

# 云南石林地区石灰岩山地种子 植物区系成分的研究

崔建武<sup>1,2</sup>, 刘文耀<sup>1,3\*</sup>, 李玉辉<sup>4</sup>, 沈有信<sup>1</sup>, 刘伦辉<sup>1</sup>

(1. 中国科学院西双版纳植物园昆明分部, 云南昆明 650223; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;  
3. 澳大利亚科廷理工大学, GPO Box U1987 Perth, WA 6845, 云南师范大学, 云南昆明 650092)

**摘要:** 云南石林是我国为数不多的世界地质公园。分析了云南石林地区石灰岩山地植物区系从科到种的组成特征。调查统计分析的植物共有维管植物 147 科 533 属 889 种, 其中种子植物占 133 科 508 属 846 种。种子植物科级区系成分中, 以亚热带科为主, 暖温带科次之。属级区系成分中, 热带分布属占优势, 占总属数的 56.2%, 温带分布属也占近三分之一, 这表明该植物区系的过渡性即亚热带性质。在其种级区系组成中, 中国特有种有 328 种, 占总种数的 40%, 其次是东亚分布种和热带亚洲分布种。石林石灰岩山地种子植物区系, 从科到种的组成都充分说明了该植物区系的亚热带性质及组成上的独特性。

**关键词:** 石灰岩山地; 植物区系; 云南石林

**中图分类号:** Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2005)06-0517-09

## The floristic elements of seed plants in stone-forest limestone region, Yunnan Province

CUI Jian-wu<sup>1,2</sup>, LIU Wen-yao<sup>1,3\*</sup>, LI Yu-hui<sup>4</sup>,  
SHEN You-xin<sup>1</sup>, LIU Lun-hui<sup>1</sup>

(1. *Kunming Division, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, Kunming 650223, China*; 2. *Graduate School, CAS, Beijing 100039, China*; 3. *Curtin University of Technology, GPO Box U1987 Perth, WA 6845, Australia*; 4. *Yunnan Normal University, Kunming 650092, China*)

**Abstract:** The stone-forest limestone region in Yunnan Province is one of the eight UNESCO Geoparks in China. The floristic elements of seed plants based on families to species in the stone-forest region were analyzed in this paper. In the region there were 889 plant species, belonging to 533 genera and 147 families, of which 846 species of 508 genera were seed plants in 133 families. On the family level of the flora, the subtropical elements occupied the superiority, and the temperate families took second place. In the genus level of floristic elements, the tropical genera were the most and the temperate ones accounted for about one third of all genera. This indicated the distinct subtropical character of this flora. In the species level of this flora, there were 328 endemic species of China, occupying 40%, then, East Asia and Tropical Asia species were the most. From family to species, the seed plant flora of the stone-forest region had the natures of subtropical and typical elements.

**Key words:** limestone hills; flora; stone-forest region, Yunnan

位于滇中地区的云南石林以其演化久远、类型丰富和观赏性强的石林喀斯特地貌被誉为世界奇观 (李玉辉, 2002), 不仅是首批国家 AAAA 级重点风景名胜景区、首批国家地质公园和云南省级自然保护区

收稿日期: 2004-05-31 修订日期: 2004-12-20

基金项目: 云南省自然科学基金重点项目(2002C004); 中国科学院“百人计划”项目资助[Supported by the National Natural Science Foundation of China(2002C004), the Chinese Academy of Sciences].

作者简介: 崔建武(1979-), 男, 河南三门峡人, 硕士生, 从事植物生态与恢复生态学研究。

\* 通讯作者(Author for correspondence)

区,而且还是联合国教科文组织2004年新批中国八个世界地质公园中唯一以喀斯特地质景观为特征的地质公园。过去由于不合理的人为干扰,石林景区周边地区的森林植被遭受较大的破坏,但是,通过景区有关部门的不懈努力,目前在石林景区范围内仍然保存有一定面积的地带性森林植被,近些年来在景区也培植了相当数量的乡土植物和部分引种植物,景区植被景观和生态环境明显改善。

目前,随着石林景区价值的提升和生物多样性保护意识的提高,了解本区域植物区系组成、生物多样性变化和生态环境现状等是石林景区可持续发展中需要解决的重要问题之一。对于滇中地区石灰岩山地的群落类型、物种组成、区系特征方面,一些学者(吴征镒,1987;金振洲等,1994)进行了一些科属方面的分析,但是就石林地区石灰岩山地植物区系,尤其是在种级区系组成方面的研究,目前尚未有专门的研究报道。本文通过对石林石灰岩地区种子植物区系组成的调查分析研究,以期弄清该地区的植物组成现状和区系基本特征,为本区域植物多样性保护和生态系统管理等提供科学依据。

## 1 自然地理概况

石林地处滇中喀斯特山地中部,海拔1900 m。地理位置 $103^{\circ}11' \sim 103^{\circ}30' E$ ,  $24^{\circ}40' \sim 24^{\circ}55' N$ 。本区属中亚热带气候,年均温为 $15.6^{\circ}C$ ,最高月均气温 $25.3^{\circ}C$ ,最低月均气温 $8.2^{\circ}C$ ;年平均降雨量967.9 mm,全年干湿季明显,每年5~10月为雨季,11月~次年4月为旱季,雨季降雨量占全年降雨量的80%~88%,年平均相对湿度75%。本区域喀斯特类型发育齐全,计有石林、石芽、溶丘、漏斗、洼地、溶蚀湖、瀑布、暗河等。成土母岩主要为石灰岩、白云质灰岩、白云岩等(李玉辉,2002)。主要土壤类型为红壤、紫色土和水稻土,以红壤分布最广(梁福源等,2003)。地带性植被为亚热带半湿润常绿阔叶林,主要由滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucooides*)、清香木(*Pistacia weinmannifolia*)、黄连木(*Pistacia chinensis*)、半齿铁仔(*Myrsine semiserrata*)等物种组成。由于长期人为的干扰,加之喀斯特森林一旦破坏后难于在短期内恢复成林的特点,所以,目前原生的半湿润常绿阔叶林呈块状分布,主要保存于当地彝族村寨的“密枝林”(或“神山”)上。现存植被则多为人为干扰后形成的次生林、灌丛、荒山草坡以及

