

Energy Structure of Dominant Species in Broad-leaved Korean Pine Forest

Qige Qi, Yanchun Liu, Qichang Zhang

Forestry College of Beihua University, Jilin City, P.R. China, 132013

Email: sunqqg@sina.com

Abstract: Gross caloric value, ash content, ash-free caloric value and total standing crop of energy of five species in broad-leaved Korean pine forests were studied by the quick determination method of ash content and the determination method of caloric values. Results showed that the ash content in leaves, branches, stems, roots and barks were 2.12%-7.30%, 1.87%-7.45%, 0.52%-3.42%, 1.05%-6.53% and 2.28%-6.87%, respectively. The ash-free caloric values in leaves, branches, stems, roots and barks were 18.15-20.21 kJ·g⁻¹, 19.48-20.78 kJ·g⁻¹, 18.66-19.44 kJ·g⁻¹, 17.90-19.58 kJ·g⁻¹ and 17.14-20.05 kJ·g⁻¹, respectively. The differences in ash content, ash-free caloric value are significant between different organs of five species of broad-leaved Korean pine forests ($P<0.01$). The total standing crop of energy was 123.04×10^8 kJ·hm⁻² in broad-leaved Korean pine forests, the order from large to small was *Pinus koraiensis* (67.16×10^8 kJ·hm⁻²), account for 54.59%. *Tilia amurensis* (48.5×10^8 kJ·hm⁻²), account for 39.42%. *Acer mono* (3.14×10^8 kJ·hm⁻²), account for 2.55%. *Quercus mongolica* (2.99×10^8 kJ·hm⁻²), account for 2.43% and *Betula platyphylla* (1.25×10^8 kJ·hm⁻²), account for 1.02%.

Keywords: broad-leaved Korean pine forest; ash content; ash-free caloric value; energy structure

阔叶红松林优势树种能量结构的研究

其其格, 刘延春, 张启昌

北华大学林学院, 吉林市, 中国, 132013

Email: sunqqg@sina.com

摘 要: 采用快速灰化法、量热法对长白山阔叶红松林 5 种树种的灰分含量、热值、去灰分热值和能量现存量进行研究。结果表明: 不同器官的灰分含量为树叶 2.12%~7.30%, 树枝 1.87%~7.45%, 干 0.52%~3.42%, 根 1.05%~6.53%, 皮 2.28%~6.87%; 去灰分热值为树叶 18.15~20.21 kJ·g⁻¹, 树枝 19.48~20.78 kJ·g⁻¹, 干 18.66~19.44 kJ·g⁻¹, 根 17.90~19.58 kJ·g⁻¹, 皮 17.14~20.05 kJ·g⁻¹。5 种树种不同器官的灰分含量和去灰分热值差异均极显著 ($P<0.01$)。红松阔叶林中 5 种树种能量现存总量为 123.04×10^8 kJ·hm⁻², 其中红松最大 67.16×10^8 kJ·hm⁻², 占总量的 54.59%, 其次为紫椴 48.5×10^8 kJ·hm⁻², 占总量的 39.42%, 色木槭和蒙古栎分别为 3.14×10^8 kJ·hm⁻² 和 2.99×10^8 kJ·hm⁻², 分别占整个林分总量的 2.55% 和 2.43%, 白桦最小 1.25×10^8 kJ·hm⁻², 占总量的 1.02%。

关键词: 阔叶红松林; 灰分含量; 去灰分热值; 能量结构

1 引言

能量是生态学功能研究中的基本概念之一, 能量及能流效率与过程是近代生态学研究的重要课题。植物热值是植物含能产品能量水平的一种度量, 是衡量植物体生命活动及组成成分的指标之一, 可作为植物生长状况的一个有效指标, 是评价生态系统及其组成的能量固定、转化和利用效率的基础^[1]。自 Long^[2]于

20 世纪 30 年代首先较系统地开展了植物热值研究以来, 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。我国在这方面的研究虽然起步较晚, 但也开展了大量的研究工作, 从上世纪七十年代开始国内学者对草地^[3], 高寒草原^[4], 森林^[5,6], 农田^[7], 竹林^[8], 水生植物^[9]等的热值进行了研究。国内外学者对森林植物热值的研究主要涉及热带雨林、亚热带及暖温带森林植物, 有关长白山红松阔叶林优势树种热值系统的研究还未见报道。系统研究森林植物热值及能量

