

# 大气污染胁迫下 9 种植物幼苗叶片热值、C/N 和灰分含量比较

旷远文, 温达志, 周国逸\*, 张德强, 曹裕松

(中国科学院华南植物园, 广州 510650)

**摘要:** 用氧弹热值仪测定了生长在硫和氟复合污染环境和相对洁净环境下的 9 种木本植物幼苗叶片热值。结果表明, 植物叶片的基础干重热值、灰分含量因种类不同而有差异, 其中热值较高的(大于 19.00 kJ g<sup>-1</sup>)植物有铁冬青(*Ilex rotunda*)、华润楠(*Machilus chinensis*)和仪花(*Lysidice rhodostegia*), 热值中等的(介于 18.00–19.00 kJ g<sup>-1</sup>)植物有复羽叶栎树(*Koelreuteria bipinnata*)、环榕(*Ficus annulata*)、乐昌含笑(*Michelia chapensis*)、小叶榕(*Ficus microcarpa*)和红花油茶(*Camellia semiserrata*), 热值低的(低于 18.00 kJ g<sup>-1</sup>)种类有火焰木(*Spathodea campanulata*)。大气污染导致复羽叶栎树、华润楠和铁冬青幼苗叶片基础干重热值增加, 仪花、含笑、小叶榕、火焰木和红花油茶幼苗叶片基础干重热值下降, 环榕基础干重热值则维持相对稳定。Pearson 相关系数分析表明, 9 种植物幼苗叶片去灰分热值与叶片自身 C/N 比、叶片灰分含量的相关性均不显著, 但污染胁迫下植物幼苗叶片热值相对波动程度与其对污染物的抗性有关, 提示叶片热值可以作为植物幼苗对硫和氟复合污染的敏感性指标。

**关键词:** 大气污染; 木本植物; 干重热值; 去灰分热值; C/N

中图分类号: Q945.78

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2005)02-0117-06

## Comparison of Caloric Value, C/N Ratio and Ash Content in the Leaves of Seedlings of Nine Species under Air Pollution Stress

KUANG Yuan-wen, WEN Da-zhi, ZHOU Guo-yi\*, ZHANG De-qiang, CAO Yu-song

(South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** Seedlings of nine tree species grown in pots were exposed to contamination environment of sulphur and fluoride at Nanzhuang town, a ceramic industry area in Fushan city, Guangdong, and another part of the same plants were potted at South China Botanical Garden as control. The dry matter of seedling leaves was used to measure the gross caloric value by oxygen-bomb calorimeter. The ash content, ash-free caloric value and the ratio of N and C were also determined. The results showed that the caloric values in *Ilex rotunda*, *Machilus chinensis* and *Lysidice rhodostegia* were relatively high (above 19.00 kJ g<sup>-1</sup>), and the values in *Koelreuteria bipinnata*, *Ficus annulata*, *Michelia chapensis*, *Ficus microcarpa* and *Camellia semiserrata* were lower (between 18.00–19.00 kJ g<sup>-1</sup>) than the above three species, but higher than the value of *Spathodea campanulata*, which is lower than 18.00 kJ g<sup>-1</sup>. The air pollution stress caused the increase of gross caloric values in *Koelreuteria bipinnata*, *Machilus chinensis* and *Ilex rotunda*, but decrease of those in *Lysidice rhodostegia*, *Michelia chinensis*, *Ficus microcarpa*, *Spathodea campanulata* and *Camellia semiserrata*. However, the caloric values of *Ficus annulata* had only little change between polluted and less polluted environments. The analysis of Pearson correlation coefficients showed that the ash-free caloric value in leaves of the seedlings of 9 species did not significantly correlate with the C/N ratio and the ash content for corresponding species. However, the fluctuations of leaf caloric values in the same species under different

收稿日期: 2004-04-12 接受日期: 2004-06-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(30370283); 广东省环保局科技开发项目(2000-10); 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KSCX2-SW-120)资助

\* 通讯作者 Corresponding author

environments were related to the pollution tolerance of the species, suggesting that the caloric value in leaves can be considered as an index of species sensitivity to air pollution.

