

中国南方灌丛优势木本植物叶的氮、磷含量及其影响因素

李家湘^{1,2} 徐文婷¹ 熊高明¹ 王 杨¹ 赵常明¹ 卢志军³ 李跃林⁴ 谢宗强^{1*}

¹中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093; ²中南林业科技大学林学院, 长沙 410004; ³中国科学院武汉植物园水生植物与流域生态国家重点实验室, 武汉 430074; ⁴中国科学院华南植物园, 广州 510650

摘 要 探索植物器官中氮(N)、磷(P)含量沿环境梯度的分异规律, 有助于揭示陆地生态系统物质循环和植物养分适应策略的过程和机制。该文采用分层随机抽样法, 在中国南方12个省市布设462个灌丛样点, 对其中193种优势木本植物叶N、P含量进行调查取样。结果表明: 1)南方灌丛优势木本植物叶的N、P含量几何均值分别为16.57 mg·g⁻¹和1.02 mg·g⁻¹; 其中, 落叶木本植物(17.91 mg·g⁻¹、1.14 mg·g⁻¹)显著高于常绿木本植物(15.19 mg·g⁻¹、0.89 mg·g⁻¹); 叶P含量较N含量具有更大的变异性, 和环境依赖性。2)随年平均气温(MAT)的升高, 常绿木本植物叶N、P含量降低, 落叶木本植物叶N、P含量呈逐渐增加的趋势; 随年降水量(MAP)的增加, 常绿木本植物叶N含量降低, 落叶木本植物叶N含量增加, 两者P含量下降。3)土壤N含量的增加对两者叶的N含量无显著影响; 但随土壤P含量的增加, 常绿和落叶木本植物叶P含量均显著增加。4)广义线性回归显示, 植物生活型分别可解释叶N、P变异的7.6%和14.4%, MAP和土壤P含量分别解释了0.8%和16.4%的叶P变异。结果表明, 中国南方灌丛中优势植物叶的N含量主要受不同生活型植物生长需求所决定, 而P含量则受气候、土壤和植物生活型共同决定。

关键词 热带亚热带; 植物功能性状; 植物生活型; 生态化学计量

引用格式: 李家湘, 徐文婷, 熊高明, 王杨, 赵常明, 卢志军, 李跃林, 谢宗强 (2017). 中国南方灌丛优势木本植物叶的氮、磷含量及其影响因素. 植物生态学报, 41, 31–42. doi: 10.17521/cjpe.2016.0251

Leaf nitrogen and phosphorus concentration and the empirical regulations in dominant woody plants of shrublands across southern China

LI Jia-Xiang^{1,2}, XU Wen-Ting¹, XIONG Gao-Ming¹, WANG Yang¹, ZHAO Chang-Ming¹, LU Zhi-Jun³, LI Yue-Lin⁴, and XIE Zong-Qiang^{1*}

¹State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; ²College of Forest, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China; ³Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; and ⁴South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China

Abstract

Aims Understanding the changes in N and P concentration in plant organs along the environmental gradients can provide meaningful information to reveal the underline mechanisms for the geochemical cycles and adaptation strategies of plants to the changing environment. In this paper, we aimed to answer: (1) How did the N and P concentration in leaves of evergreen and deciduous woody plants change along the environmental gradients? (2) What were the main factors regulating the N and P concentration in leaves of woody plants in the shrublands across southern China?

Methods Using a stratified random sampling method, we sampled 193 dominant woody plants in 462 sites of 12 provinces in southern China. Leaf samples of dominant woody plants, including 91 evergreen and 102 deciduous shrubs, and soil samples at each site were collected. N and P concentration of the leaves and soils were measured after lapping and sieving. Kruskal-Wallis and Nemenyi tests were applied to quantify the difference among the organs and life-forms. For each life-form, the binary linear regression was used to estimate the relationships between leaf log [N] and log [P] concentration and mean annual air temperature (MAT), mean annual precipitation (MAP) and log soil total [N], [P]. The effects of climate, soil and plant life-form on leaf chemical traits were modeled through the general linear models (GLMs) and *F*-tests.

收稿日期Received: 2016-07-28 接受日期Accepted: 2016-12-25

* 通信作者Author for correspondence (E-mail: xie@ibcas.ac.cn)

Important findings 1) The geometric means of leaf N and P concentrations of the dominant woody plants were $16.57 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ and $1.02 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively. The N and P concentration in leaves ($17.91 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, $1.14 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) of deciduous woody plants was higher than those of evergreen woody plants ($15.19 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, $0.89 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$). The dependent of leaf P concentration on environmental (climate and soil) appeared more variable than N concentration. 2) Leaf N and P in evergreen woody plants decreased with MAT and but increased with MAP, whereas those in deciduous woody plants showed opposite trends. With increase in MAP, leaf P concentration decreased for both evergreen and deciduous woody plants. 3) Soil N concentration had no significant effect on both evergreen and deciduous woody plants. However, leaf P concentration of the tow increased significantly with soil P concentration. (4) GLMs showed that plant growth form explained 7.6% and 14.4% of variation in leaf N and P, respectively. MAP and soil P concentration contributed 0.8% and 16.4% of the variation in leaf P, respectively. These results suggested that leaf N was mainly influenced by plant growth form, while leaf P concentration was driven by soil, plant life-form, and climate at our study sites.

Key words tropical and subtropical region; plant functional traits; life form; ecological stoichiometry

Citation: Li JX, Xu WT, Xiong GM, Wang Y, Zhao CM, Lu ZJ, Li YL, Xie ZQ (2017). Leaf nitrogen and phosphorus concentration and the empirical regulations in dominant woody plants of shrublands across southern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 41, 31–42. doi: 10.17521/cjpe.2016.0251

氮(N)和磷(P)是植物生命活动所需的大量元素,其含量大小系植物的主要功能性状,在生态系统功能和动态中起关键作用(Koerselman & Meuleman, 1996; Reich, 2005)。为了最大化地满足生长,植物通过平衡限制性资源的分配,在气候、土壤养分等改变时调整分配策略以适应环境限制(Reich & Oleksyn, 2004),因此,气候、土壤成为影响植物营养器官N、P含量的主要环境因子。研究发现叶片N、P含量与气候和土壤的关系因各区域限制性因子的差异而不同(Reich & Oleksyn, 2004; Han *et al.*, 2005; Kerkhoff *et al.*, 2005; He *et al.*, 2008; 丁凡等, 2011; 王晶苑等, 2011; Sardans & Peñuelas, 2013; Hong *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2014); 同时,相同功能型植物往往趋于分享一套关键的植物功能性状来实现对环境的趋同适应和对生态系统的相似作用(Díaz & Cabido, 2001)。因此,探索不同功能型植物器官中N、P含量沿环境梯度的分异规律,有助于揭示陆地生态系统物质循环和植物养分适应策略的过程和机制(Aerts & Chapin, 2000; 曾德慧和陈广生, 2005; 刘超等, 2012)。

灌丛作为一种重要的自然植被类型,不同于森林的主要特点是以灌木生活型植物为优势成分,具有类型多样、分布广泛、生产力高、萌生能力强等特点,其分布面积约占中国国土面积的20%,约占中国亚热带国土面积的25% (中国科学院中国植被图编辑委员会, 2007),是陆地生态系统养分循环的重要场所(胡会峰等, 2006; Piao *et al.*, 2009)。截至目前,关于植物养分循环的研究多聚焦于森林或草地

(张丽霞, 2003; He *et al.*, 2006, 2008; 任书杰等, 2007; 甘露等, 2008; 丁凡等, 2011; 林志斌等, 2011; Chen *et al.*, 2013; Cornelissen *et al.*, 2014; Hong *et al.*, 2014; Nottingham *et al.*, 2015; Pan *et al.*, 2015; Petter *et al.*, 2016),发现不同功能型植物叶N、P含量差异显著,且落叶木本植物叶的N、P含量显著高于常绿木本植物。尽管植物在灌丛中的生长环境和地位与森林或草地截然不同,但关于灌丛中植物器官N、P格局却较少受到重视,且相关研究多在北方(韩文轩等, 2009; Yang *et al.*, 2014; 李单凤等, 2015); 再者,众多研究在区域和全球尺度阐释了叶N、P的地理变异机制(Elser *et al.*, 2007),但大部分研究并没有检验不同功能型植物叶N、P对环境因子的响应规律(Chen *et al.*, 2013)。因此,在较大范围内研究灌丛生态系统不同生活型优势植物N、P含量及其与环境因子的关系,有助于深入了解植物N、P养分循环和植物养分适应策略的过程和机制。

我国南方地处热带亚热带地区,与北方灌丛(Yang *et al.*, 2014)不同的是,南方灌丛的优势层片主要由常绿和落叶木本组成,是研究不同生活型木本植物叶N、P含量及其对气候和土壤养分响应的最适合对象。本研究采用统一的方法调查了中国南方灌丛462个样点共193种优势木本植物叶的N、P含量,比较了常绿和落叶木本植物叶的N、P含量差异,分析各自与气候和土壤养分之间的关系,旨在揭示灌丛优势木本植物叶N、P含量的主要决定因子。拟回答的科学问题有:(1)常绿和落叶木本植物叶N、P的含量沿环境梯度是怎样变化的?(2)决定中国南

方灌丛中木本植物叶N、P含量的主要因子是什么?

