

四种园林植物的热值与养分特征*

陈美玲^{1,2} 上官周平^{1,2*}

(¹西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100 ²中国科学院水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要 测定了蔷薇科植物美人梅、樱花和木兰科植物白玉兰、广玉兰不同组分的热值、养分和灰分含量, 探讨4种植物不同发育阶段根系、枝干和叶等器官的热值分配特征及其影响因素。结果表明: 4种植物不同组分干质量热值和去灰分热值在 17102~21193 kJ# g⁻¹和 18142~22157 kJ# g⁻¹之间; 叶片和细根具有较高的干质量热值和去灰分热值, 去灰分热值随着根系和茎干(枝)的发育呈减小趋势。美人梅和樱花的干质量热值和去灰分热值总体上高于白玉兰和广玉兰。细根干质量热值和去灰分热值与其养分和灰分含量呈极显著相关(P < 0.01)。随着根系的发育, 干质量热值和去灰分热值与有机碳含量的相关性逐渐降低, 不同器官干质量热值与全氮含量相关性最强。

关键词 干质量热值 去灰分热值 养分

文章编号 1001-9332(2008)04-0747-05 **中图分类号** S718.55⁺4 **文献标识码** A

Characteristics of caloric value and nutrient content of four garden tree species CHEN Meiling^{1,2}, SHANGGUAN Zhouping^{1,2} (¹State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; ²Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, Shaanxi, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2008, 19(4): 747-751.

Abstract In this study the caloric value, nutrient content, and ash content in the stem, leaf and root of four garden tree species *Prunus mume* Meirex, *P. serrulata*, *Magnolia denudata* and *M. grandiflora* were determined to explore the distribution characteristics of caloric value in different tree organs at different development stages and related affecting factors. The results showed that the gross caloric value (GCV) and ash free caloric value (AFCV) in different organs of the tree species ranged from 17102 to 21193 kJ# g⁻¹ and from 18142 to 22157 kJ# g⁻¹, respectively. Leaf and fine root had relatively higher GCV and AFCV than stem, and AFCV had a decreasing trend with the development of stem and root. *P. mume* Meirex and *P. serrulata* had higher GCV and AFCV than *M. grandiflora* and *M. denudata*. Both GCV and AFCV of fine root were significantly correlated with its nutrient and ash contents (P < 0.01). With the development of root, the correlations of GCV and AFCV with organic carbon content declined gradually while the GCV of different organs had the strongest correlation with total nitrogen content.

Key words gross caloric value, ash free caloric value, nutrient

植物的热值与其所生存的生态环境密切相关。植物不同器官热值与营养元素特性的研究是揭示不同植物对环境生态适应性机制的有效途径。植物组分或器官热值的差异不仅与营养物质组成、结构功能和年龄等自身因素有关, 还受光强、日照长短及土

壤理化性质等外界因素的影响^[1-2], 因此, 在衡量不同植物类群或种类间的热值高低时不能仅比较某一重要组分(如叶)^[3]。近年来, 植物热值与营养元素的关系^[4-6], 以及热值在植物不同器官中的分配研究^[7]日益增多, 但大多是按照植物根、茎干、皮、枝和叶等大的组分进行分类, 更为细致的分类研究较少^[8]。蔷薇科和木兰科植物是我国北方重要的绿化和园林美化树种, 在速生用材林、经济林和城乡风景

* 中国科学院/西部之光0行动计划项目(KZCX22XB2205)和西北农林科技大学拔尖人才与创新团队计划资助项目。

** 通讯作者。E-mail: shangguan@ms.iswc.ac.cn

2007205231 收稿, 2008201221 接受。

林的栽培中占有重要地位^[9]。近年来,随着城市化进程的加快,这两种植物在我国西部地区城乡绿化中广泛应用。目前,有关两种植物的资源分类^[10-12]及繁育技术研究较多^[13],尚缺乏对其生理生态特征的适应性差异比较。为此,本文选取4种盆栽阔叶树))美人梅(*Prunus mume* Meiren)、樱花(*P. serrulata*)、白玉兰(*Magnolia denudata*)和广玉兰(*M. grandiflora*)为实验材料,按照不同器官的发育阶段采样,探讨植物体从细根到叶片的能量变化、植物不同组分热值及其主要影响因子,以期从能量角度揭示4种园林植物的生态适应性,为其在西部地区园林绿化中的科学引种和抚育提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