吉林省重大科技发展计划项目 (吉科合字 20075012)。

现存量对于提高森林生态系统中物质循环和能量转化效率、开发利用生物质资源,具有十分重要的意义^[10]。本研究从能量的角度认识阔叶红松林主要树种的特性,旨在为长白山阔叶红松林的保护、经营管理提供理论依据,同时为长白山生态系统能流研究提供基础资料。

2 材料与方法

2.1 研究地概况及标准地的设置

研究地点位于长白山自然保护区内的阔叶红松林带,地理位置为 127°33'~128°16' E, 41°42'~42°45' N, 年平均气温在 0.9~4.0 °C, 年雨量 630~780 mm, 海拔 500~1100 m, 林分郁闭度 0.9, 土壤类型为暗棕色森林土。该林分结构为复层混交异龄林, 林分结构为 3 红松(*Pinus koraiensis*)+3 紫椴(*Tilia amurensis*)+1 色木槭(*Acer mono*)+1 蒙古栎(*Quercus mongolica*)+1 水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)+其它, 林分总株数 300~400 株·hm⁻²。蓄积量为 400~500 m³·hm⁻², 灌木层盖度 0.4, 草本层盖度可达 0.8^[11]。

在样带中设立 25 m × 25 m 标准地 3 块, 在每块标准样地内按树种进行每木检尺, 选择与平均木相近的健康树木 6~8 株作为取样标准木。

2.2 采样

本文主要以红松、蒙古栎、紫椴、色木槭和白桦为研究对象, 分别取所选标准木的叶、枝、干、根和皮。树叶按树冠从上到下分 3 层, 按比例取样后混合均匀; 树枝考虑东、西、南、北四个方位, 按比例取样; 树皮和树干在标准木距地面 1.3 m 处用取样; 树根分为主根和侧根按比例混合均匀后再进行取样。

2.3 测定方法和数据分析

采集回来的实验材料首先在 105 °C 烘箱下杀青 3 h, 之后在自然状态下风干 1 周, 再拿到 70 °C 烘箱中烘干 72 h, 再将植物样放入植物粉碎机中粉碎, 粉碎后的植物样过 0.2 mm 筛备用。根据中华人民共和国林业行业标准 LY/T 1268—1999《森林植物与森林枯枝落叶层粗灰分的测定》, 采用干灰化法进行灰分含量的测定。利用江苏鹤壁天宇仪器有限公司生产的 ZDHW-2000 微机全自动量热仪, 采用量热法测定干重热值 (每样品重复测定 5 次, 取平均值)。根据试样干重热值和灰分含量, 计算试样去灰分热值: 去灰分热值=干重热值/(1-灰分含量)。

根据陈传国等^[12]关于长白山阔叶林红松主要树种的叶、枝、干、根、皮和总生物量与其胸径和树高的相关关系公式 $W=a(D^2H)^b$ 和 $W=aD^b$ (W : 生物量 D : 胸径 H : 树高), 直接推算样地内 5 种优势树种的生物量。用各树种器官的去灰分热值乘以相应生物量可得到能量现存量。

所测数据用 SPSS13.0 软件进行方差分析 (ANOVA), 用 Tukey 法进行多重比较。文中数据以平均值和标准误 (Mean±SE) 表示。

3 结果与分析

3.1 热值的研究

3.1.1 灰分含量

5 种优势树种不同器官的灰分含量为: 树叶 2.12%~7.30%, 树枝 1.87%~7.45%, 干 0.52%~3.42%, 根 1.05%~6.53%, 皮 2.28%~6.87% (见表 1)。不同器官对灰分含量的影响均达极显著水平 ($p<0.01$), 说明不同器官间的灰分含量差异很大。从 5 种树种加权平均灰分含量的角度分析, 从高到低依次为: 色木槭 (4.51%) > 紫椴 (3.22%) > 白桦 (2.44%) > 蒙古栎 (1.65%) > 红松 (1.19%)。

Table 1. Gross caloric value, ash content, ash-free caloric value of five species in broad-leaved Korean pine forests