1 研究地区概况

研究地区位于我国南方, 调查范围包括海南、广东、广西、重庆、湖南、湖北、江西、浙江、福建、安徽、江苏以及上海12个省市。地理范围跨越我国南方18个经度(105° – 123° E)、17个纬度(18° – 35° N)。区域内地形为平原盆地与高原、丘陵交错, 主要山脉有南岭山地、罗霄山脉、雪峰山脉、武陵山脉、武夷山脉。属热带亚热带区域, 气候属东南季风湿润气候。年平均气温(MAT) 13 – 22 , 最热月平均气温 28 – 30 , 最冷月平均气温大于 0 , ≥ 10 积温 $4\,000$ – $6\,500$, 无霜期 230 – 350 天; 降水主要集中在下半年, 年降水量(MAP)大于 800 mm, 多在 $1\,200$ – $2\,000$ mm之间。由于水热条件优越, 我国南方分布着世界上面积最大、最具有代表性的亚热带常绿阔叶林(中国科学院中国植被图编辑委员会, 2007)。然而, 该区域是我国人口最为密集、经济发展最为迅速的区域, 由于不合理的人类活动, 区域内山地常绿阔叶林面积大为减少, 生态系统功能严重退化, 灌丛成为一种主要的现状植被类型。

2 研究方法

2.1 数据采集

根据1:100万中国植被图(中国科学院中国植被图编辑委员会, 2007)所记载的我国南方灌丛分布范围, 采用分层随机抽样方法布设了462个样点, 样点之间间隔 20 km以上。记录每个样点的经度和纬度信息, 对每个样点的灌丛群落优势木本植物, 分种选择3–5株收集叶片的混合样品, 所有植物样品带回实验室烘干、磨碎、过60目筛待测。同时, 每个样点用土钻采集 0 – 10 cm表土层土壤样品3个(采样点间隔 15 m), 将样品阴干后均匀混合、除根、研磨, 并过100目的分样筛待测(谢宗强和唐志尧, 2015)。所有调查和采集在2011–2013年的7–9月进行, 共采集优势木本植物53科122属193种(含种下等级), 包括91种常绿木本植物和102种落叶木本植物(附录I)。

植物和土壤全N采用C/N元素分析仪(2400II CHNS/O, PerkinElmer, Boston, USA)测定(称取 5 – 6 mg样品干粉末, 燃烧温度设定在 950 , 反应温度设为 640); 植物和土壤全P用酸溶-钼锑抗比色法(GB 7852-1987)测定, 先将样品粉末用 H_2O_2 -

H_2SO_4 凯氏法消解, 然后用钼蓝比色法测量(谢宗强和唐志尧, 2015)。

各样点MAT ()和MAP (mm)数据来源于地球系统科学数据共享平台(www.geodata.cn)的全国 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 栅格逐月平均气温和降水数据。

2.2 数据分析

基于原始数据, 按种统计叶N、P含量的算术平均值, 并进行正态性检验, 叶N、P含量呈非正态分布(偏度 >1.6), 但符合对数正态分布, 因此在统计各生活型(常绿和落叶)和所有木本叶片N含量、P含量时采用几何平均数(Han *et al.*, 2005)。由于N、P含量数据不符合正态分布, 生活型间的N、P含量比较时采用Kruskal-Wallis (K-W)检验, 并用Nemenyi进行两两比较(李单凤等, 2015)。

为了衡量木本植物叶N、P含量与气候和土壤养分之间的关系, 将每个样点上分种叶N、P含量原始值进行对数化转换, 分别与MAT、MAP、土壤N含量和土壤P含量进行一般线性回归(任书杰等, 2007; Hong *et al.*, 2014)。同时, 采用广义线性模型(GLM)来衡量生活型、MAT、MAP、土壤N含量和P含量分别对木本植物叶N含量和P含量变异的解释量(Chen *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2014)。所有的统计分析和作图分别在R 3.2.1和Excel 2013中进行。

3 结果

3.1 叶片N、P含量特征

所有木本植物叶的N、P含量的几何均值分别为 $16.57\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $1.02\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 其中N的范围为 5.06 – $43.78\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, P的范围为 0.18 – $4.04\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (表1)。落叶木本植物和常绿木本植物的叶N、P含量存在显著差异, 其中落叶木本植物叶N、P含量的几何均值分别较常绿木本植物叶高 15.19% 和 21.93% 。从变异系数来看, 所有木本植物和各生活型叶的P含量变异大于N, 落叶木本植物叶N含量的变异略高于常绿木本植物, 而常绿木本植物叶P含量的变异大于落叶木本植物(表1)。

3.2 叶片N、P随环境梯度的变化

常绿和落叶木本植物叶N、P含量对气候因子的响应方式如下: 随着MAT和MAP的升高, 常绿木本叶片N、P含量均有下降趋势, 落叶木本叶片N、P含量呈增加趋势(图1, 图2); 然而, 常绿和落叶木本植物叶P含量随MAP的增加均呈递减趋势

表1 中国南方灌丛优势木本植物叶的氮磷含量

Table 1 Leaf N and P concentration of dominant woody plants in shrublands across southern China

生活型 Life-form	N含量 N content (mg·g ⁻¹)				P含量 P content (mg·g ⁻¹)			
	n	GM	Range	CV	n	GM	Range	CV
常绿木本植物 Evergreen woody plants	91	15.19 ^a	7.68–33.00	0.31	91	0.89 ^a	0.37–3.81	0.52
落叶木本植物 Deciduous woody plants	102	17.91 ^b	5.06–43.78	0.35	102	1.14 ^b	0.18–4.04	0.47
所有木本植物 All woody plants	193	16.57	5.06–43.78	0.35	193	1.02	0.18–4.04	0.50

GM、n、Range和CV分别为几何平均数、样本数、范围和变异系数；a和b表示常绿和落叶木本器官元素含量差异显著($p < 0.05$)。GM, n, Range and CV were geometric mean values, statistical samples, variation range and coefficient of variation, respectively. “a” and “b” indicated significant difference ($p < 0.05$) between evergreen and deciduous woody plants.

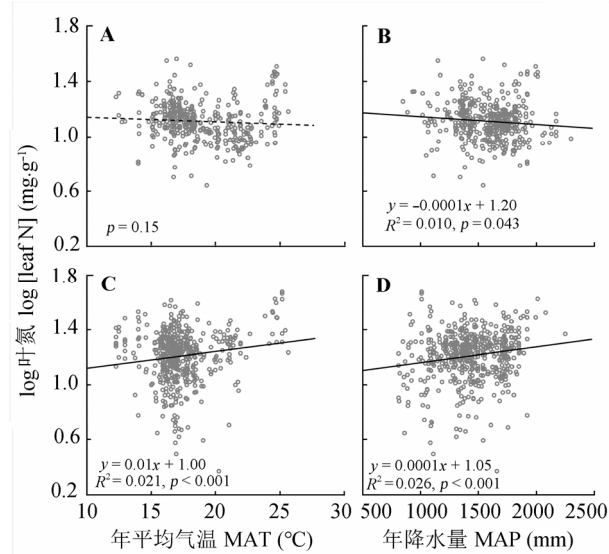


图1 年平均气温和年降水量对常绿(A、B)和落叶木本(C、D)植物叶氮含量的影响。
Fig. 1 Effects of mean annual temperature (MAT) and mean annual precipitation (MAP) on leaf N concentration of evergreen (A, B) and deciduous woody plants (C, D).