实验地设在中国科学院水土保持研究所揉谷农场控根育苗示范基地苗圃中心。该农场地处陕西省杨凌区(34°18'N, 108°15'E),海拔高度450 m,属暖温带湿润、半湿润气候,年均气温12.19℃,年均10℃积温4143℃,年日照2163 h,年均降水量635 mm,其中5%的降雨集中于7)9月,无霜期228 d。

1.2 供试材料

参试苗木为蔷薇科的美人梅、樱花和木兰科的白玉兰、广玉兰,为苗圃中心2003年春季盆栽于引自澳大利亚的火箭盆中,盆高60 cm,口径37 cm,盆中装有木屑、草炭、松树皮和沙子等混合而成的复合栽培基质,水肥管理一致,在室外自然条件下生长。于2006年8月选择3年生、平均苗高3 m的健康苗木作为实验用材,同种植物树高和冠幅基本一致。每种植物选取长势良好、均等的树苗各3株,共12盆,按照<2 mm根(细根)、2~5 mm根、5~10 mm根、>10 mm根(粗根)、茎干、三龄枝、二龄枝、当年枝和叶等部位分别采样。由于树种不同,3年生苗木的枝条和根系粗细差别较大,单用粗度不能有效地划分根系和枝干的不同阶段,所以采用粗度和发育阶段相结合的方法进行根系采样:2~5 mm根为细根着生的根;5~10 mm根为主根(大根)上着生的根;>10 mm根为主根和大根。枝条按照发育阶段采样,叶片采成熟健康叶。测定其含水量、生物量、养分含量、灰分含量和热值等指标,每种植物不同器官重复3次。

1.3 测定方法

1.3.1 植物有机碳、全氮和全磷含量 1)植物有机碳(C)测定采用外加热、重铬酸钾容量法^[14]; 2)植

物全氮(N)测定:植物样品经浓H₂SO₄-H₂O₂溶液消煮后,用开氏定氮法(2300 Kjeltac Analyzer Unit, Sweden)测定全氮含量^[14]; 3)植物全磷(P)测定:植物样品经浓H₂SO₄-H₂O₂溶液消煮后,用钼蓝比色法(6505紫外分光光度计, UK)测定全磷含量^[14]。

1.3.2 热值和灰分 1)干质量热值测定:采用XRY21A氧弹式热量计测定植物样品干质量热值(gross calorific value, GCV)。测定环境温度控制在(22±2)℃,室内杜绝热源,每次实验前用国家二级热量标准物质苯甲酸标定; 2)灰分测定:采用干灰化法^[15],即样品在马福炉500℃下灰化4 h后测定其灰分含量; 3)去灰分热值测定:采用干质量热值和灰分含量计算去灰分热值(ash free calorific value, AFCV),算式为:去灰分热值=干质量热值/(1-灰分含量)×1000。

1.4 数据分析

采用SAS 8.10软件对数据进行统计分析。相关分析与one-way ANOVA方差分析之前,采用RANK过程对实验数据进行正态分布检验,并用LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同植物各器官的能量特征

2.1.1 植物各器官干质量热值和去灰分热值 由表1可以看出,4种植物不同器官间的干质量热值分配不同,美人梅细根的干质量热值较高,而樱花、白玉兰和广玉兰的干质量热值随着根的生长先增加后降低,随着枝的生长有降低趋势。果实、叶和细根的干质量热值均高于其他器官。美人梅和樱花的干质量热值总体高于白玉兰和广玉兰,且在细根上表现最为明显。去灰分热值在不同器官的分配有所不同,美人梅、樱花和白玉兰的去灰分热值分配规律相似,从细根到粗根逐渐降低,从粗根到叶逐渐升高;而广玉兰则2~5 mm根系去灰分热值最高。4种植物粗根的去灰分热值低于其他器官,其中樱花最低,白玉兰果实最高;白玉兰和广玉兰叶片去灰分热值明显低于美人梅和樱花叶片。4种植物平均干质量热值和去灰分热值大小顺序为美人梅>白玉兰>广玉兰>樱花。经方差分析,4种植物不同器官干质量热值和去灰分热值的种间差异均没有达到显著水平(P>0.05)。美人梅和樱花的干质量热值和去灰分热值均大于广玉兰和白玉兰,但差异不显著(P>0.05)。