表 1 阔叶红松林 5 种优势树种各器官的干重热值、灰分含量、去灰分热值

树种	构件	干重热值 (kJ·g ⁻¹)	灰分含量 (%)	去灰分热值 (kJ·g ⁻¹)
红松	叶	19.78±0.11 ab	2.12±0.07 bB	20.21±0.11
	枝	20.29±0.07 aA	1.87±0.17 bcBC	20.68±0.08
	干	19.06±0.18 cC	0.93±0.07 cC	19.24±0.16
	根	19.37±0.35 bc	1.05±0.18 bcC	19.57±0.36
	皮	19.52±0.22 abc	2.28±0.25 aA	19.98±0.23
	加权平均	19.22±0.20	1.19±0.09	19.45±0.21
色木	叶	18.24±0.21 abB	5.36±0.04 bcBC	19.27±0.22
	枝	18.99±0.29 aA	7.45±0.15 aA	20.52±0.18
	干	18.42±0.09 ab	3.42±0.07 cC	19.07±0.09
	根	17.59±0.13 cC	6.53±0.14 abB	18.82±0.13
	皮	16.18±0.03 dD	6.87±0.91 abAB	17.37±0.04
	加权平均	18.05±0.26	4.51±0.84	18.90±0.24
紫椴	叶	17.36±0.04 cC	4.39±0.94 aB	18.15±0.04

蒙古栎	枝	20.10±0.37 aA	3.24±0.02 bC	20.78±0.37
	干	18.90±0.13abAB	2.74±0.16 bC	19.44±0.13
	根	17.60±0.04 cC	4.02±0.05 abB	18.34±0.05
	皮	16.24±0.06 cC	5.23±0.17 aA	17.14±0.06
	加权平均	18.54±0.36	3.22±1.24	19.16±0.37
	叶	17.98±0.12 bB	7.30±0.45 aA	19.39±0.13
	枝	19.32±0.03 aA	2.67±0.05 bB	19.85±0.03
	干	19.13±0.02 aA	0.52±0.02 cC	19.23±0.03
	根	18.01±0.06 bB	2.57±0.04 bB	18.49±0.06
	皮	17.84±0.12 bB	5.30±0.09 aAB	18.84±0.13
白桦	加权平均	18.86±0.13	1.65±0.08	19.18±0.14
	叶	18.84±0.04 ab AB	5.39±0.26 aA	19.92±0.04
	枝	18.95±0.04abAB	2.73±0.31 cC	19.48±0.05
	干	18.29±0.22 bB	2.00±0.10 cC	18.66±0.12
	根	17.46±0.12 cC	2.43±0.20 cC	17.89±0.12
	皮	19.20±0.10 aA	4.23±0.54 bB	20.04±0.10
	加权平均	18.33±0.29	2.44±0.38	18.79±0.28

注：表 1 中数据为 20 个样本的平均值；同列中字母不同则差异显著，大、小写字母分别表示 0.01 和 0.05 水平的差异显著性，下同。

3.1.2 去灰分热值

从表 1 可知，不同树种相同器官的去灰分热值具有差异，而同一树种各器官的去灰分热值也不尽相同，但具体情况与干重热值情况基本相同。红松各器官的去灰分热值由大到小的顺序为：枝>叶>皮>根>干，蒙古栎各器官的去灰分热值由大到小的顺序为：枝>叶>干>皮>根，白桦各器官的去灰分热值由大到小顺序为：皮>叶>枝>干>根，紫椴各器官的去灰分热值由大到小顺序为：枝>干>根>叶>皮，色木槭各器官的去灰分热值由大到小顺序也为：枝>干>叶>根>皮，通过以上分析可以看出，除白桦外其他四种植物枝干的热值要大于根和皮。比较不同植物相同器官的去灰分热值发现，从叶的角度，去灰分热值最高的为红松，其次为白桦和蒙古栎，具体情况如下：红松(20.21 kJ·g⁻¹)>白桦(19.92 kJ·g⁻¹)>蒙古栎(19.40 kJ·g⁻¹)>色木槭(19.27 kJ·g⁻¹)>紫椴(18.15 kJ·g⁻¹)；从枝的角度，去灰分热值最高的为紫椴，其次为红松和色木槭，具体情况如下：紫椴(20.78 kJ·g⁻¹)>红松(20.68 kJ·g⁻¹)>色木槭(20.52 kJ·g⁻¹)>蒙古栎(19.85 kJ·g⁻¹)>白桦(19.48 kJ·g⁻¹)；从干的角度，去灰分热值最高的为紫椴，其次为红松和蒙古栎，具体情况如下：紫椴(19.44 kJ·g⁻¹)>红松(19.24 kJ·g⁻¹)>蒙古栎(19.23