(图2D)。同时, 气候对落叶木本植物叶N含量的影响(图1C、1D)大于常绿木本植物(图1A、1B); 而对常绿木本植物叶片P含量的影响(图2A、2B)高于落叶木本植物(图2C、2D)。

土壤养分对常绿和落叶木本植物叶N、P含量的影响趋于一致: 随土壤N含量的增加, 两者N含量没有显著变化趋势(图3A、3C, $p > 0.05$); 随着土壤P含量的增加, 两类植物叶的P含量均显著增加, 且影响力相当(图3B, $r^2 = 0.176$, 斜率0.26; 图3D, $r^2 = 0.170$, 斜率0.29)。

3.3 生活型、气候和土壤养分对木本植物叶N、P的影响

GLM回归结果(表2)显示, 对于叶N含量, 只有生活型和土壤P含量在最优模型中, 生活型可解释7.6%的N变异, 土壤P含量解释了2.3%的变异; 对于叶P含量, 在最优模型中包括了生活型、MAP、

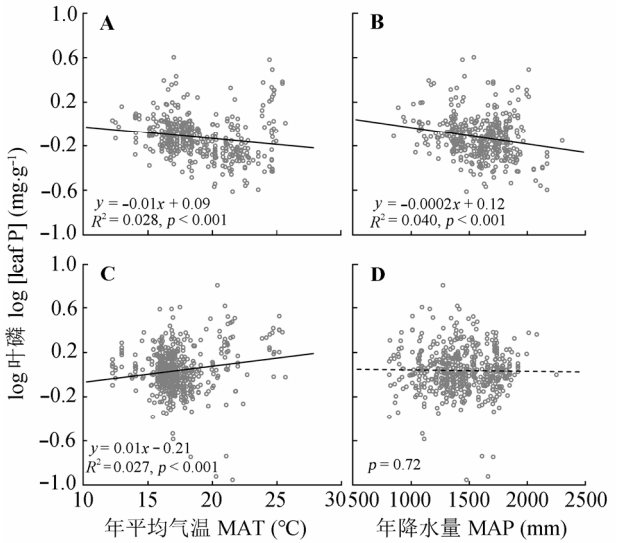


图2 年平均气温和年降水量对常绿(A、B)和落叶木本(C、D)植物叶磷含量的影响。
Fig. 2 Effects of mean annual temperature (MAT) and mean annual precipitation (MAP) on leaf P concentrations of evergreen (A, B) and deciduous woody plants (C, D).

土壤N含量和土壤P含量, 分别解释了14.4%、0.8%、0.9%和16.4%的P含量变异。

4 讨论

4.1 灌木叶片的N、P含量格局

我国南方灌丛中优势木本植物叶N、P含量(16.57 mg·g⁻¹, 1.02 mg·g⁻¹)较Han等(2005)报道的全国137种灌木植物N、P含量(19.1 mg·g⁻¹, 1.11 mg·g⁻¹)低13.2%和8.1%, 较1 251种全球陆生植物N、P含量(18.3 mg·g⁻¹, 1.42 mg·g⁻¹) (Reich & Oleksyn, 2004)低9.9%和28.9%。在较小的区域上, 南方灌丛中优势木本植物较东部南北样带554种植物N、P含量(17.55 mg·g⁻¹, 1.28 mg·g⁻¹) (任书杰等, 2007)低6.1%和21.1%; 而且远低于北京周边灌木叶N、P含量平均值(24.8 mg·g⁻¹, 1.6 mg·g⁻¹) (韩文轩等, 2009)和黄土高原灌丛(23.43 mg·g⁻¹, 1.20

表2 木本植物叶氮磷含量的广义回归结果

Table 2 Summary of general linear models for leaf N and P content of woody plants

因子 Factor	叶片氮含量 Leaf N content				叶片磷含量 Leaf P content			
	DF	MS	F	SS (%)	DF	MS	F	SS (%)
生活型 Life form	1	2.08	78.51	7.6	1	5.79	199.75	14.4
年平均气温 MAT ()	1	0.07	2.68		1	0.00	0.05	
年降水量 MAP (mm)	1	0.09	3.24		1	0.31	10.52	0.8
土壤氮含量 Soil N content ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	1	0.03	1.22		1	0.37	12.91	0.9
土壤磷含量 Soil P content ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	1	0.63	23.58	2.3	1	6.57	226.60	16.4

DF、MS、F和SS分别表示自由度、平均残差平方和、F值和各因子的解释量; 加粗的F值表示 $p < 0.05$ 。

DF, MS, F and SS represent freedom degree, mean sum of squares, F value and interpretation quantity of each factor. F values in bold indicate $p < 0.05$. MAT, mean annual temperature; MAP, mean annual precipitation.

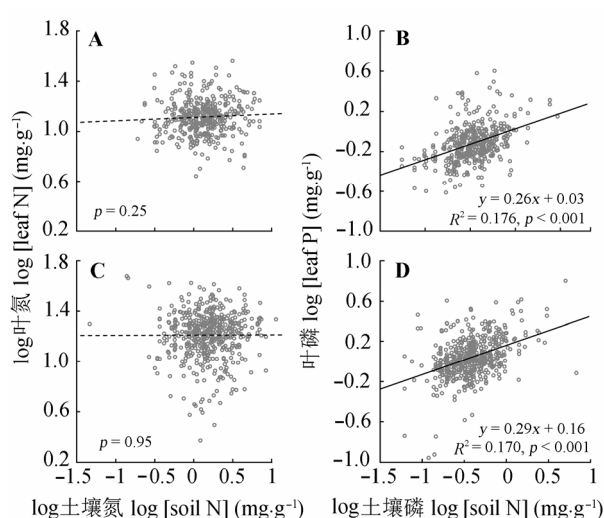


图3 土壤氮、磷含量对常绿(A、B)和落叶木本(C、D)植物叶氮、磷含量的影响。

Fig. 3 Effects of soil N, P concentration on leaf N, P concentration of evergreen (A, B) and deciduous woody plants (C, D).

$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)(李单凤等, 2015)。以往的研究发现, 生长于较低纬度或较高温度条件下的植物有着较低的叶N、P含量(McGroddy *et al.*, 2004; Reich & Oleksyn, 2004), 本研究区域位于热带和亚热带, 纬度偏低、MAT和MAP较高。较高的温度和降水可提高叶片的酶活性和光合作用效率, 养分循环较快, 从而导致较低的N、P含量(Reich & Oleksyn, 2004; He *et al.*, 2008; Cornelissen *et al.*, 2014)。因此, 与中国北方地区以及大尺度的研究相比, 中国南方灌丛优势灌木具有较低的叶N、P含量。

4.2 生活型对木本植物叶N、P含量的影响

植物生活型是叶N、P含量的一个主要决定因子, 以往大量研究已注意到不同生活型植物器官N、P化学计量存在显著差异(Reich & Oleksyn, 2004;

Han *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2013; Sardans & Peñuelas, 2013; Pan *et al.*, 2015), 发现生命周期长且生长慢的植物器官N、P含量较生命周期短且生长迅速的植物高, 并认为植物器官N、P含量是植物代谢能力以及养分利用效率的综合反映(Han *et al.*, 2005; Ågren, 2008)。本研究中, 常绿和落叶木本植物叶N、P含量存在显著差异, 落叶木本植物叶的N、P含量($17.91 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, $1.14 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)显著高于常绿木本植物叶($15.19 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, $0.89 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)(表1), 生活型可分别解释叶片N、P含量7.6%和14.4%的变异(表2)。该结果主要是因为常绿木本植物叶寿命较长, 与落叶木本植物相比, 通常具有更长的养分驻留时间、保守的养分利用策略和更高的养分利用效率; 为了适应低养环境, 常绿木本植物需要投资更多能量用于叶片保护和结构支撑, 从而导致其比落叶木本植物更低的光合速率和养分含量(Edwards *et al.*, 2014), 但常绿性意味着具有较长的光合时间, 保证其具有较高的养分利用效率, 从而减少对土壤养分的依赖。然而, 落叶木本植物通过叶片凋落减少其在不利季节的蒸散和呼吸; 虽然落叶习性意味着较短的叶生命周期, 却有较高的凋落物分解和养分重吸收率, 有着较常绿植物高的光合速率和养分含量。结果证明不同生活型植物的物种特性对养分利用策略的影响较大, 进而决定植物器官的营养元素含量(He *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2012), 支持生长速率假说(Ågren, 2008)。

不论常绿或落叶, 南方灌丛中木本植物叶P含量较N含量具有更大的变异性, 且两者叶N含量的变异系数相当(表1), 结果与以往对其他区域内的研究一致: 物种水平上, 植物叶N含量比P含量具有

更高的自我调控系数,表现出较强的化学内稳态 (Sterner & Elser, 2002; Chen *et al.*, 2013; Pan *et al.*, 2015)。然而,常绿木本植物叶P含量的变异(变异系数(CV) = 0.52)显著高于落叶木本植物(CV = 0.47),说明该生活型植物对低P环境的适应能力种间差异较大,更易受环境变化的影响。虽然常绿和落叶木本植物叶N、P含量对气候因子表现出一定的相关性(图1, 图2),但在GLM分析结果中表现出生活型是叶片N含量变异解释量最大的因子,且对叶P含量的贡献量亦较高。结果表明中国南方灌丛优势木本植物叶N含量主要由植物生长需求决定,受环境影响较小,叶片P含量则受环境因子和植物生活型双重影响。