4种植物不同器官热值分配规律有所不同。美

表 1 植物不同器官的热值和灰分含量

Tab. 1 Caloric values and ash contents in different organs of four tree species (mean \pm SE)

植物 Plant species	器官 Organ	干质量热值 GCV (kJ g ⁻¹)	灰分含量 Ash content (mg g ⁻¹)	去灰分热值 AFCV (kJ g ⁻¹)
美人梅 <i>P. mume</i> Meireni	细根 Fine root	211.29 \pm 0.31 a	331.92 \pm 11.70 c	221.04 \pm 0.36 a
	2~5 mm 根 2~5 mm root	191.33 \pm 0.57 c	241.44 \pm 31.79 d	191.81 \pm 0.66 b
	5~10 mm 根 5~10 mm root	191.28 \pm 0.07 c	151.45 \pm 11.32 e f	191.58 \pm 0.09 b c
	>10 mm 根 >10 mm root	181.67 \pm 0.50 d e	191.65 \pm 31.09 d e f	191.05 \pm 0.47 c d
	茎干 Stem	181.63 \pm 0.11 d e	131.18 \pm 0.16 f	181.88 \pm 0.11 d
	三龄枝 Three-year-old branch	181.85 \pm 0.07 c d	201.29 \pm 11.83 d e f	191.24 \pm 0.15 b c d
	二龄枝 Two-year-old branch	181.92 \pm 0.41 c d	221.26 \pm 21.44 d e	191.35 \pm 0.39 b c d
	当年枝 Twig	181.22 \pm 0.18 e	611.69 \pm 11.53 b	191.42 \pm 0.21 b c d
	叶 Leaf	201.46 \pm 0.05 b	851.18 \pm 0.81 a	221.36 \pm 0.04 a
樱花 <i>P. serrulata</i>	细根 Fine root	181.75 \pm 0.27 b c	561.95 \pm 201.11 b	191.89 \pm 0.45 b
	2~5 mm 根 2~5 mm root	181.81 \pm 0.45 b c	271.59 \pm 31.43 c d	191.34 \pm 0.39 b c
	5~10 mm 根 5~10 mm root	181.82 \pm 0.60 b c	221.83 \pm 11.96 c d	191.26 \pm 0.65 b c d
	>10 mm 根 >10 mm root	181.05 \pm 0.12 c	201.39 \pm 11.68 c d	181.42 \pm 0.16 d
	茎干 Stem	181.71 \pm 0.51 b c	171.13 \pm 0.85 d	191.04 \pm 0.53 b c d
	三龄枝 Three-year-old branch	181.61 \pm 0.48 b c	201.92 \pm 0.46 c d	191.01 \pm 0.50 c d
	二龄枝 Two-year-old branch	181.37 \pm 0.16 b c	271.25 \pm 0.97 c d	181.88 \pm 0.18 c d
	当年枝 Twig	181.94 \pm 0.62 b	331.77 \pm 61.42 c	191.61 \pm 0.58 b c
	叶 Leaf	191.88 \pm 0.53 a	911.16 \pm 81.96 a	211.87 \pm 0.38 a
白玉兰 <i>M. denudata</i>	细根 Fine root	171.79 \pm 0.68 e	781.49 \pm 171.37 b	191.31 \pm 0.88 c d e
	2~5 mm 根 2~5 mm root	181.51 \pm 0.55 c d	251.63 \pm 21.91 c	191.00 \pm 0.61 d e
	5~10 mm 根 5~10 mm root	181.36 \pm 0.27 d e	181.42 \pm 31.46 c	181.70 \pm 0.34 e
	>10 mm 根 >10 mm root	181.17 \pm 0.17 d e	171.98 \pm 21.26 c	181.50 \pm 0.21 e
	茎干 Stem	181.83 \pm 0.32 b c d	201.76 \pm 41.56 c	191.23 \pm 0.40 c d e
	三龄枝 Three-year-old branch	181.79 \pm 0.28 b c d	171.63 \pm 21.40 c	191.13 \pm 0.28 d e
	二龄枝 Two-year-old branch	191.10 \pm 0.54 b c	261.69 \pm 11.14 c	191.63 \pm 0.57 b c d
	当年枝 Twig	191.45 \pm 0.11 b	291.00 \pm 0.27 c	201.04 \pm 0.11 b c
	叶 Leaf	181.24 \pm 0.27 d e	981.86 \pm 0.46 a	201.24 \pm 0.31 b
广玉兰 <i>M. grandiflora</i>	果实 Fruit	211.93 \pm 0.03 a	281.70 \pm 0.60 c	221.57 \pm 0.04 a
	细根 Fine root	171.02 \pm 0.65 f	1101.26 \pm 121.07 a	191.13 \pm 0.48 c d
	2~5 mm 根 2~5 mm root	191.16 \pm 0.22 b c d	391.75 \pm 101.36 b	191.95 \pm 0.09 a b
	5~10 mm 根 5~10 mm root	181.48 \pm 0.43 d e	291.58 \pm 51.64 c	191.05 \pm 0.53 c d
	>10 mm 根 >10 mm root	181.32 \pm 0.50 e	251.80 \pm 11.95 c d	181.81 \pm 0.54 d
	茎干 Stem	181.54 \pm 0.61 d e	161.01 \pm 11.22 d	181.84 \pm 0.60 d
	三龄枝 Three-year-old branch	181.81 \pm 0.23 c d e	171.05 \pm 11.96 d	191.14 \pm 0.21 c d
	二龄枝 Two-year-old branch	191.23 \pm 0.08 a b c	171.53 \pm 31.10 d	191.58 \pm 0.12 b c
	当年枝 Twig	191.65 \pm 0.31 a b	231.28 \pm 11.51 c d	201.12 \pm 0.33 a b
叶 Leaf	191.48 \pm 0.04 a b c	451.29 \pm 31.64 b	201.41 \pm 0.10 a	
果实 Fruit	191.89 \pm 0.01 a	251.46 \pm 0.21 c d	201.41 \pm 0.01 a	

