若丹, 包国章. 东北羊草草原主要植物热值. *植物生态学报*, 2001, 25(6): 746 ~ 750.
- [14] 林益明, 王湛昌, 柯莉娜, 等. 四种灌木状与四种乔木状棕榈植物热值的月变化. *生态学报*, 2003, 23(6): 1117 ~ 1124.
- [15] 林鹏, 王文卿. 盐胁迫下红树植物秋茄 (*Kandelia candel*) 热值变化的研究. *植物生态学报*, 1999, 23(5): 466 ~ 470.
- [16] 胡自治, 孙吉雄, 张映生, 等. 天祝高寒株芽草甸群落的热值和营养成分的初步研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1990, 14(2): 185 ~ 189.
- [17] 林益明, 林鹏, 李振基, 等. 福建武夷山甜槠群落能量的研究. *植物学报*, 1996, 38(12): 989 ~ 994.
- [18] 任海, 彭少麟, 刘鸿先, 等. 鼎湖山植物群落及其主要植物的热值研究. *植物生态学报*, 1999, 23(2): 148 ~ 154.
- [19] 陈灵芝主编. 中国的生物多样性——现状及其保护对策. 北京: 科学出版社, 1994. 47 ~ 53.
- [20] 中国生物多样性保护行动计划总报告编写组. 中国生物多样性保护行动计划. 北京: 中国环境科学出版社, 1994. 75 ~ 80.
- [21] 郝朝运, 张洁净, 刘鹏. 七子花的研究进展及其保护对策. *浙江林业科技*, 2003, 23(5): 48 ~ 53.
- [22] 林益明, 郑茂钟, 林鹏, 等. 园林竹类植物叶的热值和灰分含量研究. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2000, 39(1): 136 ~ 140.
- [23] 林益明, 林鹏. 绿竹林硅素的动态研究. *亚热带植物通讯*, 1998, 27(2): 1 ~ 6.
- [24] 谭忠奇, 林益明, 丁印龙, 等. 五种丛生状棕榈植物叶热值的月变化. *应用生态学报*, 2004, 15(7): 1135 ~ 1138.
- [25] 谭忠奇, 林益明, 向平, 等. 5 种榕属植物不同发育阶段叶片的热值与灰分含量动态. *浙江林学院学报*, 2003, 20(3): 264 ~ 267.
- [26] 林益明, 黎中宝, 陈奕源, 等. 福建建安竹园一些竹类植物叶的热值研究. *植物学通报*, 2001, 18(3): 356 ~ 362.
- [28] 毛燕. 早竹和高节竹叶化学成分初步测定. *浙江林学院学报*, 1997, 14(4): 410 ~ 414.
- [30] 林光辉, 林鹏. 红树植物秋茄热值及其变化的研究. *生态学报*, 1991, 11(1): 44 ~ 48.
- [35] 刘鹏, 徐根娣. 在生境片断化中光对七子花生理特性的影响. *林业科学*, 2003, 39(4): 43 ~ 48.