4.3 气候和土壤对灌木叶片N、P含量的影响

植物的营养元素含量是植物在一定生境下吸收营养元素的能力,也是植物与环境之间相互作用的结果。在全球或国家尺度上,已有研究表明植物叶N、P含量随MAT增高和MAP增加逐渐减少 (Güsewell, 2004; Hedin, 2004; McGroddy *et al.*, 2004; He *et al.*, 2006; Ågren & Weih, 2012; Chen *et al.*, 2013)。然而,中国南方灌丛中常绿和落叶木本植物叶N、P含量与气候因子的关系不同(图1, 图2),其中常绿木本植物叶N、P含量与Han等(2005)与Reich和Oleksyn (2004)的研究结果存在一样的温度趋势,结果支持温度-植物生理假说:叶片N、P含量的增加可补偿低温下代谢速率的下降,因此随温度的增加,叶片N、P含量呈降低趋势(Reich & Oleksyn, 2004)。同时,较高的叶片N、P含量也是植物适应干旱条件的反映(Yang *et al.*, 2014),也可能是较多的降水可增强土壤N、P的淋溶作用,土壤养分的可获得性降低,从而导致常绿木本植物叶N、P含量呈降低的趋势。然而,落叶木本植物叶N、P含量随MAT和MAP的升高而呈增加趋势,可能与较高的温度和较多的降水会加快养分周转,增加土壤养分的可获得性有关;再者,在温暖湿润的环境中,落叶木本植物生长较快,较高的叶N、P含量有助于满足植物快速生长的养分需求,因此落叶木本植物叶N、P含量随年平均气温和年降水量的增加呈增加趋势。

对南方灌丛所有木本植物叶N、P含量变异的GLM分析结果显示气候因子对叶N含量均没有显著影响,而MAP可解释叶P含量变异的0.8% (表2)。该现象一方面因不同生活型灌木叶N含量、P含量对

气候的响应方式不同(图1, 图2),抵消了温度和降水对N含量或P含量的影响;另一方面与N、P循环对气候变化的响应有关。植物体内的N来源充足(大气和土壤中的N),而绝大部分的P则由根系从土壤中吸收,土壤P则主要来源于岩石风化,其在土壤中的迁移受气候变化的影响显著,降水的增加导致土壤淋溶作用增强,土壤养分的可获得性降低,进而降低了植物器官中的P含量,结果与土壤年龄假说 (Reich & Oleksyn, 2004)相符合,即中国南方降水较多,水热同期,土壤淋溶作用强,导致土壤中养分可获得性较低,从而导致了常绿和落叶木本植物叶P含量与MAP的负相关关系(图2B、2D)。

一元线性回归和GLM分析均显示土壤N含量的增加对植物叶N含量没有显著影响;然而与N含量不同,常绿和落叶木本植物叶P含量随土壤P含量的增加均显著增加(图3B、3D),土壤P含量可以单独解释叶P含量16.4%的变异(表2)。一方面因中国南方高温多雨,土壤富铝化作用强烈,淋溶严重,土壤中P的可获得性在全国和全球范围内处于较低水平(汪涛等, 2008)。另一方面该区域属高N沉降区域,降水N沉降已使得生态系统达到N饱和状态(郑丹楠等, 2014),含量较低的P元素对环境变化更加敏感,其对植物生长的限制作用相对于N而言更为突出。除此以外,该现象还与植物对P的利用方式也有关,植物会在土壤P充足的情况下吸收P并以无机态的形式贮藏在体内(Sterner & Elser, 2002)。土壤P含量对灌木叶P含量变异的解释量显著高于气候,结果表明土壤P的可获得性是决定灌木器官P含量的主要环境因子。

5 结论

本研究对中国南方12个省市范围内灌丛优势木本植物叶N、P含量特征进行了系统研究,研究发现: 1)中国南方灌丛中优势木本植物叶N、P含量平均值显著低于北方灌木、全国灌木以及全球陆生植物; N、P的变异特征与前人叶片化学计量的有关研究结果相似,叶P含量较叶N含量具有更高的变异性和环境依赖性。2)因养分利用方式和效率的不同,落叶木本植物叶N、P含量显著高于常绿木本植物,结果支持生长率假说。3)常绿和落叶木本植物叶N、P含量对气候的响应方式不同,这种差异可能与养分的可获性和不同生活型植物生长对养分的

固有需求有关。4)土壤N含量对木本植物叶N含量没有显著影响,叶P含量与土壤P含量显著正相关。5)植物生活型是中国南方灌丛优势木本植物叶N含量变异的一个主要影响因素,而叶P含量变异受生活型、土壤和气候共同决定。不过,南方灌丛中,优势木本植物叶片90%的N变异和67.5%的P变异不能被生活型、气候和土壤养分所解释,可能是因为我国南方灌丛植被人为干扰频繁而强烈,生境特别是土壤的扰动较大,植物与环境之间并未形成稳定的耦合关系,存在较多不可量化的微环境因子以及具体物种间养分对环境梯度响应方式的相互抵消等。

基金项目 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050302)。

参考文献

- Aerts R, Chapin FS III (2000). The mineral nutrition of wild plants revisited: A re-evaluation of processes and patterns. *Advance of Ecology Research*, 30, 1–67.
- Ågren GI (2008). Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39, 153–170.
- Ågren GI, Weih M (2012). Plant stoichiometry at different scales: Element concentration patterns reflect environment more than genotype. *New Phytologist*, 194, 944–952.
- Chen Y, Han W, Tang L, Tang Z, Fang J (2013). Leaf nitrogen and phosphorus concentrations of woody plants differ in responses to climate, soil and plant growth form. *Ecography*, 36, 178–184.
- Cornelissen JHC, Cornwell WE, Austin A (2014). The tree of life in ecosystems: Evolution of plant effects on carbon and nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 102, 269–274.
- Díaz S, Cabido M (2001). Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 16, 646–655.
- Ding F, Lian PY, Zeng DH (2011). Characteristics of plant leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry in relation to soil nitrogen and phosphorus concentrations in Songnen Plain meadow. *Chinese Journal of Ecology*, 30, 77–81. (in Chinese with English abstract) [丁凡, 廉培勇, 曾德慧 (2011). 松嫩平原草甸三种植物叶N、P化学计量特征及其与土壤N、P浓度的关系. 生态学杂志, 30, 77–81.]
- Edwards EJ, Chatelet DS, Sack L, Donoghue MJ, Cornwell W (2014). Leaf life span and the leaf economic spectrum in the context of whole plant architecture. *Journal of Ecology*, 102, 328–336.
- Elser JJ, Bracken ME, Cleland EE, Gruner DS, Harpole WS, Hillebrand H, Ngai JT, Seabloom EW, Shurin JB, Smith JE (2007). Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10, 1135–1142.
- Gan L, Chen FS, Hu XF, Tian QX, Ge G, Zhan SX (2008). Leaf N and P concentrations and their stoichiometric ratios of different functional groups of plants in Nanchang City. *Chinese Journal of Ecology*, 27, 344–348. (in Chinese with English abstract) [甘露, 陈伏生, 胡小飞, 田秋香, 葛刚, 詹书侠 (2008). 南昌市不同植物类群叶片氮磷浓度及其化学计量比. 生态学杂志, 27, 344–348.]
- Güsewell S (2004). N:P ratios in terrestrial plants: Variation and functional significance. *New Phytologist*, 164, 243–266.
- Han W, Fang J, Guo D, Zhang Y (2005). Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China. *New Phytologist*, 168, 377–385.
- Han WX, Wu Y, Tang LY, Chen YH, Li LP, He JS, Fang JY (2009). Leaf carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry across plant species in Beijing and its periphery. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 45, 855–860. (in Chinese with English abstract) [韩文轩, 吴漪, 汤璐瑛, 陈雅涵, 李利平, 贺金生, 方精云 (2009). 北京及周边地区植物叶的碳氮磷元素计量特征. 北京大学学报(自然科学版), 45, 855–860.]
- Hedin LO (2004). Global organization of terrestrial plant-nutrient interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 10849–10850.
- He JS, Fang J, Wang Z, Guo D, Flynn DF, Geng Z (2006). Stoichiometry and large-scale patterns of leaf carbon and nitrogen in the grassland biomes of China. *Oecologia*, 149, 115–122.
- He JS, Wang L, Flynn DF, Wang X, Ma W, Fang J (2008). Leaf nitrogen:phosphorus stoichiometry across Chinese grassland biomes. *Oecologia*, 155, 301–310.
- Hong J, Wang X, Wu J (2014). Stoichiometry of root and leaf nitrogen and phosphorus in a dry alpine steppe on the northern Tibetan Plateau. *PLOS ONE*, 9, e109052. doi: 10.1371/journal.pone.0109052.
- Hu HF, Wang ZH, Liu GH, Fu BJ (2006). Vegetation carbon storage of major shrublands in China. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 30, 539–544. (in Chinese with English abstract) [胡会峰, 王志恒, 刘国华, 傅伯杰 (2006). 中国主要灌丛植被碳储量. 植物生态学报, 30, 539–544.]
- Kerkhoff AJ, Enquist BJ, Elser JJ, Fagan WF (2005). Plant allometry, stoichiometry and the temperature-dependence of primary productivity. *Global Ecology and Biogeography*, 14, 585–598.
- Koerselman W, Meuleman AFM (1996). The vegetation N:P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, 33, 1441–1450.
- Li DF, Yu SL, Wang GX, Fang WW (2015). Environmental heterogeneity and mechanism of stoichiometry properties