数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平 Different small letters meant significant difference within the treatments at 0.05 level by LSD

美人梅各器官干质量热值和去灰分热值大小依次为叶 > 根 > 枝 > 茎干; 樱花各器官干质量热值为叶 > 茎干 > 枝 > 根, 去灰分热值为叶 > 枝 > 茎干 > 根; 白玉兰各器官干质量热值大小依次为果实 > 枝 > 茎干 > 叶 > 根, 去灰分热值为果实 > 叶 > 枝 > 茎干 > 根; 广玉兰干质量热值为果实 > 叶 > 枝 > 茎干 > 根, 去灰分热值为叶 > 果实 > 枝 > 根 > 茎干。

不同发育阶段根系干质量热值波动较大, 细根干质量热值总体低于其他器官, > 10 mm 根干质量热值也较低, 处于发育中间阶段的根系干质量热值

较高。随着根系的发育, 干质量热值呈先增加、后降低的趋势。去灰分热值随着根系的发育呈降低趋势。美人梅和樱花不同发育阶段根系干质量热值和去灰分热值高于广玉兰和白玉兰。

不同植物各发育阶段茎干的干质量热值和去灰分热值变化不同。其中, 当年枝和二龄枝热值波动较大, 三龄枝和茎干热值变化较小。随着茎干的发育, 干质量热值和去灰分热值均呈降低趋势。广玉兰和白玉兰干质量热值和去灰分热值总体高于美人梅和樱花。