**Key words:** Air pollution; Woody species; Gross caloric value; Ash-free caloric value; C/N ratio

植物光合作用固定的太阳能除被呼吸作用消耗外,其余部分以有机物形式积累后为植物生长提供生物潜能。该潜能可以热值来表示,即单位干物质所含的能量( $\text{kJ g}^{-1}$ )。它比植物有机物能更直观反映植物对太阳能的固定和转化效率,是评价植物太阳能累积和化学能转化效率高低的指标<sup>[1,2]</sup>。Long 于 20 世纪 30 年代率先对植物热值进行了较系统的研究<sup>[3]</sup>,此后很多学者开始借助热值指标来研究生态系统的物质循环和能量转化规律<sup>[4,10]</sup>。我国对植物热值的研究始于 20 世纪 80 年代<sup>[9]</sup>,涉及农作物如水稻<sup>[1,10]</sup>、大豆<sup>[11]</sup>、苜蓿属植物<sup>[12]</sup>和草本植物<sup>[13]</sup>及森林木本植物,如人工针叶林<sup>[14]</sup>、桉树和相思混交林<sup>[15]</sup>、热带天然林<sup>[16-19]</sup>及亚热带常绿阔叶林<sup>[20]</sup>。胁迫条件下植物叶片热值的研究近年来也有报道,涉及的胁迫因子有盐份<sup>[21]</sup>、温度<sup>[22]</sup>等,但研究对象多为红树植物。普通植物叶片在大气污染胁迫下热值的变化,至今未见报道。

叶片作为绿色植物最主要的光合器官,是反映植物生命活动变化规律最敏感的组织,其能量高低反映出叶片有机物的贮存和合成水平。在诸多环境胁迫中,大气污染是一类最常见、普遍受到重视的胁迫因子。污染条件下植物叶受害的研究过去多侧重在症状观察、形态结构、生长以及生理生化参数的变化之上,很少探讨叶片热值在污染胁迫下的变化及其生物学意义。我们分别对污染环境和相对清洁环境下植物幼苗叶片热能进行研究,以期阐明污染胁迫下不同植物叶片生物潜能的变化特点,尝试性地探讨利用热值指示植物遭受污染受害的可行

性和有效性,希望为抗污染植物的筛选提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

选择中国科学院华南植物园为相对清洁环境,陶瓷工业发达、企业分布密集的佛山市南海区南庄镇为污染环境。两个试验点地理位置接近,都属亚热带季风气候。南海区陶瓷工业释放出来的硫化物和氟化物等污染成分已对当地植被产生了严重的危害<sup>[23]</sup>。试验点 6-11 月的大气成分监测按照文献<sup>[24]</sup>的方法进行,监测结果见图 1。比较两地大气质量状况,发现南庄的硫酸盐化速率在生长季节内(6-9 月)的平均值为  $9.02 \text{ mg SO}_3 100 \text{ cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ,是同期植物园的 56 倍,且远超过国家二级标准( $0.25 \text{ mg SO}_3 100 \text{ cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )的水平。南庄大气中氟化物含量在生长季节内的平均值为  $57.71 \text{ } \mu\text{g F } 100 \text{ cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ,是同期植物园的 20 倍,国家排放二级标准的 19 倍。可见,两个试验点大气污染程度存在明显差异。

### 1.2 植物材料

试验材料为复羽叶栎树 (*Koelreuteria bipinnata*)、华润楠 (*Machilus chinensis*)、环榕 (*Ficus annulata*)、仪花 (*Lysidice rhodostegia*)、乐昌含笑 (*Michelia chapensis*)、小叶榕 (*Ficus microcarpa*)、火焰木 (*Spathodea campanulata*)、铁冬青 (*Ilex rotunda*)、红花油茶 (*Camellia semiserrata*) 9 种珠江三角洲常用的绿化植物实生苗。2002 年春季从佛山林业科学研