doi: 10.17521/cjpe.2016.0251

- of vegetative organs in dominant shrub communities across the Loess Plateau. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 39, 453–465. (in Chinese with English abstract) [李单凤, 于顺利, 王国勋, 方伟伟 (2015). 黄土高原优势灌丛营养器官化学计量特征的环境分异和机制. 植物生态学报, 39, 453–465.]
- Lin ZB, Yan PY, Yang ZJ, Wan XH, Chen GS (2011). Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 101 woody species in Wanmulin, Fujian Province. *Journal of Subtropical Resources & Environment*, 6, 32–38. (in Chinese with English abstract) [林志斌, 严平勇, 杨智杰, 万晓华, 陈光水 (2011). 福建万木林101种常见木本植物叶N, P化学计量学特征. 亚热带资源与环境学报, 6, 32–38.]
- Liu C, Wang Y, Wang N, Wang GX (2012). Advances research in plant nitrogen, phosphorus and their stoichiometry in terrestrial eco-systems: A review. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 36, 1205–1216. (in Chinese with English abstract) [刘超, 王洋, 王楠, 王根轩 (2012). 陆地生态系统植被氮磷化学计量研究进展. 植物生态学报, 36, 1205–1216.]
- McGroddy ME, Daufresne T, Hedin LO (2004). Scaling of C:N:P stoichiometry in forests worldwide: Implications of terrestrial Redfield-type ratios. *Ecology*, 85, 2390–2401.
- Nottingham AT, Turner BL, Stott AW, Tanner EVJ (2015). Nitrogen and phosphorus constrain labile and stable carbon turnover in lowland tropical forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 80, 26–33.
- Pan F, Zhang W, Liu S, Li D, Wang K (2015). Leaf N:P stoichiometry across plant functional groups in the karst region of southwestern China. *Trees*, 29, 883–892.
- Petter G, Wagner K, Wanek W, Delgado EJS, Zotz G, Cabral JS, Kreft H (2016). Functional leaf traits of vascular epiphytes: Vertical trends within the forest, intra-and interspecific trait variability, and taxonomic signals. *Functional Ecology*, 30, 188–198.
- Piao SL, Fang JY, Ciais P, Peylin P, Huang Y, Sitch S, Wang T (2009). The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *Nature*, 458, 1009–1013.
- Reich PB, Oleksyn J (2004). Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 11001–11006.
- Sardans J, Peñuelas J (2013). Tree growth changes with climate and forest type are associated with relative allocation of nutrients, especially phosphorus, to leaves and wood. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 494–507.
- Reich PB (2005). Global biogeography of plant chemistry: Filling in the blanks. *New Phytologist*, 168, 263–266.
- Ren SJ, Yu GR, Tao B, Wang SQ (2007). Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 654 terrestrial plant species in NSTEC. *Environmental Science*, 28, 2665–2673. (in Chinese with English abstract) [任书杰, 于贵瑞, 陶波, 王绍强 (2007). 中国东部南北样带654种植物叶氮和磷的化学计量学特征研究. 环境科学, 28, 2665–2673.]
- Sterner RW, Elser JJ (2002). *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*. Princeton University Press, Princeton.
- The Editorial Committee of Vegetation Map of China, Chinese Academy of Sciences (2007). *Vegetation Map of the People's Republic of China 1:1 000 000*. Geological Publishing House, Beijing. (in Chinese) [中国科学院中国植被图编辑委员会 (2007). 中华人民共和国植被图 1:1 000 000. 地质出版社, 北京.]
- Wang JY, Wang SQ, Li RL, Yan JH, Sha LQ, Han SJ (2011). C:N:P stoichiometric characteristics of four forest types' dominant tree species in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 35, 587–595. (in Chinese with English abstract) [王晶苑, 王绍强, 李纫兰, 闫俊华, 沙丽清, 韩士杰 (2011). 中国四种森林类型主要优势植物的C:N:P化学计量学特征. 植物生态学报, 35, 587–595.]
- Wang T, Yang YH, Ma WH (2008). Storage, patterns and environmental controls of soil phosphorus in China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 44, 549–556. (in Chinese with English abstract) [汪涛, 杨元合, 马文红 (2008). 中国土壤磷库的大小、分布及其影响因素. 北京大学学报(自然科学版), 44, 549–556.]
- Wu TG, Yu MK, Wang GG, Dong Y, Cheng XR (2012). Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across forty-two woody species in southeast China. *Biochemical Systematics & Ecology*, 44, 255–263.
- Xie ZQ, Tang ZY (2015). Technical specification of field investigation and laboratory analysis for carbon sequestration in shrubland ecosystems. In: Compilation Group of Observation and Investigation for Carbon Sequestration in Terrestrial Ecosystems ed. *Observation and Investigation for Carbon Sequestration in Terrestrial Ecosystems*. Science Press, Beijing. 145–191. (in Chinese) [谢宗强, 唐志尧 (2015). 灌丛生态系统固碳研究的野外调查与室内分析技术规范. 见: 生态系统固碳观测与调查技术规范编写组编 (2015). 生态系统固碳观测与调查技术规范. 科学出版社, 北京. 145–191.]
- Yang X, Tang Z, Ji C, Liu H, Ma W, Mohhamot A, Shi Z, Sun W, Wang T, Wang X, Wu X, Yu S, Yue M, Zheng C (2014). Scaling of nitrogen and phosphorus across plant organs in shrubland biomes across northern China. *Scientific Reports*, 4, 5448.
- Zeng DH, Chen GS (2005). Ecological stoichiometry: A science to explore the complexity of living systems. *Acta Phytocologica Sinica*, 29, 1007–1019. (in Chinese with English abstract) [曾德慧, 陈广生 (2005). 生态化学计量学——复杂生命系统奥秘的探索. 植物生态学报, 29,

1007–1019.]

Zhang LX (2003). *Plant N:P Stoichiometry: The Differentiation Rules and Preliminary Validation in Field Experiments of High Plants of China*. PhD dissertation, Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Beijing. (in Chinese with English abstract) [张丽霞 (2003). 植物N:P计量化学: 中国高等植物的分异规律与野外实验初步验证. 博士学位论文, 中国科学院植物研究所, 北京.]

Zhao N, He N, Wang Q, Zhang X, Wang R, Xu Z, Yu G (2014). The altitudinal patterns of leaf C:N:P stoichiometry are regulated by plant growth form, climate and

soil on Changbai Mountain, China. *PLOS ONE*, 9: e95196. doi: 10.1371/journal.pone.0095196.

Zheng DN, Wang XS, Xie SD, Duan L, Chen DS (2014). Simulation of atmospheric nitrogen deposition in China in 2010. *China Environmental Science*, 34, 1089–1097. (in Chinese with English abstract) [郑丹楠, 王雪松, 谢绍东, 段雷, 陈东升 (2014). 2010年中国大气氮沉降特征分析. 中国环境科学, 34, 1089–1097.]

责任编辑: 曹坤芳 责任编辑: 李 敏

附录I 中国南方灌丛优势木本植物名录及生活型

Appendix I Plant catalogue and life form of dominant woody plants in shrublands across southern China