kJ·g⁻¹)>色木槭(19.07 kJ·g⁻¹)>白桦(18.66 kJ·g⁻¹)；从根的角度，去灰分热值最高的为红松，其次为蒙古栎和色木槭，具体情况如下：红松(19.58 kJ·g⁻¹)>色木槭(18.82 kJ·g⁻¹)>蒙古栎(18.49 kJ·g⁻¹)>紫椴(18.34 kJ·g⁻¹)>白桦(17.89 kJ·g⁻¹)；从皮的角度，去灰分热值最高的为白桦，其次为红松和蒙古栎，具体情况如下：白桦(20.04 kJ·g⁻¹)>红松(19.98 kJ·g⁻¹)>蒙古栎(18.84 kJ·g⁻¹)>色木槭(17.37 kJ·g⁻¹)>紫椴(17.14 kJ·g⁻¹)。不同器官的去灰分热值均达极显著水平(P<0.01)。从五个树种的加权平均去灰分热值从高到低依次是：红松>蒙古栎>紫椴>色木槭>白桦，红松(19.45 kJ·g⁻¹)最高，最低为白桦(18.79 kJ·g⁻¹)。

3.2 能量现存量的研究

通过对红松阔叶林试验样地上生物量和各组分去灰分热值的测定，求得红松阔叶林内主要树种的能量及能量分配比例情况（见表 2）。

Table 2. Energy distributing of five species in broad-leaved Korean pine forests

表 2 红松阔叶林内优势树种的能量分布 (10⁸ kJ·hm⁻²)

树种	叶	枝	干	根	皮	总能量
红 松	1.23	2.92	46.83	6.46	9.72	67.16
色木槭	0.10	0.17	2.11	0.37	0.39	3.14
紫 椴	0.60	4.40	35.06	2.26	6.18	48.50
蒙古栎	0.08	0.31	1.97	0.31	0.32	2.99
白 桦	0.02	0.05	0.84	0.16	0.18	1.25

从表 2 可知红松阔叶林中能量现存总量为 123.04×10⁸ kJ·hm⁻²，其中红松最大 67.16×10⁸ kJ·hm⁻²，占总量的 54.59%，其次为紫椴 48.50×10⁸ kJ·hm⁻²，占总量的 39.42%，白桦最小 1.25×10⁸ kJ·hm⁻²，占总量的 1.02%。色木槭和蒙古栎分别为 3.14×10⁸ kJ·hm⁻² 和 2.99×10⁸ kJ·hm⁻²，分别占整个林分总量的 2.55%和 2.43%。整个群落现存能量以红松为主，其中干的最大为 46.83×10⁸ kJ·hm⁻²，占整个种群总量的 69.73%，其次为皮和根，分别为 9.72 ×10⁸ kJ·hm⁻² 和 6.46×10⁸ kJ·hm⁻²，占整个种群总量的 14.47%和 9.62%，枝和叶的生物量最少，分别为 2.92 kJ·hm⁻² 和 1.23 kJ·hm⁻²，占整个种群总量的 4.35%和 1.83%。

4 结论与讨论

本研究 5 种优势树种不同器官灰分含量和去灰分

热值的差异均极显著 ($P < 0.01$)。灰分含量为树叶 2.12%~7.30%，树枝 1.87%~7.45%，干 0.52%~3.42%，根 1.05%~6.53%，皮 2.28%~6.87%；干重热值从叶的角度，从高到低依次为红松>白桦>色木槭>蒙古栎>紫椴；从枝的角度，从高到低依次为红松>紫椴>蒙古栎>色木槭>白桦；从干的角度，从高到低依次为蒙古栎>红松>紫椴>色木槭>白桦；从根的角度，从高到低依次为红松>蒙古栎>紫椴>色木槭>白桦；从皮的角度，从高到低依次为红松>白桦>蒙古栎>紫椴>色木槭。去灰分热值从叶的角度，从高到低依次为红松>白桦>蒙古栎>色木槭>紫椴；从枝的角度，从高到低依次为紫椴>红松>色木槭>蒙古栎>白桦；从干的角度，从高到低依次为紫椴>红松>蒙古栎>色木槭>白桦；从根的角度，从高到低依次为红松>色木槭>蒙古栎>紫椴>白桦；从皮的角度，从高到低依次为白桦>红松>蒙古栎>色木槭>紫椴。由此可见，木材的去灰分热值与干重热值高低顺序有些不同。灰分含量的差异是造成干重热值与去灰分热值差异的重要原因，在能量生态学研究时，干重热值在将植物生物量转化成相应的能量是有实用价值的；但是，在对不同植物种类或不同生态环境下的同种植物的热值比较时，应采用去灰分热值以消除灰分含量不同而造成的影响^[13]。