人工形成的松柏林等。

## 2 研究方法

### 2.1 野外调查方法

在石林管理局保护区150 km<sup>2</sup>的范围内,按不同植被类型、生境条件和人为干扰等因素,分区域设置5个野外调查样地,它们分别是蓑衣山半湿润常绿阔叶林样地、月湖山次生林样地、石林后山人工云南松针阔混交林样地、乃古石林萌生灌丛样地和板栗园灌草丛样地。在各群落样地中分别设置1 hm<sup>2</sup>的调查样地,每个1 hm<sup>2</sup>的样地分为100个10 m×10 m样方,在这些样方中调查并记录所有的维管植物,对不能鉴定的物种采集标本带回,为了尽可能调查清楚所有的植物种类,我们对各个样地周围进行踏查,记录样地内没有出现的植物。此外,采用踏查的方式,也对景区引入的栽培植物分区域进行调查记录,对不能鉴定其科学名称的物种同样采集标本带回。

### 2.2 数据处理

带回的标本进行整理,请有关专家鉴定后,查阅《中国植物志》、《中国高等植物图鉴》、《云南植物志》、《广西植物志》、《云南植被》、《昆明植被》等相关文献对资料和数据进行分析。其方法是:(1)科级区系的分析:根据石林地区植物区系各科所含物种数多少,将其分为单种科、寡种科(2~4种)、中等科(5~10种)、较大科(10种以上)4个级别(岑庆雅等,1999)。科的分布区类型按其性质和分布划分为热带性科(T)、亚热带性科(S)、暖温带性科(W)和广布科(C)(金振洲,1998)。石林区系占中国植物区系的重要值(VFIC)或世界植物区系的重要值(VFIW)=石林各科包含的物种数/中国或世界相应科所包含的物种数(朱华等,1996)。(2)属级区系的分析:属的分布区类型主要依据吴征镒(1991)对中国种子植物区系属的分布区类型的标准划分为15个类型及相关亚型。(3)种的分布区类型借鉴吴征镒的15个类型及其亚型的属级分布区类型的标准来划分,在确定中按物种的实际分布特征来判定(金振洲,2002)。

## 3 植物区系分析

### 3.1 植物区系成分的组成

经过实地调查,记录和标本采集,加上查阅前人

有关的调查资料,计有维管植物 147 科 533 属 889 种,在石林石灰岩植物区系中,蕨类植物有 14 科 25 属 43 种,只占石林植物区系科的 9.5%、属的 4.7% 以及种的 4.8%。种子植物有 133 科 508 属 846 种,占该区系科属种的 90.5%、95.3%和 95.2%,其中裸子植物仅有 3 科 9 属 13 种,而被子植物中双子叶植物有 110 科 401 属 683 种;单子叶植物有 20 科 98 属 150 种。因此,种子植物尤其是被子植物各科属种的组成,反映了石林地区植物区系的特点。

表 1 云南地区石林石灰岩种子植物区系数量优势科

Table 1 Dominant families in quantity in the flora in stone-forest region of Yunnan

| 科名<br>Name of family  | 属数<br>No. of gen. | 种数<br>No. of sp. | 科型<br>Flora-type |
|-----------------------|-------------------|------------------|------------------|
| 菊科 Compositae         | 43                | 94               | C                |
| 禾本科 Gramineae         | 51                | 66               | C                |
| 蝶形花科 Papilionaceae    | 26                | 44               | C                |
| 蔷薇科 Rosaceae          | 19                | 42               | C                |
| 唇形科 Labiatae          | 11                | 26               | W                |
| 兰科 Orchidaceae        | 9                 | 16               | S                |
| 芸香科 Rutaceae          | 9                 | 16               | S                |
| 茜草科 Rubiaceae         | 8                 | 15               | S                |
| 壳斗科 Fagaceae          | 5                 | 14               | W                |
| 木犀科 Oleaceae          | 4                 | 14               | W                |
| 茄科 Solanaceae         | 8                 | 14               | S                |
| 莎草科 Cyperaceae        | 6                 | 14               | C                |
| 桑科 Moraceae           | 4                 | 13               | S                |
| 毛茛科 Ranunculaceae     | 6                 | 12               | C                |
| 十字花科 Cruciferae       | 4                 | 12               | W                |
| 蓼科 Polygonaceae       | 3                 | 11               | C                |
| 荨麻科 Urticaceae        | 8                 | 11               | S                |
| 忍冬科 Caprifoliaceae    | 4                 | 10               | W                |
| 伞形科 Umbelliferae      | 9                 | 10               | W                |
| 鼠李科 Rhamnaceae        | 6                 | 10               | S                |
| 苏木科 Caesalpiniciaceae | 8                 | 10               | S                |
| 旋花科 Convolvaceae      | 7                 | 10               | S                |
| 合计 Total              | 22 科              | 258              | 484              |

### 3.2 科级区系分析

石林地区植物区系中种子植物共有 133 科,单种科有 37 科 37 属 37 种,寡种科有 45 科 86 属 130 种,二者占总科数的 60.8%,但只占总属数的 26% 和总种数的 19.5%;相反,中等科和较大科虽然只占总科数的 39.2%,但却占总属数的 74% 和总种数的 81.5%,这可能是受制于石灰岩地区特殊的生境条件,造成优势种类比较集中的表现。