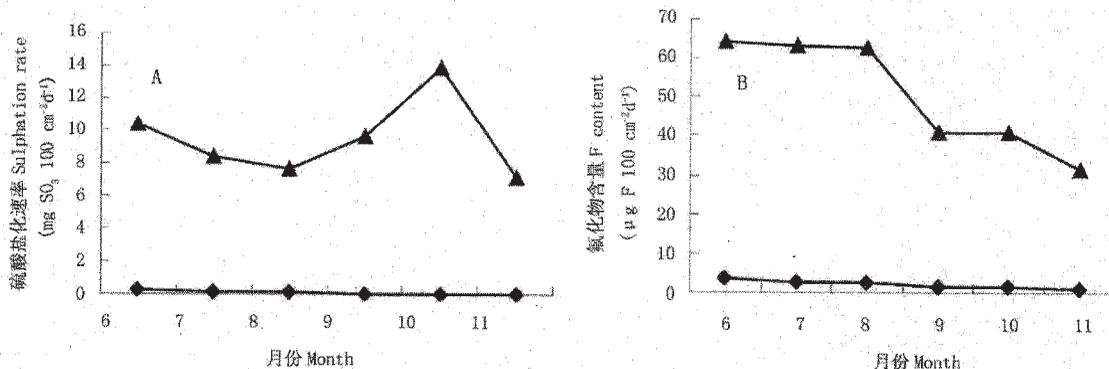


图 1 植物园(◆)和南庄(▲) 6-11 月大气质量监测结果

Fig. 1 The sulphation rate of atmospheric S (A) and the content of atmospheric F (B) at Botanical Garden (◆) and Nanzhuang (▲) from June to November 2002

研究所苗圃地选择 1 a 生带土袋苗进行盆栽,3 月上旬将盆栽苗放置在 2 个试验点上,同种植物苗龄、地茎、苗高和冠幅基本一致,每个试验点上每种植物布置 4-5 盆。试验期间所有树种水肥管理措施一致,定期进行生物学特性观测和生理学指标测定。2002 年 6 月(代表湿季)和 11 月(代表干季)分别在相应植物苗冠按不同层次和方位均匀采集健康、成熟功能叶混合,用湿润洁净纸张擦净叶面灰尘装入塑料袋带回实验室,在 105℃杀青 10 min 后,65℃烘干至恒重,粉碎,两次采样均匀混合装入玻璃瓶中备用。

### 1.3 测定方法

干重热值(Gross caloric value, GCV)的测定:样品经 65℃烘 12 h 后,称取 1.0000 g 左右粉末用压片机压成药片状,用美国 PARR 仪器公司生产的 1281 型氧弹热值仪测定。每个样品重复 3 次,以测定值不超过 0.200 kJ g<sup>-1</sup> 为标准,否则重新称样测定,取 3 次平均值。每次测定时用仪器配备苯甲酸进行标定,测定环境用空调控温于 20℃左右。

植物灰分含量测定用干灰化法进行测量,即干燥样品称重后用马福炉 600℃灰化 6 h,测定重量,计算灰分含量,并求算样品去灰分热值(Ash-free caloric value, AFCV)<sup>[25]</sup>。

叶片 C 含量用重铬酸钾-硫酸氧化法<sup>[26]</sup>测量, N 含量用凯氏定氮法<sup>[26]</sup>测量,计算各种类叶片 C/N 比。

## 2 结果

### 2.1 复合污染梯度下植物叶片的热值

我们以植物园试验种类幼苗叶片热值作为该物种的基础干重热值。从图 2A、B 可以看出,9 种植物的基础干重热值和去灰分热值在硫和氟复合污染下的变化趋势几乎完全相同。根据植物叶片在植物园和南庄的干重热值和去灰份热值,9 种植物可分成 3 种类型:第 1 种类型是植物幼苗叶片的基础干重热值低于污染胁迫下的干重热值。这类植物有复羽叶栎树、华润楠、铁冬青,污染条件下叶片干重热值分别比基础干重热值高 11.0%、1.8%和 3.4%;第 2 种类型是植物叶片的基础干重热值高于污染胁迫下叶片的干重热值,如仪花、乐昌含笑、小叶榕、火焰木、红花油茶,南庄幼苗叶片基础干重热值分别比植物园低 7.1%、1.5%、4.8%、2.5%和 3.8%;第 3 种类型是叶片的干重热值在两种环境下变化不大,如环榕在植物园为 18.50 kJ g<sup>-1</sup>,南庄