本研究发现，除白桦外其他 4 种优势树种叶、枝、干的去灰分热值要大于根和皮。不同树种对矿质元素吸收与积累的能力各不相同，不同器官对矿质元素吸收与积累的能力也各不相同^[14]。已有的研究表明，植物组分热值的高低，直接受植物体内脂肪、蛋白质和碳水化合物影响。几种含能物质的热值常数分别为：粗蛋白 $22.990 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ，粗脂肪 $38.874 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ，粗纤维 $17.556 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[15]，无氮浸出物 $17.135 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[16]，碳水化合物 $17.991 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[17]。从植物解剖学和植物生理学角度看，叶是植物体生理活动最活跃的器官，植物进行光合作用的场所，含有较多的高能化合物如蛋白质和脂肪等物质；繁殖体花、果实、种子、胚轴等含有大量高能的粗脂肪和蛋白质；干、枝和皮是植物体的支持或营养运输器官，组成以纤维素和木质素为主，纤维素和木质素的热值相对蛋白质和脂肪低；而根部则残留了大量从土壤中吸收的低能的矿物质和氧化物，灰分含量高^[18]。因此，多数植物的叶、繁殖体的干质量热值较高，干、枝、皮的热值其次，根最低^[19,20]。但也有些植物表现出叶的热值低于枝、皮或根的热值，如牛皮桦 (*Betula utilis*)、大叶白颜 (*Kandelia candel*)、

山月桂 (*Gironniera subaequalis*)、绿竹 (*Dendrocalamopsis oldhami*)、金露梅 (*Dasiphora fruticosa*) 表现出枝的热值大于叶的热值^[21]；山黄麻 (*Trema orientalis*)、云南银柴 (*Aporosa yunnanensis*) 等有些短命植物把自己大部分的能量投资到繁殖上，而不是个体生长上，导致它们的叶片具有低热值，表现出枝的热值大于叶的热值^[22]；甜槠 (*Castanopsis eyrei*) 树枝和树皮的热值大于叶的热值，黄山松 (*Pinus taiwanensis*) 树皮的热值大于叶的热值，其原因主要为枝、皮含有较高的高能物质，特别是含有较高的树脂和松节油^[23]。本文中白桦皮的热值高于枝和叶，其原因可能是白桦皮内含有多种多酚类化合物，主要成分有阿魏酸、木质素、儿茶素和表儿茶素等物质^[24]。

红松阔叶林中 5 个优势树种能量现存总量为 $123.04 \times 10^8 \text{ kJ} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，其中红松最大，其次为紫椴，再次为色木槭和蒙古栎，白桦最小。整个群落有较高的能量现存量，与其他群落相比均较高。高于木麻黄人工林林分中能量现存量为 $29.86 \times 10^8 \text{ kJ} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[25]，柞木混交林为 $51.52 \times 10^8 \text{ kJ} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[26]，青冈种群能量现存量为 $9.31 \times 10^8 \text{ kJ} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[27]，毛竹丰产林能量现存量的 $16.16 \times 10^8 \text{ kJ} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[28]。整个群落现存能量以红松为主，其中干的最大为 $46.83 \times 10^8 \text{ kJ} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，各组分能量在群落中所占比例为：干 (69.73%)>皮 (14.47%)>根 (9.62%)>枝 (4.35%)>叶 (1.83%)，这与海岸带木麻黄群落组分热值排列情况基本一致^[29]。

References (参考文献)