表 2 植物各器官的干质量热值 (A)和去灰分热值 (B)与养分和灰分含量相关关系

Tab 2 Correlations of GCV(A) and AFCV(B) with nutrient and ash contents of four tree species

器官 Organ	有机碳 Organic C		全氮 Total N		全磷 Total P		灰分 Ash content	
	A	B	A	B	A	B	A	B
细根 Fine root	01 741* *	01 740* *	- 01 811* *	- 01 810* *	- 01 791* *	- 01 789* *	- 01 828* *	- 01 829* *
2~ 5 mm根 2~ 5 mm root	01 389	01 337	- 01 408 [†]	- 01 364	- 01 105	- 01 122	01 144	01 377
5~ 10 mm根 5~ 10 mm root	01 204	01 233	- 01 513* *	- 01 554 [†]	01 167	01 099	- 01 064	01 167
> 10 mm根 > 10 mm root	01 108	- 01 079	01 390 [†]	01 280	01 285	01 325	- 01 199	01 754* *
茎干 Stem	- 01 028	01 064	01 060	01 091	- 01 203	- 01 218	01 283	01 265
三龄枝 Three-year-old branch	01 062	01 133	- 01 122	01 062	- 01 075	01 123	01 168	01 295
二龄枝 Two-year-old branch	01 664 [†]	01 592* *	- 01 400 [†]	- 01 079	- 01 463* *	- 01 185	- 01 105	01 249
当年枝 Twig	01 178	01 024	- 01 717* *	- 01 456 [†]	- 01 769* *	- 01 521* *	- 01 791* *	- 01 534* *
叶 Leaf	01 635* *	01 328	- 01 148	01 356	- 01 167	01 265	- 01 217	01 316

* P < 0105; ** P < 0101.

21 112 植物的灰分含量 灰分是植物体内各种无机元素的氧化物的总和. 由表 1 可以看出, 4 种植物不同器官灰分含量在 131 18~ 110126 mg# g⁻¹ 之间, 其中美人梅茎干最低, 广玉兰细根最高. 细根和叶具有较高的灰分含量, 且叶部平均灰分含量 (80112 mg# g⁻¹) 总体高于细根平均灰分含量 (69190 mg# g⁻¹). 4 种植物灰分含量种间差异不显著 (P > 0105).

212 不同植物各器官热值与养分和灰分含量的相关关系

由表 2 可以看出, 植物干质量热值与养分和灰分相关性因器官而异. 4 种植物的细根干质量热值与养分和灰分相关性最强, 均达到极显著水平 (P < 0101). 氮素含量与各个器官干质量热值相关性最强, 2/3 的器官干质量热值与全氮含量存在显著或极显著相关性, 其中除了 > 10 mm 根为正相关关系外, 其余均为负相关关系. 全磷含量和灰分含量与细根和当年枝等新生器官的干质量热值负相关关系较强, 均达到极显著水平 (P < 0101). 随着根系发育, 干质量热值与有机碳含量的正相关性逐渐减弱; 随着枝干的发育, 干质量热值与全氮含量的负相关性也呈递减趋势.

去除灰分以后, 植物不同器官与养分和灰分含量的相关性变弱. 仍以细根去灰分热值与养分和灰分含量最强, 均呈极显著相关性; 当年枝去灰分热值与养分和灰分含量的相关性也较强, 与全氮、全磷和灰分含量均有极显著负相关关系. 随着根系的发育, 去灰分热值与有机碳含量的正相关性逐渐减弱.

3 讨 论

蔷薇科植物美人梅和樱花平均干质量热值和去灰分热值均大于木兰科的广玉兰和白玉兰, 但其差异没有达到显著水平 (P > 0105). 这可能与植物的

进化有关. 木兰科是双子叶植物中最古老的类群, 具有很多原始的性状; 而蔷薇科植物起源于木兰科^[16], 也具有许多原始特征. 这可能是植物热值升高没有达到显著水平的原因. 有关热值变化与植物进化的相关性还需进一步探讨.