在石林种子植物区系中,包含 10 种以上的数量优势科计有 22 个,它们按种数的多少排列最前的为菊科、禾本科,排列最后的为苏木科、旋花科(表 1)。这 22 个数量优势科包括植物 258 属 484 种,占总属

数的 56.7% 和总种数的 57.2%,它们构成了石林石灰岩地区植物区系的主体。在这 22 个数量优势科中,亚热带科(S)有 9 科,它们是兰科、芸香科、茜草科、茄科、桑科、荨麻科、鼠李科、苏木科、旋花科;暖温带科(W)有 6 科,它们是唇形科、壳斗科、木犀科、十字花科、忍冬科、伞形科;世界广布科(C)有 7 科,它们是菊科、禾本科、蝶形花科、蔷薇科、莎草科、毛茛科、蓼科;而典型热带科(T)在这 22 个数量优势科中却没有出现。由此看出,石林石灰岩科级区系成分以亚热带科为主,反映了该地区的亚热带性质。

然而,数量优势科并不能完全代表其在该植物区系中所处的优势地位,只有该科的种数在中国以及世界植物区系中占较高的比值才能表明其在本区系中的地位(梁畴芬等,1985;朱华等,1996)。表 2 反映了本区系在中国植物区系重要值(VFIC)和世界植物区系重要值(VFIW)较大的科。从表中可以看出,柏科、败酱科、胡桃科、漆树科、榆科、菝葜科、芸香科、鸭跖草科、鼠李科、防己科、木犀科、葡萄科、忍冬科、葫芦科等,它们不仅种数较多,而且占中国以及世界种数的重要值较大,是石林石灰岩山地种子植物区系真正的优势科。这些科的植物大部分也是石林石灰岩山地植物群落各层的优势种,它们反映了该植物区系的地方特征,因此是该地区的代表科。而从这些科的分布区类型看,绝大多数是亚热带分布型,表明了该区系具有明显的亚热带植物区系性质。另外,在该区系中还有一些科,如芸香科、鼠李科、百合科、漆树科、葡萄科、茜草科、薯蓣科等,它们中的很多属种都是石灰岩特有种或者偏好于石灰岩地区生长的种,这也正反映了该区系的石灰岩性质。

### 3.3 属的分布区类型分析

石林地区种子植物区系共有 508 个属,扣除广布属,有 468 个属进入统计(表 3)。其中热带分布属(类型 2—7)有 263 个,占所统计数的 56.2%。热带分布属中,又以泛热带分布属最多,占所统计数的 22.2%,如冬青属(*Ilex*)、五叶参属(*Pentapanax*)、朴属(*Celtis*)、柞木属(*Xylosma*)、木兰属(*Magnolia*)、榕属(*Ficus*)、柿属(*Diospyros*)、黄檀属(*Dalbergia*)、菝葜属(*Smilax*)、花椒属(*Zanthoxylum*)、大戟属(*Euphorbia*)、素馨属(*Jasminum*)、薯蓣属(*Dioscorea*)、雾水葛属(*Pouzolzia*)、决明属(*Cassia*)、凤仙花属(*Impatiens*)、白茅属(*Imperata*)、狗尾草属(*Setaria*)、黄茅属(*Heteropogon*)、孔颖草属(*Bothriochloa*)、希荳属(*Siegesbeckia*)、泽兰属

(*Eupatorium*)、冷水花属(*Pilea*)等;其次是热带亚洲分布属和热带亚洲至热带非洲分布属。

温带分布属(类型 8—13)共有 155 个,占所统计数的 33.1%,包括北温带分布属、东亚和北美洲间断分布属、旧世界温带分布属和温带亚洲分布属。其中北温带分布属最多,占总统计属数的 18.4%,如黄精属(*Polygonatum*)、柏属(*Cupressus*)、夏枯草属(*Prunella*)、燕麦属(*Avena*)、野枯草属

(*Arundinella*)、景天属(*Sedum*)、火绒草属(*Leontopodium*)、蒿属(*Artemisia*)、栎属(*Quercus*)、玉凤花属(*Habenaria*)、马桑属(*Coriaria*)、葡萄属(*Vitis*)、荨麻属(*Urtica*)、茜草属(*Rubia*)、蔷薇属(*Rosa*)、绣线菊属(*Spiraea*)、栒子属(*Cotoneaster*)、忍冬属(*Lonicera*)、桑属(*Morus*)、杜鹃花属(*Rhododendron*)、松属(*Pinus*)、天南星属(*Arisaema*)、小檗属(*Berberis*)、榆属(*Ulmus*)、鹅耳枥属(*Carpinus*)等。

表 2 云南石林地区石灰岩植物区系重要值较大的科

Table 2 Dominant families in value of floristic importance of China and world in stone-forest limestone region of Yunnan