- [1] Bao Yajing, Li Zhenghai, Han Xingguo, et al. Plant caloric value and its bioecological attributes[J]. Chinese Journal of Ecology, 25(9): 1095-1103(Ch).
鲍雅静, 李政海, 韩兴国, 等. 植物热值及其生物生态学属性[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1095-1103.
- [2] Long F L. Application of calorimetric methods to ecological research[J]. Plant Physiol. 1934, 9(2): 323-327.
- [3] Chen Zuozhong Zhang Hongfang. The Caloric Value of the Steppe 118 Plants in the Typical Steppe Zone of Inner Mongolia[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1992, 4: P41-48(Ch).
陈佐忠, 张鸿芳. 内蒙古典型草原地带 118 种植物的热值[J]. 草原生态系统研究, 1992, 4: P41-48.
- [4] Yu Yingwen, Hu Zizhi, Zhang Dezhi, et al. Calorific Value and Its Seasonal Dynamics of Dasiphora (Potentilla) Fruticosa in alpine area of Jinjiang River of Tianzhu County[J]. Pratacultural Science, 2000, 17 (2): P1-4(Ch).
于应文, 胡自治, 张德罡. 天祝金强河高寒地区金露梅的热值及其季节动态[J]. 草业科学, 2000, 17(2): P1-4.
- [5] Han Guojun, Cong Guolu, Shen Hailong. Heating Value and Energy Structure of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Plantation (I): the Biomass, Heating Value, Energy Pattern and Distribution of Trees and Understory Vegetations[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2007, 35(6): P21-23(Ch).