白玉兰根系干质量热值和去灰分热值总体均低于其他 3 种植物, 可能与白玉兰是深根性植物, 长期的盆栽导致其营养不良有关^[17]. 广玉兰细根在不同粗度的根系中干质量热值最低, 可能是由于广玉兰细根较为发达, 生物量较高, 使得单位质量细根的能量分配有所减少. 另外, 广玉兰喜酸性土壤^[17], 偏碱性的培养基质也是影响其细根生物活性, 导致热值偏低的一个原因. 为此, 西部地区在对园林植物的引种栽培中, 不仅应注重光照、温度和水肥条件, 更要考虑植物自身的生态习性.

研究表明, 随着植物根系和茎干 (枝) 的发育, 干质量热值和去灰分热值均有降低趋势. 其中, 植物细根的热值和灰分含量较高, 与其它研究结果有所不同^[18-19]. 这可能是由于细根是植物吸收水分和无机盐的主要器官, 较高的养分和能量储备是植物吸收水分和养分的有利保障, 因此其热值和灰分含量高于其他器官. 目前有关植物不同器官热值的研究大多数是以大的组分 (根、干、枝、叶) 进行的. 由于细根在植物体整个根系中所占比重小, 使不同发育阶段根系样品采集比例不均衡, 导致植物根系热值的最终测定结果低于其他器官. 而叶片的热值较高, 与大多数研究结果一致^[20-23]. 造成植物各器官热值差异的主要原因可能与器官含有的蛋白质和脂肪有关^[24]. 纤维素和木质素为低热值有机物质, 脂肪和蛋白质是高热值有机物质^[25]; 植物各部分干物质中能量含量与粗脂肪、蛋白质的含量呈明显正相关关系.

植物热值既与有机物含量有关, 也与矿物质成

分有关^[5, 26]。不同器官热值与养分相关性有所不同, 其中细根干质量热值和去灰分热值与养分和灰分含量的相关性最强, 与有机碳含量有极显著的正相关关系, 与全氮、全磷和灰分含量均有极显著的负相关关系。由此推断, 有机碳是细根能量的主要成分。这也从侧面证实了有机物质是保证细根吸收水分和无机营养的前提。