| 科名<br>Name of family | 科型<br>FA | 石林区系 F of S | 中国区系 F of C | 世界区系 F of W | 石林占中国 %VFIC | 石林占世界 %VFIW |
|----------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                      |          | 属:种 G:S     |
| 透骨草科 Phrymataceae    | W        | 1:1         | 1:1         | 1:2         | 100.0:100.0 | 100.0:50.0  |
| 杨梅科 Myricaceae       | S        | 1:3         | 1:4         | 2:50        | 100.0:75.0  | 50.0:6.0    |
| 马桑科 Coriariaceae     | W        | 1:1         | 1:3         | 1:15        | 100.0:33.3  | 100.0:6.7   |
| 柏科 Cupressaceae      | W        | 4:7         | 8:30        | 22:150      | 50.0:23.3   | 18.2:4.7    |
| 百部科 Stemonaceae      | S        | 1:1         | 2:6         | 3:30        | 50.0:16.7   | 33.3:3.3    |
| 胡桃科 Juglandaceae     | W        | 3:4         | 7:27        | 8:60        | 42.9:14.8   | 37.5:6.7    |
| 败酱科 Valerianaceae    | W        | 3:4         | 3:30        | 13:300      | 100.0:13.3  | 23.1:1.3    |
| 漆树科 Anacardiaceae    | S        | 3:7         | 15:55       | 60:600      | 20.0:12.7   | 5.0:1.2     |
| 榆科 Ulmaceae          | W        | 3:6         | 8:50        | 16:230      | 37.5:12.0   | 18.8:2.6    |
| 杉科 Taxodiaceae       | W        | 1:1         | 5:9         | 10:16       | 20.0:11.1   | 10.0:6.3    |
| 八角枫科 Alangiaceae     | S        | 1:1         | 1:9         | 1:30        | 100.0:11.1  | 100.0:3.3   |
| 菝葜科 Smulacaceae      | S        | 1:7         | 1:64        | 1:300       | 100.0:10.9  | 100.0:2.3   |
| 芸香科 Rutaceae         | S        | 9:16        | 28:154      | 150:900     | 32.1:10.4   | 6.0:1.8     |
| 五味子科 Schisandraceae  | S        | 1:3         | 2:29        | 2:50        | 50.0:10.3   | 50.0:6.0    |
| 鸭跖草科 Commelinaceae   | S        | 4:5         | 13:50       | 45:400      | 30.8:10.0   | 8.9:1.3     |
| 泽泻科 Alismataceae     | S        | 1:1         | 4:10        | 13:90       | 25.0:10     | 7.7:1.1     |
| 水鳖科 Hydrocharitaceae | S        | 1:1         | 8:12        | 16:100      | 12.5:8.3    | 6.3:1.0     |
| 黄杨科 Buxaceae         | S        | 2:2         | 3:27        | 4:100       | 66.7:7.4    | 50.0:2.0    |
| 鼠李科 Rhamnaceae       | S        | 6:10        | 14:135      | 58:900      | 42.9:7.4    | 10.3:1.1    |
| 防己科 Menispermaceae   | S        | 4:5         | 19:70       | 65:350      | 21.1:7.1    | 6.2:1.4     |
| 木犀科 Oleaceae         | W        | 4:14        | 11:200      | 29:600      | 36.4:7.0    | 13.8:2.3    |
| 金粟兰科 Chloranthaceae  | S        | 1:1         | 3:16        | 5:70        | 33.3:6.3    | 20.0:1.4    |
| 山茱萸科 Cornaceae       | W        | 3:4         | 8:65        | 15:110      | 37.5:6.2    | 20.0:3.6    |
| 葡萄科 Vitaceae         | S        | 6:9         | 9:150       | 16:700      | 66.7:6.0    | 37.5:1.3    |
| 葫芦科 Cucurbitaceae    | S        | 7:9         | 32:170      | 130:900     | 21.9:5.3    | 5.4:1.0     |
| 忍冬科 Caprifoliaceae   | W        | 4:10        | 12:200      | 12:400      | 33.3:5.0    | 33.3:2.5    |

东亚分布属有 42 个,占总统计属的 9.0%,如开口箭属(*Tupistra*)、沿阶草属(*Ophiopogon*)、败酱属(*Patrinia*)、火把花属(*Colquhounia*)、鸡眼草属(*Kummerowia*)、金发草属(*Pogonastegium*)、兔儿风属(*Ainsliara*)、白芨属(*Bletilla*)、青菜叶属(*Helwingia*)、油杉属(*Keteleeria*)、栲树属(*Koelreuteria*)、棕榈属(*Trachycarpus*)等。中国特有分布属仅有 8 个,它们是巴豆藤属(*Craspedolobium*)、牯菊木属(*Nouelia*)、长冠苣苔属(*Rhabdthamopsis*)、牛筋条属(*Dichotomanthus*)、金钱锁属(*Psammosilene*)、茶条木属(*Delavaya*)、翅茎草

属(*Pterygiella*)、长蕊斑种草属(*Antiotrema*)。

从属的分布区类型组成可以看出,石林地区石灰岩植物区系中热带分布属占优势,在热带分布属中又以泛热带分布属占绝对优势,其中在泛热带分布属中,有不少属广布于热带、亚热带甚至到温带。另外,该区系中温带分布属也占到近 1/3,而且大多数都属于喜温性的属,这表明石林地区植物区系具有从热带向温带过度的特点,即该区系的亚热带性质,这与本区系的地理位置是一致的。

### 3.4 种的地理成分分析

种的分布区类型借鉴吴征镒的 15 个类型及其

亚型的属级分布区类型的标准来划分,在确定中按物种的实际分布特征来判定(金振洲,2002)。种级分布区类型的统计见表 4,其中共有 846 种,除广布种外有 820 种进入统计。

表 3 云南石林地区石灰岩植物属的分布区类型统计  
Table 3 The areal-types of genera in stone-forest limestone region of Yunnan