科名 Family	属名 Genera	种名 Species	生活型 Life form
八角枫科 Alangiaceae	八角枫属 <i>Alangium</i>	瓜木 <i>Alangium platanifolium</i>	落叶 Deciduous
漆树科 Anacardiaceae	黄栌属 <i>Cotinus</i>	黄栌 <i>Cotinus coggygia</i>	落叶 Deciduous
漆树科 Anacardiaceae	盐肤木属 <i>Rhus</i>	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	落叶 Deciduous
漆树科 Anacardiaceae	漆属 <i>Toxicodendron</i>	野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	落叶 Deciduous
番荔枝科 Annonaceae	假鹰爪属 <i>Desmos</i>	假鹰爪 <i>Desmos chinensis</i>	常绿 Evergreen
番荔枝科 Annonaceae	暗罗属 <i>Polyalthia</i>	细基丸 <i>Polyalthia cerasoides</i>	常绿 Evergreen
番荔枝科 Annonaceae	紫玉盘属 <i>Uvaria</i>	紫玉盘 <i>Uvaria microcarpa</i>	常绿 Evergreen
冬青科 Aquifoliaceae	冬青属 <i>Ilex</i>	秤星树 <i>Ilex asprella</i>	落叶 Deciduous
冬青科 Aquifoliaceae	冬青属 <i>Ilex</i>	刺叶冬青 <i>Ilex bioritsensis</i>	常绿 Evergreen
冬青科 Aquifoliaceae	冬青属 <i>Ilex</i>	冬青 <i>Ilex chinensis</i>	常绿 Evergreen
冬青科 Aquifoliaceae	冬青属 <i>Ilex</i>	大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>	常绿 Evergreen
冬青科 Aquifoliaceae	冬青属 <i>Ilex</i>	具柄冬青 <i>Ilex pedunculosa</i>	常绿 Evergreen
五加科 Araliaceae	楸木属 <i>Aralia</i>	楸木 <i>Aralia chinensis</i>	落叶 Deciduous
禾本科 Gramineae	箭竹属 <i>Fargesia</i>	箭竹 <i>Fargesia spathacea</i>	常绿 Evergreen
禾本科 Gramineae	刚竹属 <i>Phyllostachys</i>	篾竹 <i>Phyllostachys nidularia</i>	常绿 Evergreen
禾本科 Gramineae	刚竹属 <i>Phyllostachys</i>	金竹 <i>Phyllostachys sulphurea</i>	常绿 Evergreen
桦木科 Betulaceae	鹅耳枥属 <i>Carpinus</i>	鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	落叶 Deciduous
紫葳科 Bignoniaceae	菜豆树属 <i>Radermachera</i>	菜豆树 <i>Radermachera sinica</i>	常绿 Evergreen
紫草科 Boraginaceae	基及树属 <i>Carmona</i>	基及树 <i>Carmona micarophylla</i>	常绿 Evergreen
忍冬科 Caprifoliaceae	六道木属 <i>Abelia</i>	糯米条 <i>Abelia chinensis</i>	落叶 Deciduous
忍冬科 Caprifoliaceae	英蒾属 <i>Viburnum</i>	金佛山英蒾 <i>Viburnum chinshanense</i>	常绿 Evergreen
忍冬科 Caprifoliaceae	英蒾属 <i>Viburnum</i>	英蒾 <i>Viburnum dilatatum</i>	落叶 Deciduous
忍冬科 Caprifoliaceae	英蒾属 <i>Viburnum</i>	红英蒾 <i>Viburnum erubescens</i>	常绿 Evergreen
忍冬科 Caprifoliaceae	英蒾属 <i>Viburnum</i>	球核英蒾 <i>Viburnum propinquum</i>	常绿 Evergreen
忍冬科 Caprifoliaceae	英蒾属 <i>Viburnum</i>	烟管英蒾 <i>Viburnum utile</i>	常绿 Evergreen
忍冬科 Caprifoliaceae	锦带花属 <i>Weigela</i>	半边月 <i>Weigela japonica</i> var. <i>sinica</i>	落叶 Deciduous
卫矛科 Celastraceae	南蛇藤属 <i>Celastrus</i>	南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i>	落叶 Deciduous
卫矛科 Celastraceae	美登木属 <i>Maytenus</i>	刺茶美登木 <i>Maytenus variabilis</i>	常绿 Evergreen
牛栓藤科 Connaraceae	红叶藤属 <i>Rourea</i>	红叶藤 <i>Rourea minor</i>	常绿 Evergreen
马桑科 Coriariaceae	马桑属 <i>Coriaria</i>	马桑 <i>Coriaria nepalensis</i>	落叶 Deciduous
山茱萸科 Comaceae	鞘柄木属 <i>Toricellia</i>	角叶鞘柄木 <i>Toricellia angulata</i>	落叶 Deciduous
柿树科 Ebenaceae	柿树属 <i>Diospyros</i>	野柿 <i>Diospyros kaki</i> var. <i>silvestris</i>	落叶 Deciduous
杜鹃花科 Ericaceae	珍珠花属 <i>Lyonia</i>	小果珍珠花 <i>Lyonia ovalifolia</i> var. <i>elliptica</i>	落叶 Deciduous
杜鹃花科 Ericaceae	杜鹃属 <i>Rhododendron</i>	满山红 <i>Rhododendron mariesii</i>	落叶 Deciduous
杜鹃花科 Ericaceae	杜鹃属 <i>Rhododendron</i>	杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	落叶 Deciduous
杜鹃花科 Ericaceae	越桔属 <i>Vaccinium</i>	南烛 <i>Vaccinium bracteatum</i>	常绿 Evergreen
杜鹃花科 Ericaceae	越桔属 <i>Vaccinium</i>	短尾越桔 <i>Vaccinium carlesii</i>	常绿 Evergreen
杜鹃花科 Ericaceae	越桔属 <i>Vaccinium</i>	江南越桔 <i>Vaccinium mandarinorum</i>	常绿 Evergreen
大戟科 Euphorbiaceae	山麻杆属 <i>Alchornea</i>	红背山麻杆 <i>Alchornea trewioides</i>	落叶 Deciduous

doi: 10.17521/cjpe.2016.0251

附录I (续) Appendix I (continued)

科名 Family	属名 Genera	种名 Species	生活型 Life form
大戟科 Euphorbiaceae	重阳木属 <i>Bischofia</i>	重阳木 <i>Bischofia polycarpa</i>	落叶 Deciduous
大戟科 Euphorbiaceae	黑面神属 <i>Breynia</i>	黑面神 <i>Breynia fruticosa</i>	常绿 Evergreen
大戟科 Euphorbiaceae	算盘子属 <i>Glochidion</i>	算盘子 <i>Glochidion puberum</i>	落叶 Deciduous
大戟科 Euphorbiaceae	野桐属 <i>Mallotus</i>	白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	落叶 Deciduous
大戟科 Euphorbiaceae	野桐属 <i>Mallotus</i>	野桐 <i>Mallotus japonicus</i> var. <i>floccosus</i>	落叶 Deciduous
大戟科 Euphorbiaceae	叶下珠属 <i>Phyllanthus</i>	余甘子 <i>Phyllanthus emblica</i>	落叶 Deciduous
大戟科 Euphorbiaceae	乌桕属 <i>Sapium</i>	乌桕 <i>Sapium sebiferum</i>	落叶 Deciduous
壳斗科 Fagaceae	栗属 <i>Castanea</i>	茅栗 <i>Castanea seguinii</i>	落叶 Deciduous
壳斗科 Fagaceae	栲属 <i>Castanopsis</i>	苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	常绿 Evergreen
壳斗科 Fagaceae	青冈属 <i>Cyclobalanopsis</i>	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	常绿 Evergreen
壳斗科 Fagaceae	青冈属 <i>Cyclobalanopsis</i>	细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>	常绿 Evergreen
壳斗科 Fagaceae	青冈属 <i>Cyclobalanopsis</i>	多脉青冈 <i>Cyclobalanopsis multinervis</i>	常绿 Evergreen
壳斗科 Fagaceae	青冈属 <i>Cyclobalanopsis</i>	曼青冈 <i>Cyclobalanopsis oxyodon</i>	常绿 Evergreen
壳斗科 Fagaceae	石栎属 <i>Lithocarpus</i>	石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>	常绿 Evergreen
壳斗科 Fagaceae	栎属 <i>Quercus</i>	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	落叶 Deciduous
壳斗科 Fagaceae	栎属 <i>Quercus</i>	槲栎 <i>Quercus aliena</i>	落叶 Deciduous
壳斗科 Fagaceae	栎属 <i>Quercus</i>	小叶栎 <i>Quercus chenii</i>	落叶 Deciduous
壳斗科 Fagaceae	栎属 <i>Quercus</i>	白栎 <i>Quercus fabri</i>	落叶 Deciduous
壳斗科 Fagaceae	栎属 <i>Quercus</i>	短柄枹栎 <i>Quercus serrata</i> var. <i>brevipetiolata</i>	落叶 Deciduous
壳斗科 Fagaceae	栎属 <i>Quercus</i>	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	落叶 Deciduous
大风子科 Flacourtiaceae	山桂花属 <i>Bennettiodendron</i>	山桂花 <i>Bennettiodendron leprosipes</i>	常绿 Evergreen
大风子科 Flacourtiaceae	刺篱木属 <i>Flacourtia</i>	刺篱木 <i>Flacourtia indica</i>	落叶 Deciduous
大风子科 Flacourtiaceae	薊柎属 <i>Scolopia</i>	珍珠薊柎 <i>Scolopia henryi</i>	常绿 Evergreen
藤黄科 Guttiferae	黄牛木属 <i>Cratoxylum</i>	黄牛木 <i>Cratoxylum cochinchinensis</i>	常绿 Evergreen
藤黄科 Guttiferae	金丝桃属 <i>Hypericum</i>	金丝桃 <i>Hypericum monogynum</i>	落叶 Deciduous
金缕梅科 Hamamelidaceae	蜡瓣花属 <i>Corylopsis</i>	蜡瓣花 <i>Corylopsis sinensis</i>	落叶 Deciduous
金缕梅科 Hamamelidaceae	金缕梅属 <i>Hamamelis</i>	金缕梅 <i>Hamamelis mollis</i>	落叶 Deciduous
金缕梅科 Hamamelidaceae	枫香树属 <i>Liquidambar</i>	枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	落叶 Deciduous
金缕梅科 Hamamelidaceae	欆木属 <i>Loropetalum</i>	欆木 <i>Loropetalum chinense</i>	常绿 Evergreen
胡桃科 Juglandaceae	化香树属 <i>Platycarya</i>	化香树 <i>Platycarya strobilacea</i>	落叶 Deciduous
樟科 Lauraceae	山胡椒属 <i>Lindera</i>	乌药 <i>Lindera aggregata</i>	常绿 Evergreen
樟科 Lauraceae	山胡椒属 <i>Lindera</i>	香叶树 <i>Lindera communis</i>	常绿 Evergreen
樟科 Lauraceae	山胡椒属 <i>Lindera</i>	香叶子 <i>Lindera fragrans</i>	常绿 Evergreen
樟科 Lauraceae	山胡椒属 <i>Lindera</i>	山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	落叶 Deciduous
樟科 Lauraceae	木姜子属 <i>Litsea</i>	山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	落叶 Deciduous
樟科 Lauraceae	木姜子属 <i>Litsea</i>	潺槁木姜子 <i>Litsea glutinosa</i>	常绿 Evergreen
樟科 Lauraceae	木姜子属 <i>Litsea</i>	毛叶木姜子 <i>Litsea mollis</i>	落叶 Deciduous
樟科 Lauraceae	木姜子属 <i>Litsea</i>	木姜子 <i>Litsea pungens</i>	落叶 Deciduous
樟科 Lauraceae	木姜子属 <i>Litsea</i>	豺皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	常绿 Evergreen
樟科 Lauraceae	木姜子属 <i>Litsea</i>	钝叶木姜子 <i>Litsea veitchiana</i>	常绿 Evergreen
樟科 Lauraceae	润楠属 <i>Machilus</i>	黄绒润楠 <i>Machilus grijsii</i>	常绿 Evergreen
樟科 Lauraceae	润楠属 <i>Machilus</i>	绒毛润楠 <i>Machilus velutina</i>	常绿 Evergreen
豆科 Leguminosae	金合欢属 <i>Acacia</i>	金合欢 <i>Acacia farnesiana</i>	落叶 Deciduous
豆科 Leguminosae	合欢属 <i>Albizia</i>	合欢 <i>Albizia julibrissin</i>	落叶 Deciduous
豆科 Leguminosae	合欢属 <i>Albizia</i>	山槐 <i>Albizia kalkora</i>	落叶 Deciduous
豆科 Leguminosae	紫穗槐属 <i>Amorpha</i>	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	落叶 Deciduous
豆科 Leguminosae	羊蹄甲属 <i>Bauhinia</i>	龙须藤 <i>Bauhinia championii</i>	常绿 Evergreen
豆科 Leguminosae	羊蹄甲属 <i>Bauhinia</i>	羊蹄甲 <i>Bauhinia purpurea</i>	落叶 Deciduous
豆科 Leguminosae	云实属 <i>Caesalpinia</i>	云实 <i>Caesalpinia decapetala</i>	落叶 Deciduous
豆科 Leguminosae	杭子梢属 <i>Campylotropis</i>	杭子梢 <i>Campylotropis macrocarpa</i>	落叶 Deciduous
豆科 Leguminosae	黄檀属 <i>Dalbergia</i>	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	落叶 Deciduous
豆科 Leguminosae	黄檀属 <i>Dalbergia</i>	象鼻藤 <i>Dalbergia mimosoides</i>	落叶 Deciduous
豆科 Leguminosae	木蓝属 <i>Indigofera</i>	苏木蓝 <i>Indigofera carlesii</i>	落叶 Deciduous
豆科 Leguminosae	木蓝属 <i>Indigofera</i>	马棘 <i>Indigofera pseudotinctoria</i>	落叶 Deciduous