致谢 西北农林科技大学资环学院黄海同学、陕西师范大学周正朝副教授、中国科学院水土保持研究所郑淑霞博士曾给予帮助, 一并致谢。

参考文献

- [1] Lin YM (林益明), Lin P (林鹏), Li ZJ (李振基), et al. Study on energy of *Castanopsis eyrei* community in Wuyi Mountains. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1996, 38(12): 989-994 (in Chinese)
- [2] Peng PH (彭培好), Wang JX (王金锡), Hu ZY (胡振宇), et al. Energy characteristics of a lter2c2 press mixed plantation ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1998, 9(2): 113-118 (in Chinese)
- [3] Lin YM (林益明), Lin P (林鹏), Wang T (王通). Caloric values and ash contents of some mangrove woods. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2000, 11(2): 181-184 (in Chinese)
- [4] Lin C2C (林承超). Caloric values and nutrient composition of the leaves of monsoon evergreen broadleaved forest and some forest edge plants on Gushan Mountain in Fuzhou. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1999, 19(6): 832-836 (in Chinese)
- [5] Xu YR (徐永荣), Zhang W2J (张万均), Feng Z2W (冯宗炜), et al. Caloric values, elemental contents and correlations between them of some plants on sea2 beach salinity soil in Tianjin. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003, 23(3): 450-455 (in Chinese)
- [6] Lin YM (林益明), Guo Q2R (郭启荣), Ye G2F (叶功富), et al. Characteristics of formation and energy of some *Casuarina* species in Dongshan County, Fujian Province. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004, 24(10): 2217-2225 (in Chinese)
- [7] Fang Y2T (方运霆), Mo JM (莫江明), Li D2J (李德军), et al. Dynamics of energy distribution and its production of a *Pinus massoniana* community in Dinghushan Biosphere Reserve, Guihua. *广西植物*, 2005, 25(1): 26-32 (in Chinese)
- [8] Kuang Y2W (旷远文), Wen D2Z (温达志), Zhou G2Y (周国逸), et al. Caloric values of dominant species in the different layers of lower subtropical monsoon evergreen broadleaved forest at Dinghushan Mountain. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2005, 27(2): 6-12 (in Chinese)
- [9] Zheng S2X (郑淑霞), Shangguan Z2P (上官周平). Comparison of leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in eight broadleaved tree species. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, 26(4): 1080-1087 (in Chinese)
- [10] Fu D2L (傅大立). Studies on *Yulania* species. *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物学研究), 2001, 19(3): 191-198 (in Chinese)
- [11] Fu D2L (傅大立), Yang S2B (杨绍彬), Zhou D2S (周道顺), et al. The confusion between *Yulania* and *Mukun* of species of *Magnoliaceae* in China. *Nonwood Forest Research* (经济林研究), 2003, 21(4): 8-10 (in Chinese)
- [12] Mao C2Y (毛春英). Studies of the introduction and domestication of *Magnolia grandiflora* L. and stock breeding techniques in the North of China. *Forestry Science & Technology* (林业科技), 2004, 29(1): 8-10 (in Chinese)
- [13] Chen J (陈静), Li J (吕娟), Chen X2J (陈学君). Stock breeding and management techniques of *Prunus mume* Meirens. *Journal of Shandong Forestry Science and Technology* (山东林业科技), 2006, (5): 54-55 (in Chinese)
- [14] Bao S2D (鲍士旦). *Analysis Method of Soil Agricultural Chemistry*. Beijing: China Agricultural Press, 2000 (in Chinese)
- [15] Paine RT. The measurement and application of the calorie to ecological problems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1971, 2: 145-164
- [16] Ren X2W (任宪威). *Dendrology* (North Ed.). Beijing: China Forestry Press, 1997 (in Chinese)
- [17] Yu D2J (俞德浚). Origin and evolution of *Rosaceae*. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), 1984, 22(6): 431-444 (in Chinese)
- [18] Chen B (陈波), Yang Y2C (杨永川), Zhou Y (周莹). Caloric values of seven dominant species in Tian2tong National Forest Park, Zhejiang Province. *China Journal of East China Normal University* (Natural Science) (华东师范大学学报#自然科学版), 2006, (2): 105-111 (in Chinese)
- [19] Golley FB. Caloric value of wet tropical forest vegetation. *Ecology*, 1969, 50(3): 517-519
- [20] Bidwell RGS. *Trans. Liu F2L* (刘富林). *Plant Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 1982 (in Chinese)
- [21] Zan Q2J (詹启杰), Wang B2S (王伯荪), Wang Y2J (王勇军). Energy situation of *Sonneratia apetala* - *S. casalis* forest in Futian of Shenzhen. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, 14(2): 170-174 (in Chinese)
- [22] Wang W2Q (王文卿), Ye Q2H (叶庆华), Wang X2M (王笑梅), et al. Impact of substrate salinity on caloric value, energy accumulation and its distribution in various organs of *Bougainvillea gymnorhiza* seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2001, 12(1): 8-12 (in Chinese)
- [23] Ye G2F (叶功富), Wu X2L (吴锡麟), Zhang Q2H (张清海), et al. Energy of *Casuarina equisetifolia* community on different site along the coast. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2003, 39(supp): 1-7 (in Chinese)
- [24] Zu Y2G (祖元刚). *Introduction to Energy Ecology*. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1990 (in Chinese)
- [25] Bliss LC. Caloric value and lipid content in alpine tundra plants. *Ecology*, 1962, 43: 753-757
- [26] N2e2Regueira L, Rodriguez A2n J, Prout2Castillo eiras J, et al. Calorimetry as a tool to design campaigns to prevent and fight forest fires originating from shrub species. *Thermochimica Acta*, 2002, 394: 279-289

作者简介 陈美玲,女,1982年生,硕士研究生。主要从事植物生理生态研究。E-mail: meiling413@sohu.com

责任编辑 李凤琴