为 18.43 kJ g<sup>-1</sup>,相差不到 0.4%。根据植物叶片两种环境下干重热值的相对差异,可以将这 9 种植物对硫和氟复合污染物的响应分为 3 类:对硫和氟复合污染不敏感的植物(相对差异小于 1%),如环榕;对污染中度敏感的植物(相对差异在 1%-5%),如华润楠、乐昌含笑、火焰木、小叶榕和红花油茶;高度敏感植物(相对差异大于 5%),如复羽叶栎树、仪花。9 种植物叶片的基础干重热值的变化趋势也基本一致,不同生长环境下的相对差异基本相同,仅乐昌含笑和火焰木的差异缩小了(分别由 1.5%变为 0.24%,2.5%变为 0.25%),而铁冬青的却扩大(由 3.4%变为 6%)。

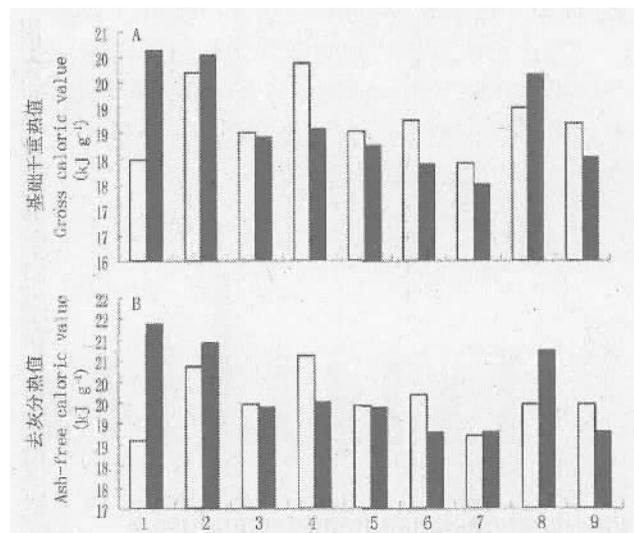


图 2 植物园(□)和南庄(■)9种植物幼苗叶片的基础干重热值(A)和去灰份热值(B)

Fig. 2 Leaf gross caloric values (A) and ash-free caloric values (B) in the leaves of the seedlings of 9 species grown in the Botanical Garden (□) and Nanzhuang (■)

1. 复羽叶栎树 *Koelreuteria bipinnata*; 2. 华润楠 *Machilus chinensis*; 3. 环榕 *Ficus annulata*; 4. 仪花 *Lysidice rhodostegia*; 5. 乐昌含笑 *Michelia chapensis*; 6. 小叶榕 *Ficus microcarpa*; 7. 火焰木 *Spathodea campanulata*; 8. 铁冬青 *Ilex rotunda*; 9. 红花油茶 *Camellia semiserrata*. 图 3 同。The same as Fig. 3.

### 2.2 相同环境下不同植物叶片的热值

在植物园,9 种植物幼苗叶片的干重热值大小为:仪花(19.87 kJ g<sup>-1</sup>)>华润楠(19.70 kJ g<sup>-1</sup>)>铁冬青(19.00 kJ g<sup>-1</sup>)>小叶榕(18.78 kJ g<sup>-1</sup>)>红花油茶(18.69 kJ g<sup>-1</sup>)>乐昌含笑(18.56 kJ g<sup>-1</sup>)>环榕(18.50 kJ g<sup>-1</sup>)>复羽叶栎树(18.00 kJ g<sup>-1</sup>)>火焰木(17.93 kJ g<sup>-1</sup>)。大于 19.00 kJ g<sup>-1</sup> 的有仪花、华润楠和铁冬青 3 种,介于 18.00-19.00 kJ g<sup>-1</sup> 的有小叶榕、红花油茶、乐昌含笑、环榕和复羽叶栎树 5 种,小于 18.00 kJ g<sup>-1</sup> 的仅火焰木 1 种;而在南庄,叶片干重热