| 分布区类型<br>Areal types         | 石林种子植物区系<br>Flora of stone forest |                     | 全国种子植物区系<br>Flora of china |                     |
|------------------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
|                              | 属数<br>No. of gen.                 | 占总属数%<br>Percentage | 属数<br>No. of gen.          | 占总属数%<br>Percentage |
| 1. 世界分布 Cos                  | 40                                | 扣除                  | 104                        | 扣除                  |
| 2. 泛热带分布 Pantr               | 104                               | 22.2                | 362                        | 12                  |
| 3. 热带亚洲和热带美洲间断分布 trAs-trAm   | 23                                | 4.9                 | 62                         | 2.1                 |
| 4. 旧世界热带分布 Palter            | 35                                | 7.5                 | 177                        | 5.9                 |
| 5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 trAs-trAu    | 22                                | 4.7                 | 148                        | 4.9                 |
| 6. 热带亚洲至热带非洲分布 trAs-trAf     | 37                                | 7.9                 | 164                        | 5.4                 |
| 7. 热带亚洲分布 trAs               | 42                                | 9.0                 | 611                        | 20.3                |
| 8. 北温带分布 Ntem                | 86                                | 18.4                | 302                        | 10.0                |
| 9. 东亚和北美洲间断分布 EAs-NAm        | 25                                | 5.3                 | 124                        | 4.1                 |
| 10. 旧世界温带分布 Paltem           | 31                                | 6.6                 | 164                        | 5.4                 |
| 11. 温带亚洲分布 tmAs              | 6                                 | 1.3                 | 55                         | 1.8                 |
| 12. 地中海地区西亚至中亚分布 Md. Was-CAs | 6                                 | 1.3                 | 171                        | 5.7                 |
| 13. 中亚分布 CAs                 | 1                                 | 0.2                 | 116                        | 3.9                 |
| 14. 东亚分布 EAs                 | 42                                | 9.0                 | 299                        | 9.9                 |
| 15. 中国特有分布 China             | 8                                 | 1.7                 | 257                        | 8.5                 |
| 合计 Total                     | 508                               | 100.0               | 3 166                      | 100.0               |

3.4.1 世界分布 属于世界分布类型的种有 26 种,如酢酱草科的酢酱草(*Oxalis corniculata*),茜草科的猪殃殃(*Galium aparine*),禾本科的狗尾草(*Setaria viridis*),菊科的普通千里光(*Senecio vulgaris*),蓼科的辣蓼(*Polygonum hydropiper*),茄科的苍耳(*Xanthium sibiricum*),十字花科的南焊菜(*Rorippa dubia*),石竹科的繁缕(*Stellaria media*)等。

3.4.2 泛热带分布 普遍分布于东西两半球的热带地区。该分布型有 35 个种,占总统计种数(不包括世界分布种,下同)的 4.27%,如胡椒科的豆瓣绿(*Peperomia tetraphylla*),鸭跖草科的鸭跖草(*Commelina communis*),禾本科的虎尾草(*Chloris virgata*),马鞭草科的马鞭草(*Verbena officinalis*),茄科的曼陀罗(*Datura stramonium*),卫矛科的南蛇藤(*Celastrus angulatus*),无患子科的坡柳(*Dodonaea viscosa*),菊科

的紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*),锦葵科的野西瓜苗(*Hibiscus trionum*),蝶形花科的假蓝靛(*Indigofera suffruticosa*)等。

表 4 种分布区类型统计

Table 4 The distributional patterns of species of the flora in stone-forest limestone region of Yunnan

| 种的分布区类型<br>Distributional patterns of species | 种数<br>No. of sp. | 百分比<br>Percentage(%) |
|---|------------------|----------------------|
| 1. 世界分布 Cosmopolitan                          | 26               | —                    |
| 2. 泛热带分布 Pantropic                            | 35               | 4.27                 |
| 3. 热带亚洲和热带美洲间断 TAS. & TAM. d.                 | 23               | 2.80                 |
| 4. 旧世界热带分布 Old World Tropics                  | 18               | 2.20                 |
| 5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 TAS. to TAU.                  | 13               | 1.59                 |
| 6. 热带亚洲至热带非洲分布 TAS. to TAF.                   | 24               | 2.93                 |
| 7. 热带亚洲分布 TAs.                                | 119              | 14.51                |
| 1. 爪哇,喜马拉雅和海南,西南星散<br>J. HI. & SC. SWC        | 2                | 0.24                 |
| 2. 热带印度至海南 T. IND. to SC                      | 1                | 0.12                 |
| 3. 缅甸,泰国至华西南 BU, TH. To SWC                   | 2                | 0.24                 |
| 4. 越南(或中南半岛)至海南(或西南)<br>VN. To SC(SWC)        | 1                | 0.12                 |
| 8. 北温带分布 North Temperate                      | 42               | 5.12                 |
| 4. 北温带和南温带(全温带)间断<br>N. Temp. & S. Temp. d.   | 2                | 0.24                 |
| 9. 东亚和北美洲间断分布 E. AS & N. AM d.                | 8                | 0.98                 |
| 10. 旧世界温带分布 Old World Temperate               | 26               | 3.17                 |
| 1. 地中海地区,西亚和东亚间断<br>M., W. AS & E. AS d.      | 2                | 0.24                 |
| 2. 地中海区和喜马拉雅间断<br>M. & Himal. d.              | 1                | 0.12                 |
| 3. 欧亚和南非洲(有时也在大洋洲)间断<br>EUA. & SAf. d.        | 1                | 0.12                 |
| 11. 温带亚洲分布 Temperate Asia                     | 3                | 0.37                 |
| 12. 地中海区,西亚至中亚<br>Mediterr., W. AS. to C. AS. | 4                | 0.49                 |
| 13. 中亚分布 C. Asia                              | 1                | 0.12                 |
| 2. 中亚至喜马拉雅 C. Asia to Himalaya                | 3                | 0.37                 |
| 14. 东亚分布 E. Asia                              | 29               | 3.54                 |
| 1. 中国—喜马拉雅 SH Sino-Himalaya                   | 96               | 11.71                |
| 2. 中国—日本 SJ Sino-Japan                        | 36               | 4.39                 |
| 15. 中国特有分布 Endemic species to China           | 328              | 40.00                |
| 总计 Total                                      | 846              | —                    |
| 不包括世界分布的总计<br>Total (except cosmopolitan)     | 820              | 100.00               |