附录I (续) Appendix I (continued)

科名 Family	属名 Genera	种名 Species	生活型 Life form
豆科 Leguminosae	胡枝子属 <i>Lespedeza</i>	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	落叶 Deciduous
豆科 Leguminosae	银合欢属 <i>Leucaena</i>	银合欢 <i>Leucaena leucocephala</i>	落叶 Deciduous
百合科 Liliaceae	龙血树属 <i>Dracaena</i>	海南龙血树 <i>Dracaena cambodiana</i>	常绿 Evergreen
千屈菜科 Lythraceae	紫薇属 <i>Lagerstroemia</i>	紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	落叶 Deciduous
锦葵科 Malvaceae	梵天花属 <i>Urena</i>	地桃花 <i>Urena lobata</i> var. <i>lobata</i>	落叶 Deciduous
锦葵科 Malvaceae	梵天花属 <i>Urena</i>	梵天花 <i>Urena procumbens</i>	落叶 Deciduous
野牡丹科 Melastomataceae	野牡丹属 <i>Melastoma</i>	野牡丹 <i>Melastoma candidum</i>	常绿 Evergreen
野牡丹科 Melastomataceae	野牡丹属 <i>Melastoma</i>	毛稔 <i>Melastoma sanguineum</i>	常绿 Evergreen
野牡丹科 Melastomataceae	金锦香属 <i>Osbeckia</i>	朝天罐 <i>Osbeckia opipara</i>	常绿 Evergreen
楝科 Meliaceae	浆果楝属 <i>Cipadessa</i>	灰毛浆果楝 <i>Cipadessa cinerascens</i>	落叶 Deciduous
桑科 Moraceae	构树属 <i>Broussonetia</i>	小构 <i>Broussonetia kazinoki</i>	落叶 Deciduous
桑科 Moraceae	构树属 <i>Broussonetia</i>	构树 <i>Broussonetia papyifera</i>	落叶 Deciduous
桑科 Moraceae	柘属 <i>Cudrania</i>	柘树 <i>Cudrania tricuspidata</i>	落叶 Deciduous
桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	山榕 <i>Ficus heterophylla</i>	落叶 Deciduous
桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	对叶榕 <i>Ficus hispida</i>	常绿 Evergreen
桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	榕树 <i>Ficus microcarpa</i>	常绿 Evergreen
桑科 Moraceae	鹊肾树属 <i>Streblus</i>	叶被木 <i>Streblus taxoides</i>	常绿 Evergreen
紫金牛科 Myrsinaceae	铁仔属 <i>Myrsine</i>	铁仔 <i>Myrsine africana</i>	常绿 Evergreen
桃金娘科 Myrtaceae	岗松属 <i>Baeckea</i>	岗松 <i>Baeckea frutescens</i>	常绿 Evergreen
桃金娘科 Myrtaceae	番石榴属 <i>Psidium</i>	番石榴 <i>Psidium guajava</i>	常绿 Evergreen
桃金娘科 Myrtaceae	桃金娘属 <i>Rhodomyrtus</i>	桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	常绿 Evergreen
桃金娘科 Myrtaceae	蒲桃属 <i>Syzygium</i>	赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i>	常绿 Evergreen
桃金娘科 Myrtaceae	蒲桃属 <i>Syzygium</i>	方枝蒲桃 <i>Syzygium tephrodes</i>	常绿 Evergreen
木犀科 Oleaceae	流苏树属 <i>Chionanthus</i>	流苏树 <i>Chionanthus retusus</i>	落叶 Deciduous
木犀科 Oleaceae	女贞属 <i>Ligustrum</i>	女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	常绿 Evergreen
木犀科 Oleaceae	女贞属 <i>Ligustrum</i>	女蜡 <i>Ligustrum sinense</i>	常绿 Evergreen
露兜树科 Pandanaceae	露兜树属 <i>Pandanus</i>	露兜树 <i>Pandanus tectorius</i>	常绿 Evergreen
海桐花科 Pittosporaceae	海桐属 <i>Pittosporum</i>	海桐 <i>Pittosporum tobira</i>	常绿 Evergreen
鼠李科 Rhamnaceae	鼠李属 <i>Rhamnus</i>	长叶冻绿 <i>Rhamnus crenata</i>	落叶 Deciduous
鼠李科 Rhamnaceae	鼠李属 <i>Rhamnus</i>	圆叶鼠李 <i>Rhamnus globosa</i>	落叶 Deciduous
鼠李科 Rhamnaceae	鼠李属 <i>Rhamnus</i>	皱叶鼠李 <i>Rhamnus rugulosa</i>	落叶 Deciduous
鼠李科 Rhamnaceae	雀梅藤属 <i>Sageretia</i>	雀梅藤 <i>Sageretia thea</i>	落叶 Deciduous
蔷薇科 Rosaceae	桃属 <i>Amygdalus</i>	桃 <i>Amygdalus persica</i>	落叶 Deciduous
蔷薇科 Rosaceae	稠李属 <i>Padus</i>	稠李 <i>Padus racemosa</i>	落叶 Deciduous
蔷薇科 Rosaceae	火棘属 <i>Pyracantha</i>	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	常绿 Evergreen
蔷薇科 Rosaceae	石斑木属 <i>Raphiolepis</i>	石斑木 <i>Raphiolepis indica</i>	常绿 Evergreen
蔷薇科 Rosaceae	蔷薇属 <i>Rosa</i>	小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i>	落叶 Deciduous
蔷薇科 Rosaceae	蔷薇属 <i>Rosa</i>	黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i>	落叶 Deciduous
蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	乌泡子 <i>Rubus parkeri</i>	落叶 Deciduous
蔷薇科 Rosaceae	绣线菊属 <i>Spiraea</i>	麻叶绣线菊 <i>Spiraea cantoniensis</i>	落叶 Deciduous
蔷薇科 Rosaceae	绣线菊属 <i>Spiraea</i>	中华绣线菊 <i>Spiraea chinensis</i>	落叶 Deciduous
蔷薇科 Rosaceae	绣线菊属 <i>Spiraea</i>	疏毛绣线菊 <i>Spiraea hirsuta</i>	落叶 Deciduous
蔷薇科 Rosaceae	绣线菊属 <i>Spiraea</i>	鄂西绣线菊 <i>Spiraea veitchii</i>	落叶 Deciduous
茜草科 Rubiaceae	水团花属 <i>Adina</i>	水团花 <i>Adina pilulifera</i>	常绿 Evergreen
茜草科 Rubiaceae	水团花属 <i>Adina</i>	细叶水团花 <i>Adina rubella</i>	落叶 Deciduous
茜草科 Rubiaceae	鱼骨木属 <i>Canthium</i>	猪肚木 <i>Canthium horridum</i>	常绿 Evergreen
茜草科 Rubiaceae	栀子属 <i>Gardenia</i>	栀子 <i>Gardenia jasminoides</i>	常绿 Evergreen
茜草科 Rubiaceae	野丁香属 <i>Leptodermis</i>	薄皮木 <i>Leptodermis oblonga</i>	落叶 Deciduous
茜草科 Rubiaceae	玉叶金花属 <i>Mussaenda</i>	大叶白纸扇 <i>Mussaenda esquirollii</i>	落叶 Deciduous
茜草科 Rubiaceae	九节属 <i>Psychotria</i>	九节 <i>Psychotria rubra</i>	常绿 Evergreen
茜草科 Rubiaceae	六月雪属 <i>Serissa</i>	六月雪 <i>Serissa japonica</i>	常绿 Evergreen
芸香科 Rutaceae	黄皮属 <i>Clausena</i>	假黄皮 <i>Clausena excavata</i>	常绿 Evergreen
芸香科 Rutaceae	花椒属 <i>Zanthoxylum</i>	竹叶花椒 <i>Zanthoxylum armatum</i>	落叶 Deciduous
芸香科 Rutaceae	花椒属 <i>Zanthoxylum</i>	簕欌花椒 <i>Zanthoxylum avicennae</i>	常绿 Evergreen