值的大小顺序为:复羽叶栎树(20.14 kJ g<sup>-1</sup>)>华润楠(20.04 kJ g<sup>-1</sup>)>铁冬青(19.67 kJ g<sup>-1</sup>)>仪花(18.56 kJ g<sup>-1</sup>)>环榕(18.43 kJ g<sup>-1</sup>)>乐昌含笑(18.28 kJ g<sup>-1</sup>)>小叶榕(17.91 kJ g<sup>-1</sup>)>火焰木(17.50 kJ g<sup>-1</sup>)。复羽叶栎树、华润楠和铁冬青幼苗叶片的热值较高,仪花、乐昌含笑和环榕幼苗叶片热值属于中等水平,而小叶榕和火焰木幼苗叶片热值则较低。相同环境下植物叶片的去灰份热值大小与基础干重热值基本相同。表明大气污染对植物幼苗叶片生理功能的影响反映到植物叶片对太阳能的固定效率上,也即植物叶片的光合作用、呼吸作用等一系列生理活动都不同程度地受到了污染物的影响。

### 2.3 不同生长环境下植物叶片的灰分含量

图 3 可以看出,植物叶片灰分含量因物种而异,不同环境下同一植物叶片灰分含量存在差异。除环榕和红花油茶外,对照点其余 7 种植物叶片的灰分含量均低于污染条件下的。

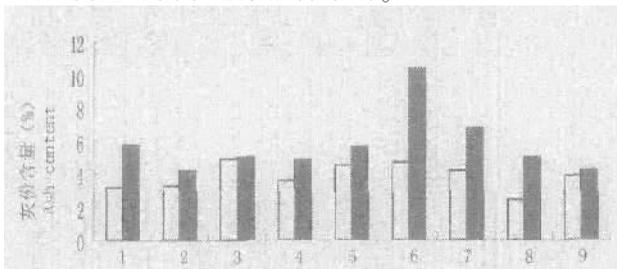


图 3 植物园(□)和南庄(■)9种植物的叶片灰分含量

Fig. 3 Leaf ash content of 9 species at Botanical Garden (□) and Nanzhuang (■)

洁净条件下不同植物叶片灰分含量的大小顺序为:环榕(4.9%)>小叶榕(4.7%)>乐昌含笑(4.3%)>火焰木(4.2%)>红花油茶(3.9%)>仪花(3.6%)>华润楠(3.3%)>复羽叶栎树(3.2%)>铁冬青(2.4%);在污染区为:小叶榕(10.6%)>火焰木(6.8%)>复羽叶栎树(5.8%)>

乐昌含笑(5.6%)>铁冬青(5.1%)>环榕(4.9%)>仪花(4.8%)>华润楠(4.2%)>红花油茶(4.1%)。两种环境下叶片灰分含量相差较大的是小叶榕、火焰木、铁冬青和复羽叶栎树,显著性检验表明这种差异达到 0.05 的显著水平,即生长环境的不同是造成这种差异的主要原因。相差较小的是乐昌含笑、仪花和华润楠,环榕和红花油茶基本没有差异。

### 2.4 热值与 C/N、N 含量和灰分含量的相关性

对照点 9 种植物叶片的 C/N 值都明显高于在污染环境下的(表 1),表明在污染条件下,植物叶片固定 C 的能力(或效率)要小于洁净条件下的。但是当植物叶片的 C/N 值最大时,叶片的去灰分热值并不表现出最高值,说明植物的去灰分热值并不随着 C/N 的增大而升高。通过比较不同污染环境下植物去灰分热值与叶片 C/N 比、灰分含量和 N 含量的 Pearson 相关性,发现在植物园,去灰分热值与 C/N 和灰分含量的 Pearson 相关系数分别为 -0.33(显著值为 0.385)和 -0.049(显著值为 0.105),在南庄的相关系数为 -0.25(显著值为 0.503)和 -0.583(显著值为 0.503)。可见去灰分热值与这些因子有轻微的相关性,但都没有达到显著相关水平。