3.4.3 热带亚洲和热带美洲间断分布 间断分布于美洲和亚洲温暖地区,在旧世界从亚洲甚至可能延伸到澳大利亚东北部或西太平洋岛屿。该类型有 23 种,占总统计种数的 2.80%,如爵床科的爵床(*Rostellularia procumbens*),紫葳科的炮仗花(*Pyrostegia venusta*),马鞭草科的马缨丹(*Lantana camara*),菊科的蒲公英(*Taraxacum mongolicum*),仙人掌科的仙人掌(*Opuntia monacantha*)等,该类

型多数是从美洲引入栽培的植物。

3.4.4 旧世界热带分布 分布于热带亚洲、非洲和大洋洲及其附近岛屿,有 18 个种,占总统计种数的 2.20%。如禾本科的荩草(*Arthraxon hispidus*),伞形花科的积雪草(*Centella asiatica*),莎草科的独穗飘拂草(*Fimbristylis ovata*),唇形科的绣球防风(*Leucas ciliata*),檀香科的中华百蕊草(*Thesium chinense*)等。

3.4.5 热带亚洲至热带大洋洲分布 主要分布于热带亚洲和大洋洲,有时可达马达加斯加,但一般不达非洲大陆。该类型有 13 种,占总统计种数的 1.59%,如桑科的笔管榕(*Ficus virens*),蝶形花科的辫子草(*Desmodium microphyllum*),禾本科的金发草(*Pogonatherum paniceum*),瑞香科的山皮条(灰白茺花)(*Wikstroemia canescens*),堇菜科的戟叶堇菜(地苹果)(*Viola betonici folia*),远志科的长叶远志(*Polygala longifolia*),桃金娘科的蓝桉(*Eucalyptus globulus*)、大叶桉(*E. robusta*)等。

3.4.6 热带亚洲至热带非洲分布 分布于热带非洲至印度—马来西亚,有些种可分布到斐济等南太平洋岛屿。该类型有 24 种,占总统计种数的 2.94%,如紫金牛科的小铁仔(*Myrsine africana*),菝葜科的土茯苓(*Smilax glabra*),菊科的眼鱼草(*Dichrocephala integrifolia*),禾本科的孔颖草(*Bothriochloa pertusa*),苋科的牛膝(*Achyranthes bidentata*),紫草科的小花倒提壶(*Cynoglossum lanceolatum*)等。

3.4.7 热带亚洲(印度—马来西亚)分布 这一类型分布区的范围包括印度、斯里兰卡、缅甸、泰国、中南半岛、印度尼西亚、加里曼丹、菲律宾及新几内亚等。东面可达斐济等南太平洋岛屿,但不到澳大利亚。分布区的北部边缘,常常到达我国西南、华南、台湾甚至更北地区。

属于该分布区类型的有 125 种,占总统计种数的 15.23%,如紫金牛科的针齿铁仔(*Myrsine semiserrata*),檀香科的沙针(*Osyris wightiana*),苏木科的合欢(*Albizia julibrissin*),莎草科的三棱莎草(*Carex soulies*),茜草科的鸡屎藤(*Paederia scandens*),菊科的白牛胆(*Inula cappa*),菝葜科的粉背菝葜(*Smilax hypoglauca*),薯蓣科的心叶薯蓣(粘山药)(*Dioscorea hemsleyi*)、五叶薯蓣(*D. pentaphylla*),蝶形花科波叶山蚂蝗(*Desmodium sequax*),桑科的构树(*Broussonetia papyrifera*),楝科的老虎楝(*Trichilia connaroides*),樟科的云南

樟(*Cinnamomum glanduliferum*)等。

3.4.8 北温带分布 广泛分布于欧洲、亚洲、北美洲温带地区。该类型有 44 种,占总统计种数的 5.36%,主要是一些从外地引入栽培的植物种类,如十字花科的芸苔(*Brassica campestris*)、小白菜(*B. chinensis*),蔷薇科的月季(*Rosa chinensis*)等;野生的如毛茛科的翠雀(*Delphinium gradiflorum*),报春花科的点地梅(*Androsace umbellata*),菊科的黄花蒿(*Artemisia annua*),泽泻科的泽泻(*Alisma plantago-aquatica*)等。

2.4.9 东亚和北美洲间断分布 间断分布于东亚和北美洲温带和亚热带地区。属于该分布类型的有 8 种,占总统计种数的 0.98%,如木兰科的荷花玉兰(*Magnolia grandiflora*),蝶形花科的刺槐(*Robinia pseudoacacia*),透骨草科的透骨草(*Phryma leptostachya*)等。

3.4.10 旧世界温带分布 广泛分布于欧洲、亚洲中—高纬度的温带和寒温带。属于该分布型的有 30 种,如禾本科的野燕麦(*Avena fatua*),蓼科的头花蓼(*Polygonum capitatum*),唇形科的牛至(*Origanum vulgare*)、夏枯草(*Prunella vulgaris*),伞形花科的小窃衣(*Torilis japonica*),石竹科的狗筋曼(*Cucubalus paccifer*)等。

3.4.11 温带亚洲分布 主要局限于亚洲温带地区。属于该分布类型的只有 3 种,它们是堇菜科的宝剑草(*Viola philippica*),润香科的一把香(*Stellera chmaejasme*),伞形花科的防风(*Saposhnikovia divaricata*)。

3.4.12 地中海区、西亚至中亚分布 分布于现代地中海周围,经过西亚或西南亚至中亚和我国的青藏高原及内蒙古高原一带。属于该分布类型的有 4 种,除菊科的千星菊(*Myriactis wallichii*)外其它三种都是引入栽培种。