doi: 10.17521/cjpe.2016.0251

附录I (续) Appendix I (continued)

科名 Family	属名 Genera	种名 Species	生活型 Life form
芸香科 Rutaceae	花椒属 <i>Zanthoxylum</i>	花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i>	落叶 Deciduous
杨柳科 Salicaceae	柳属 <i>Salix</i>	杞柳 <i>Salix integra</i>	落叶 Deciduous
杨柳科 Salicaceae	柳属 <i>Salix</i>	秋华柳 <i>Salix variegata</i>	落叶 Deciduous
杨柳科 Salicaceae	柳属 <i>Salix</i>	皂柳 <i>Salix wallichiana</i>	落叶 Deciduous
无患子科 Sapindaceae	无患子属 <i>Sapindus</i>	无患子 <i>Sapindus saponaria</i>	落叶 Deciduous
虎耳草科 Saxifragaceae	鼠刺属 <i>Itea</i>	鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	常绿 Evergreen
虎耳草科 Saxifragaceae	鼠刺属 <i>Itea</i>	冬青叶鼠刺 <i>Itea ilicifolia</i>	常绿 Evergreen
虎耳草科 Saxifragaceae	鼠刺属 <i>Itea</i>	矩叶鼠刺 <i>Itea oblonga</i>	常绿 Evergreen
苦木科 Simaroubaceae	牛筋果属 <i>Harrisonia</i>	牛筋果 <i>Harrisonia perforata</i>	常绿 Evergreen
省沽油科 Staphyleaceae	野鸦椿属 <i>Euscaphis</i>	野鸦椿 <i>Euscaphis japonica</i>	落叶 Deciduous
梧桐科 Sterculiaceae	翅子树属 <i>Pterospermum</i>	翻白叶树 <i>Pterospermum heterophyllum</i>	常绿 Evergreen
安息香科 Styracaceae	赤杨叶属 <i>Alniphyllum</i>	赤杨叶 <i>Alniphyllum fortunei</i>	落叶 Deciduous
安息香科 Styracaceae	安息香属 <i>Styrax</i>	野茉莉 <i>Styrax japonicus</i>	落叶 Deciduous
安息香科 Styracaceae	安息香属 <i>Styrax</i>	芬芳安息香 <i>Styrax odoratissima</i>	落叶 Deciduous
山矾科 Symplocaceae	山矾属 <i>Symplocos</i>	白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	落叶 Deciduous
山矾科 Symplocaceae	山矾属 <i>Symplocos</i>	叶萼山矾 <i>Symplocos phylloclalyx</i>	常绿 Evergreen
山矾科 Symplocaceae	山矾属 <i>Symplocos</i>	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	常绿 Evergreen
山矾科 Symplocaceae	山矾属 <i>Symplocos</i>	棱角山矾 <i>Symplocos tetragona</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	杨桐属 <i>Adinandra</i>	杨桐 <i>Adinandra millettii</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	山茶属 <i>Camellia</i>	贵州连蕊茶 <i>Camellia costei</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	山茶属 <i>Camellia</i>	尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i> var. <i>cuspidata</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	山茶属 <i>Camellia</i>	毛柄连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	山茶属 <i>Camellia</i>	山茶 <i>Camellia japonica</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	山茶属 <i>Camellia</i>	油茶 <i>Camellia oleifera</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	山茶属 <i>Camellia</i>	茶 <i>Camellia sinensis</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	红淡比属 <i>Cleyera</i>	红淡比 <i>Cleyera japonica</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	柃木属 <i>Eurya</i>	短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	柃木属 <i>Eurya</i>	柃木 <i>Eurya japonica</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	柃木属 <i>Eurya</i>	格药柃 <i>Eurya muricata</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	柃木属 <i>Eurya</i>	钝叶柃 <i>Eurya obtusifolia</i>	常绿 Evergreen
山茶科 Theaceae	木荷属 <i>Schima</i>	木荷 <i>Schima superba</i>	常绿 Evergreen
瑞香科 Thymelaeaceae	瑞香属 <i>Daphne</i>	倒卵叶瑞香 <i>Daphne gruenigiana</i>	常绿 Evergreen
椴树科 Tiliaceae	扁担杆属 <i>Grewia</i>	扁担杆 <i>Grewia biloba</i>	落叶 Deciduous
榆科 Ulmaceae	朴属 <i>Celtis</i>	紫弹树 <i>Celtis biondii</i>	落叶 Deciduous
榆科 Ulmaceae	朴属 <i>Celtis</i>	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	落叶 Deciduous
榆科 Ulmaceae	山油麻属 <i>Trema</i>	山油麻 <i>Trema cannabina</i> var. <i>dielsiana</i>	落叶 Deciduous
榆科 Ulmaceae	榆属 <i>Ulmus</i>	榆树 <i>Ulmus pumila</i>	落叶 Deciduous
荨麻科 Urticaceae	紫麻属 <i>Oreocnide</i>	紫麻 <i>Oreocnide frutescens</i>	常绿 Evergreen
马鞭草科 Verbenaceae	紫珠属 <i>Callicarpa</i>	紫珠 <i>Callicarpa bodinieri</i>	落叶 Deciduous
马鞭草科 Verbenaceae	大青属 <i>Clerodendrum</i>	大青 <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	落叶 Deciduous
马鞭草科 Verbenaceae	马缨丹属 <i>Lantana</i>	马缨丹 <i>Lantana camara</i>	常绿 Evergreen
马鞭草科 Verbenaceae	牡荆属 <i>Vitex</i>	黄荆 <i>Vitex negundo</i>	落叶 Deciduous
马鞭草科 Verbenaceae	牡荆属 <i>Vitex</i>	牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	落叶 Deciduous
马鞭草科 Verbenaceae	牡荆属 <i>Vitex</i>	荆条 <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>	落叶 Deciduous
马鞭草科 Verbenaceae	牡荆属 <i>Vitex</i>	山牡荆 <i>Vitex quinata</i>	落叶 Deciduous
马鞭草科 Verbenaceae	牡荆属 <i>Vitex</i>	蔓荆 <i>Vitex trifolia</i>	落叶 Deciduous