## 3 讨论

已有的研究认为植物叶片热值的变化能反映植物组织生命活动、生长状况的差异以及各种环境因子对植物生长的影响,是评价植物生长状况的一个有效指标<sup>[1]</sup>,而且,从本质上讲,热值是被测样品有机化合物组成及其含量的综合反映<sup>[2]</sup>。因此植物热值是评价植物化学能累积效率高低的指标。

本研究中 9 种植物幼苗叶片热值与任海等<sup>[19]</sup>对

表 1 9 种植物幼苗叶片热值、C/N 和灰分含量

Table 1 Ash-free caloric values (AFCV), C/N ratio and ash contents in seedling leaves of nine species

植物 Species	植物园 Botanical Garden			南庄 Nanzhuang		
	去灰份热值 AFCV(kJ g <sup>-1</sup> )	C/N 比 C/N ratio	灰分(%) Ash	去灰份热值 AFCV(kJ g <sup>-1</sup> )	C/N 比 C/N ratio	灰分(%) Ash
复羽叶栎树 <i>Koelreuteria bipinnata</i>	18.60	21.0	3.2	21.38	15.7	5.8
华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	20.37	29.2	3.2	20.94	20.5	4.3
环榕 <i>Ficus annulata</i>	19.47	29.9	4.9	19.40	29.7	4.9
仪花 <i>Lysidice rhodostegia</i>	20.61	24.7	3.6	19.50	19.8	4.8
乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	19.43	29.6	4.3	19.39	19.9	5.6
小叶榕 <i>Ficus microcarpa</i>	19.71	23.7	4.7	17.81	23.0	10.6
火焰木 <i>Spathodea campanulata</i>	18.72	21.6	4.2	18.78	16.3	6.8
铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>	19.48	30.3	2.4	20.72	26.1	5.1
红花油茶 <i>Camellia semiserrata</i>	19.46	33.6	3.9	18.79	28.8	4.2

南亚热带鼎湖山 37 种主要植物叶片热值一致。在不同生长环境下叶片热值表现出 3 种类型,这除了和植物自身生物学特性有关外,还与植物的抗污染能力密切相关。不同环境下植物叶片热值相对波动大小与其对该类污染物的抗性有关。温达志等<sup>[27]</sup>的研究结果表明,复羽叶栎树和仪花对氟和硫大气复合污染物比较敏感。叶片热值出现大幅度的上升或下降,这是因为该类植物在逆境下为了避免水分丧失的同时又降低光合作用,必须消耗大量的能量,或为增强对污染的抵抗力而在叶片累积能量丰富的化合物。植物叶片热值在不同环境下出现波动是叶片对氟和硫复合污染生境作出的防御性反应。环榕叶片热值在两种环境下几乎不变,这与其对氟和硫复合污染具有较高的抵抗力密切相关,在污染环境下,其光合作用、呼吸作用、水分利用效率基本没有发生较大的波动<sup>[27]</sup>。对污染物中度敏感的植物,如红花油茶、铁冬青、华润楠、火焰木、小叶榕<sup>[28]</sup>,其叶片热值的波动介于高敏感和低敏感物种之间。已有研究证实植物叶片热值与叶片光合作用、呼吸作用等生理活动有关<sup>[17,18]</sup>,环境污染已导致单位面积叶片所合成的高能有机化合物出现变化,因此,叶片热值可作为植物对氟和硫复合污染的敏感性指标加以利用。

经显著性检验发现,本研究中常绿树种幼苗的叶片热值均高于落叶树种(复羽叶栎树和火焰木),与 Bliss<sup>[4]</sup>对不同生态类型植物叶片热值的研究结果一致。