- 韩国君, 丛国禄, 沈海龙. 樟子松人工林热值与能量结构分析 (I) [J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(6): P21-23.
- [6] Lin Chengchao. 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 Ecological Sinica, 1999, 19(6): P832-836(Ch).
林承超. 福州鼓山季风常绿阔叶林及其林缘几种植物叶热值和营养成分[J]. 生态学报, 1999, 19(6): P832-836.
- [7] Yang Jinping, Wekesa Boniface, Jiang Ning, et al. Analysis of Climatic Factor Effects on the Caloric Value of Two Rice Varieties under Different Nitrogen Levels[J]. Chinese J Rice Sci, 2001, 15(3): P233-236(Ch).
杨京平, Wekesa Boniface, 姜宁, 等. 不同施氮水平下气象因子对两种水稻热值影响的分析[J]. 中国水稻科学, 2001, 15(3): P233-236.
- [8] Su Zhixian, Zhong Zhangcheng, Liao Yongmei, et al. Studies on the energy of *Neosinocalamus affinis* Clonal Population[J]. Acta Ecological Sinica, 1994, 14(2): P142-147(Ch).
苏智先, 钟章成, 廖咏梅, 等. 慈竹克隆种群能量动态研究[J]. 生态学报, 1994, 14(2): P142-147.
- [9] You Wen Hui, Zhu yongchang. A Study on Energy in Vascular Aquatic Macrophyte Communities in dianshan Lake[J]. Acta Phytocologica Sinica, 1995, 19(3): P208-216(Ch).
由文辉, 宋永昌. 淀山湖水生维管束植物群落能量的研究[J]. 植物生态学报, 1995, 19(3): P208-216.
- [10] Wang Lihai, Sun Molong. Caloric Values and Carbon Contents of Twelve Species of Shrubs in Northeast China[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2007, 36(5): P45-46(Ch).
王立海, 孙墨珑. 东北 12 种灌木热值与碳含量分析[J]. 东北林业大学学报, 2007, 36(5): P45-46.
- [11] Dai Limin, Sun Weizhong, Dong Hongbing, et al. Age Structure of Main Tree Species in Community of Tilia Broadleaf Korean Pine Forest on Northern Slope of Changbai Mountains[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(3): P73-77(Ch).
代力民, 孙伟中, 邓红兵, 等. 长白山北坡椴树阔叶红松林群落主要树种的年龄结构研究[J]. 林业科学, 2002, 38(3): P73-77.
- [12] Chen Chuanguo, Guo Xingfen. Biomass mathematical model of *Pinus koraiensis* Population in Broad-leaved Korean Pine Forest in Changbai Mountain. Liaoning Forestry Science and Technology, 1986, (3): P27-37(Ch).
陈传国, 郭杏芬. 预测阔叶红松林生物量的数学模式[J]. 辽宁林业科技, 1986, (3): P27-37.
- [13] Lin Yipeng, Lin Peng, Wangtong. Guanghui. Caloric values and ash contents of some mangrove woods[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(2): P181-184(Ch).
林益明, 林鹏, 王通. 几种红树植物木材热值和灰分含量的研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): P181-184.
- [14] Li Hesheng. Contemporaneity Plant Physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002(Ch).
李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [15] Bliss L C. Caloric and lipid content in Alpine Tundra plants[J]. Ecology, 1962, 43 (4): P753-757.
- [16] Lieth H, Whittaker R. Primary productivity of the biosphere[M]. New York: Springer-Verlag, 1975, P119-129.
- [17] Sinclair T R. Nitrogen influence on the physiology of crop yield[C]. In: Rabbinge R, Goudrin J, Penning de Vries F W T, et al (Eds.). Theoretical Production Ecology: Reflections and Prospects. Wageningen: Pudoc, 1990, P41-55.
- [18] Bidwell R G S. Trans, Liu F L. Plant Physiology (Volume II) [M]. Beijing: Higher Education Press, 1982: 173-181.
- [19] Chen Meiling Shangguan Zhouping. Caloric Value and Nutrient Characteristics of Dominant Plant Species of Six Typical Vegetation Communities in Ziwlun Forest Area of the Loess Plateau [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(3): P140-144(Ch).
陈美玲, 上官周平. 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[J]. 林业科学, 2009, 45(3): P140-144.
- [20] Zeng Xiaoping, Cai Xian, Zhaoping, et al. Caloric value and ash content of dominant plants in plantation communities in Heshan of Guangdong, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20 (3): P485-492(Ch).
曾小平, 蔡锡安, 赵平, 等. 广东鹤山人工林群落主要优势植物的热值和灰分含量[J]. 应用生态学报, 2009, 20 (3): P485-492.
- [21] Guan Xiaoli, Zhou Xiaoyong, Luo Yan. A Review on the Study of Plant Caloric Value in China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24 (4): P452-457(Ch).
官丽莉, 周小勇, 罗艳. 我国植物热值研究综述[J]. 生态学杂志, 2005, 24 (4): P452-457.
- [22] Qiao Xiujuan, Cao Min, Lin Hua. Caloric Values Allocation of Dominant Species in Four Secondary Forests at Different Ages in Xishuangbanna, Southwest China[J]. Journal of Plant Ecology (Chinese Version), 2007, 31(2): P326-332(Ch).
乔秀娟, 曹敏, 林华. 西双版纳不同林龄次生植物群落优势树种的热值[J]. 植物生态学报, 2007, 31(2): P326-332.
- [23] Lin Yiming, Lin Peng. Caloric Values of Two Edificators in the Typical Plant Communities in Wuyi Mountains[J]. Wuyi Science Journal, 1999, 15: P118-123(Ch).
林益明, 林鹏. 福建武夷山 2 个典型植物群落建群种的热值研究[J]. 武夷科学, 1999, 15: P118-123.
- [24] Liu Zhiqin, Zhang Qiyun, Song Liyang, et al. Study on the anti-fungal activity of the bark and the leaves of *Betula platyphylla* [J]. Tianjin Pharmacy, 2004, 16(3): P3-4(Ch).
刘志芹, 张庆云, 宋丽杨, 等. 白桦皮和白桦叶体外抗真菌作用研究[J]. 天津药学, 2004, 16(3): P3-4.
- [25] Zhang Haiqing, Ye Gongfu, Lin Yiming. Energy of *Casuarina Equisetifolia* Plantation on Degraded Coastal Sand [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(8): P1-6(Ch).
张清海, 叶功富, 林益明. 海岸退化沙地木麻黄人工林能量的研究[J]. 林业科学, 2006, 42(8): P1-6.
- [26] Yang Yusheng, Chen Guangshui, Lin Ruiyu, et al. Energy for Mixed Forest of *Cunninghamia Lanceolata* and *Tsoongiodendron Odorum* [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2001, 7(6): P536-542(Ch).
杨玉盛, 陈光水, 林瑞余, 等. 杉木观光木混交林群落的能量生态[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(6): P536-542.
- [27] Ni Sui. Energy allocation in *Cyclobanops is glauca* population[J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2001, 8(1): P72-75(Ch).
倪穗. 青冈种群的能量分配[J]. 浙江大学学报(理学版)[J], 2001, 8(1): P72-75.
- [28] Lan Bin, Hong Wei, Wu Chengzhen, et al. A Study on the Energy Structure of *Phyllostachy pubescens* Stand. Journal of Fujian College of Forestry, 1999, 19(1): P20-22(Ch).
蓝斌, 洪伟, 吴承祯, 等. 毛竹林群落能量结构研究[J]. 福建林学院学报, 1999, 19(1): P20-22.
- [29] Ye Gongfu, Wu Xilin, Zhang Qinghai, et al. Energy of *Casuarina Equisetifolia* Community on Different Site Along the Coast [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2003, (S1): P1-7(Ch).
叶功富, 吴锡麟, 张清海, 等. 海岸带不同立地木麻黄群落能量研究[J]. 林业科学, 2003, (S1): P1-7.