3.4.13 中亚分布 分布于中亚(特别是山地),向东达喜马拉雅和我国西南。此分布类型有 4 种,它们分别是夹竹桃科的夹竹桃(*Nerium indicum*),禾本科的白草(*Pennisetum flaccidum*)和菊科的马耳山千星菊(*Myriactis wightii*)、牛尾蒿(*Artemisia subdigitata*)。

3.4.14 东亚分布 分布于东喜马拉雅至日本,向东北一般不超过俄罗斯的阿穆尔州,向西南不超过越南北部和西马拉雅东部,向南最远达菲律宾、苏门答腊和爪哇。属于该分布类型的有 161 种,占总统计

种数的 19.64%，其中属于中国—日本变型的有 36 种，占总统计种数的 4.39%，属于中国—西马拉雅变型的有 96 种，占总统计种数的 11.71%。此分布类型中的许多种是组成石林植物区系各主要群落的常见种，乔木种类如漆树科的漆树 (*Toxicodendron verniciflnum*)、野漆 (*Toxicodendron succedaneum*)、黄连木 (*Pistacia chinensis*)，壳斗科的麻栎 (*Quercus acutissima*)、栓皮栎 (*Q. variabilis*)、槲栎 (*Q. aliena*)，蔷薇科的大叶桂樱 (*Prunus zippeliana*)、棠梨 (*Pyrus pashia*)，马桑科的马桑 (*Coriaria nepalensis*) 等；灌木和藤本植物如蔷薇科的西南栒子 (*Cotoneaster franchetii*)、小叶栒子 (*C. microphyllus*)，山茱萸科的鸡嗉子 (*Dendrobenthamia capitata*)，桑科的岩桑 (*Morus mongolica*)，葡萄科的三叶爬山虎 (*Parthenocissus semicordata*)，卫矛科的扶芳藤 (*Euonymus fortunei*)，鼠李科的雀梅藤 (*Sageretia theezans*) 等；草本如百合科的开口箭 (*Tupistra chinensis*)、抬头箭 (吉祥草) (*Reineckea carnea*)，兰科的小白芨 (*Bletilla formosana*)，天南星科的一把伞南星 (*Arisaema erubescens*)，蝶形花科的鸡眼草 (*Kummerowia striata*)，禾本科的蔗茅 (*Erianthus rufipilus*) 等。

3.4.15 中国特有分布 以云南或西南诸省为中心，向东北、向东或向西北方向辐射并逐渐减少，而主要分布于秦岭—山东以南的亚热带和热带地区，个别种可突破国界到临近各国如缅甸、中南半岛、朝鲜、俄罗斯远东、蒙古等。属于中国特有分布的有 328 种，占总统计种数的 40%，构成了石林植物区系的主体。中国特有分布种类型统计见表 6。从表中可以看出，石林特有分布种有 3 个，分别是凤仙花科的路南凤仙花 (*Impatiens loulanensis*)，唇形花科的短隔鼠尾 (*Salvia breviconnectivata*)，荨麻科的冷水花假楼梯草 (*Lecanthus pileoides*)。昆明特有分布种有 11 种，占该地区中国特有分布种的 3.35%，如菊科的心叶兔儿风 (*Ainsliaea bonatii*)、石生紫菀 (*Aster oreophilus*)、昆明千里光 (*Senecio cavaleriei*)，蝶形花科的昆明木兰 (*Indigofera mairei*)，小檗科的昆明小檗 (*Berberis kunmingensis*)，榆科的昆明榆 (*Ulmus changii*) 等。

云南特有分布种有 81 种，占该地区中国特有分布种的 24.7%，如榛科的云南鹅耳枥 (*Carpinus mobeigiana*)，木犀科的云南木樨榄 (*Olea yunnanensis*)，苏木科的大毛毛花 (毛叶合欢) (*Albizia mollis*)，榆科

的滇朴 (*Celtis tetrandra*)，壳斗科的黄毛青冈 (*Cyclobalanopsis delavayi*)，无患子科的茶条木 (*Delavaya yunnanensis*)，桑科的琴叶榕 (*Ficus pandurata*)，葡萄科的狭叶岩爬藤 (*Tetrastigma serrulatum*)，鼠刺科的滇鼠刺 (*Itea yunnanensis*)，蔷薇科的毛枝绣线菊 (*Spiraea martinii*)，薯蓣科的云南粘山药 (*Dioscorea yunnanensis*)，茜草科的光茎茜草 (*Rubia leiocaulis*)，禾本科的云南裂稈草 (旱茅) (*Schizachyrium delavayi*) 等。

表 6 石林石灰岩地区中国特有种的分布区亚型统计  
Table 6 The flora-subtypes of Chinese endemic species of seed plants from stone-forest region of Yunnan

| 中国特有种分布区亚型<br>Areal-subtypes of endemic to China | 石林石灰岩植物区系<br>The flora of limestone in Shilin |                      |
|--|---|----------------------|
|  | 种数<br>Sp. No.                                 | 百分率<br>Percentage(%) |
| 1. 石林地区特有 E-SL                                   | 3   | 0.91                 |
| 2. 昆明地区特有 E-KM                                   | 11  | 3.35                 |
| 3. 云南地区特有 E-YUN                                  | 81  | 24.70                |
| 4. 华西南地区特有 E-SWC                                 | 100   | 30.49                |
| 4-1. 川西滇 E-WS-YUN                                | 8   | 2.44                 |
| 4-2. 川西滇北 E-WS-NY                                | 18  | 5.49                 |
| 4-3. 桂西滇南 E-WG-SY                                | 1   | 0.30                 |
| 4-4. 川西南滇东北 E-WSS-ENY                            | 1   | 0.30                 |
| 4-5. 桂藏滇 E-GZ-YUN                                | 1   | 0.30                 |
| 4-6. 横断山区 E-HD                                   | 11  | 3.35                 |
| 5. 华西南与中国其他地区特有<br>E-SWC & Other regions         | 83  | 25.30                |
| 6. 华南地区特有 E-SC                                   | 2   | 0.61                 |
| 6-1. 华南和中国其他地区特有<br>E-SC & Other regions         | 2   | 0.61                 |
| 7. 华北地区特有 E-NC                                   | 1   | 0.30                 |
| 7-1 华北和中国其他地区特有<br>E-NC & Other regions          | 2   | 0.61                 |
| 8. 华中和中国其他地区特有<br>E-CC & Other regions           | 2   | 0.61                 |
| 9. 华东地区特有 E-EC                                   | 1   | 0.30                 |
| 总计 Total   | 328   | 100.00               |