在比较不同生境中植物器官的能量时,去掉灰分才能准确测得单位物质所含的能量,因为灰分在热值测定中不起作用<sup>[29]</sup>。去灰份热值能够排除植物中夹带的土壤对植物热值的影响,比干重热值能更好地反映植物的能量属性<sup>[30]</sup>。植物灰分含量的高低与植物吸收元素量有关,林益明等<sup>[31]</sup>研究表明竹类植物叶灰分含量对植物叶片热值有一定的影响。本研究表明,除环榕和红花油茶外,其余 7 种物种叶片灰分含量都是在污染环境高,可能是硫化物和氟化物从叶片气孔大量进入叶片组织中,从而造成了叶片灰分含量的增大。对植物叶片进行元素分析发现,南庄点植物幼苗叶片中硫和氟的含量大大超过植物园幼苗叶片中的含量<sup>[32]</sup>,也证实了这一点。

#### 参考文献

[1] Sun G F(孙国夫), Zheng Z M(郑志明), Wang Z Q(王兆骞). Dynamic of caloric values of rice [J]. J Ecol (生态学杂志), 1993, 12(1):1-4. (in Chinese)

- [2] Lin G H(林光辉), Lin P(林鹏). The change of caloric values of a mangrove species *Kandelia candel* in China [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 1991, 11(1):44-48. (in Chinese)
- [3] Long F L. Application of calorimetric methods to ecological research [J]. Plant Physiol, 1934, 9(2):323-327.
- [4] Bliss L C. Caloric value and lipid content in alpine tundra plants [J]. Ecology, 1962, 43:753-757.
- [5] Hadley E B, Bliss L C. Energy relationships of alpine plants of Mt. Washington, New Hampshire [J]. Ecol Mono, 1964, 34(3):331-357.
- [6] Yang F T(杨福国), He H J(何海菊). A preliminary study on caloric values of common plants in alpine meadow [J]. Acta Phytoecol Geobot Sin (植物生态学与地植物学丛刊), 1983, 7(4):280-287. (in Chinese)
- [7] Lin P(林鹏), Lin G H(林光辉). Study on the caloric value and ash content of some mangrove species in China [J]. Acta Phytoecol Geobot Sin (植物生态学与地植物学学报), 1991, 15(2):114-120. (in Chinese)
- [8] Liu S R(刘世荣), Wang W Z(王文章), Wang M Q(王明启). The characteristics of energy in the formative process of net primary productivity of larch artificial forest ecosystem [J]. Acta Phytoecol Geobot Sin (植物生态学和地植物学学报), 1992, 16(3):209-219. (in Chinese)
- [9] Wen D Z(闻大中). Study of energetics of agroecosystems in Northeastern China, II: Energy utilization in major crop system in northeastern plain of China [J]. J Ecol (生态学杂志), 1986, 5(5):6-12. (in Chinese)
- [10] Wang F T(王方桃). Primary study on the energy coefficient of energy flow accounting in the agroecosystems of plain area [J]. J Ecol (生态学杂志), 1984, 3(6):44-46. (in Chinese)
- [11] Xie P T(谢甫缙), Dong Z(董钻), Zhao Y X(赵艺新). The relationship between the drought-resistant and energy status in soybean varieties [A]. In: Chinese Agronomy Association (中国农学会). Proceedings of Second National Youth Agronomist Conferences [C]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. 393-395. (in Chinese)
- [12] Bi Y F(毕玉芬), Che W G(车伟光). Studies on the caloric value of *Medicago* populations [J]. Acta Agrest Sin (草地学报), 2002, 10(4):265-269. (in Chinese)
- [13] Zu Y G(祖元刚). An Introduction to Energy Ecolog [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1990.
- [14] Liu S R(刘世荣), Cai T J(蔡体久), Chai Y X(柴一新), et al. Energy accumulation, distribution, fixation and transformation in man-made larch forest communities [J]. J Ecol (生态学杂志), 1990, 9(6):7-10. (in Chinese)
- [15] Huang S N(黄世能), Zheng H S(郑海水), He K J(何克军). Studies on the mixed fuelwood of *Eucalyptus* II: the allocation of biomass and energy in the stands [J]. For Res (林业科学研究), 1991, 4(5):545-549. (in Chinese)
- [16] Lin C C(林承超). Caloric values and nutrient composition of the leaves of monsoon evergreen broad-leaved forest and some forest-edge plants on Gushan Mountain in Fuzhou [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 1999, 19(6):832-836. (in Chinese)

- [17] Lin P (林鹏), Shao C (邵成), Zheng W J (郑文教). Study on the caloric values of dominating plants in a subtropical rain forest in Hexi of Fuzhou[J]. Acta Phytoecol Sin (植物生态学报), 1996, 20(4):303–309. (in Chinese)
- [18] Li Y D (李意德), Wu Z M (吴仲民), Zeng Q B (曾庆波), et al. Caloric values of main species in a tropical mountain rain forest at Jianfengling, Hainan island [J]. Acta Phytoecol Sin (植物生态学报), 1996, 20(1):1–10. (in Chinese)
- [19] Ren H (任海), Peng S L (彭少麟), Liu P X (刘鹏先), et al. The caloric values of main plant species at Dinghushan, Guangdong, China [J]. Acta Phytoecol Sin (植物生态学报), 1999, 23(2): 148–154. (in Chinese)
- [20] Lin Y M (林益明), Lin P (林鹏), Li Z J (李振基). Study on energy of *Castanopsis eyrie* community in Wuyi Mountains of Fujian Province [J]. Acta Bot Sin (植物学报), 1996, 38(12):989–994. (in Chinese)
- [21] Wang W Q (王文卿), Ye Q H (叶庆华), Wang X M (王笑梅), et al. Impact of substrate salinity on caloric value, energy accumulation and its distributions in various organs of *Bruguiera gymnorrhiza* seedlings [J]. Chin J Appl Ecol (应用生态学报), 2001, 12(1):8–12. (in Chinese)
- [22] Yang S C (杨盛昌), Li Y B (李云波), Lin P (林鹏). Change of leaf caloric value from *Avicennia marina* and *Aegiceras corniculatum* mangrove plants under cold stress [J]. J Oceanogr Taiwan Strait (台湾海峡), 2003, 22(1):46–51. (in Chinese)
- [23] Wen D Z (温达志), Kuang Y W (旷远文), Liu S Z (刘世忠), et al. Vegetation damage by long-term air pollution at a rural site in the Pearl River Delta in south China [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11(4):386–392. (in Chinese)
- [24] Urban and County Construction and Environmental Bureau (城乡建设和环境保护局). Methods of Environmental Monitoring and Analysis [M]. Beijing: Chinese Environmental Science Publication House, 1986. (in Chinese)
- [25] Lin Y M (林益明), Ke L N (柯莉娜), Wang Z C (王湛昌), et al. Seasonal changes in the caloric values of the leaves of seven mangrove species at Futian, Shenzhen [J]. Acta Oceanol Sin (海洋学报), 2002, 24(3):112–118. (in Chinese)
- [26] Dong M (董鸣). Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities [M]. Beijing: Standards Press of China, 1996.
- [27] Wen D Z (温达志), Lu Y D (陆耀东), Kuang Y W (旷远文), et al. Ecophysiological responses and sensitivity of 39 woody species exposed to air pollution [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11(4):341–347. (in Chinese)
- [28] Kong G H (孔国辉), Chen H T (陈宏通), Liu S Z (刘世忠), et al. Responses of garden greening plants to air pollution in Guangdong province and the accumulation of pollutants in leaves [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11(4): 297–315. (in Chinese)
- [29] Reiniers W A. Comparison of oxygen-bomb combustion with standard ignition techniques for determining total ash [J]. Ecology, 1972, 53:132–136. (in Chinese)
- [30] Golley F B. Caloric value of wet tropical forest vegetation [J]. Ecology, 1969, 50(3):517–519.
- [31] Lin Y M (林益明), Li Z B (黎中宝), Chen Y Y (陈奕源), et al. Caloric values of leaves of some bamboo species in the bamboo garden of Hua'an county, Fujian [J]. Chin Bull Bot (植物学通报), 2001, 18(3):356–362. (in Chinese)
- [32] Zhang D Q (张德强), Chu G W (褚国伟), Yu Q F (余清发), et al. Decontamination ability of garden plants to absorb sulfur dioxide and fluoride [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11(4):336–340. (in Chinese)