华西南(滇、川、贵、广西、西藏,有时扩展到广东和湖北西部)特有分布种最多,共有 140 种,占该地区中国特有分布种的 42.67%,其中主要是华西南特有分布种,计有 100 种,占石林地区中国特有分布种的 30.49%,如壳斗科的滇青冈 (*Cyclobalanopsis glaucoides*)、窄叶石栎 (*Lithocarpus confinis*)，漆树科的清香木 (*Pistacia weinmannifolia*)，冬青科的小果冬青 (*Ilex micrococca*)，松科的云南松 (*Pinus yunnanensis*)，柿树科的毛叶柿 (*Diospyros mollifolia*)，鼠李科的拟鼠李 (多脉猫乳) (*Rhamnella*

*martini*), 蔷薇科的球花石楠 (*Photinia glomerata*), 蝶形花科的苦刺花 (*Sophora davidii*), 夹竹桃科的贵州络石 (*Trachelospermum bodinieri*), 菝葜科的无刺菝葜 (*Smilax mairei*), 萝藦科的飞仙藤 (*Periploca calophylla*), 防己科的地不容 (山乌龟) (*Stephania delavayi*), 唇形科的毛萼香茶菜 (*Rabdosia eriocalyx*), 菊科的万丈深 (*Crepis phoenix*), 苦苣苔科的石蝴蝶 (*Petrocosmea duclouxii*) 等; 其次是川西滇北和横断山区特有种, 有 29 种, 合占 8.84%, 如漆树科的小漆树 (*Toxicodendron delavayi*), 柏科的干香柏 (*Cupressus duclouxiana*), 蝶形花科的高原黄檀 (*Dalbergia collettii*), 木犀科的矮探春 (*Jasminum subhumile*), 菊科的云南兔儿风 (*Ainsliaea yunnanensis*), 毛茛科的云南翠雀 (*Delphinium yunnanensis*), 景天科的滇瓦松 (*Sedum multicaule*) 等。该类型的许多种都是石林石灰岩山地不同植物群落各层次的优势种或常见种。

华西南与中国其他地区特有的有 83 种, 占 25.30%, 如冬青科的大果冬青 (*Ilex macrocarpa*), 樟科的毛豹皮樟 (*Litsea coreana*), 鼠李科的薄叶鼠李 (*Rhamnus leptophyllus*), 蝶形花科的象鼻藤 (*Dalbergia mimosoides*), 蔷薇科的火把果 (火棘) (*Pyracantha fortuneana*), 芸香科的花椒勒 (*Zanthoxylum scandens*), 黄杨科的清香桂 (*Sarcococca rusciifolia*), 金丝桃科的芒种花 (*Hypericum uralum*), 菊科的鬼针草 (*Bidens pilosa*), 百合科的川百合 (*Lilium davidii*) 等。中国其它地区特有种不多, 共计 10 种, 占石林地区中国特有种的 3.04%。

## 4 云南石林石灰岩山地植物区系的特征

### 4.1 热带和温带成分相结合, 亚热带性质明显

云南石林地区石灰岩山地的植物区系表现为热带和温带成分相结合, 具有明显的亚热带性质, 代表中国西南喀斯特高原的亚热带植物区系。属级区系中, 热带分布属共有 263 个, 占总属数的 56.2%, 温带分布属共有 155 个, 占总属数的 33.1%。可见当地属级区系组成中, 热带成分和温带成分的奇妙结合, 这也反映了该地区亚热带石灰岩山地的自然环境特点。种级植物区系的组成能更准确的反映该地区的近代环境, 从现有统计的 846 种种子植物来看, 热带分布种有 238 种, 占总种数的 29.3%, 温带

分布种有 254 种, 占总种数的 30.7%, 同样反映了热带成分和温带成分相结合的特点。但是, 与近代典型的热带分布种和温带成分相比较, 则本区典型的热带成分和温带成分都不多, 而较多的是属于中间过渡性质的亚热带成分和暖温带成分, 例如盐肤木、香叶树、栓皮栎等, 实际上它们更多的是东亚成分, 即分布于中国—喜马拉雅以及中国—日本的成分, 其近代分布区主要在长江流域及其南部的广大亚热带地区, 这与石林石灰岩山地植物区系所处的地理位置相符合, 反映了该地区明显的亚热带性质。

与其它亚热带地区喀斯特山地相比较, 广西岩溶植被植物区系 (欧祖兰等, 2004) 中热带属成分 (76.21%) 比石林的要高, 而温带属成分 (21.1%) 则比石林的低, 亚热带性质较为明显。贵州茂兰岩溶地区植物区系的温带属成分比云南石林与广西要多, 亚热带性质突出, 并具有明显的交错特性 (朱守谦, 1997)。由上可看出, 尽管大多数热带和亚热带植物属分布于广东、广西云南贵州海南一带, 但由于各地环境条件的不同, 造成它们在植物区系组成上存在一定的差异。

### 4.2 东亚成分较多, 地区特有种丰富

东亚分布区类型分为西部的中国—喜马拉雅变型和东部的中国—日本变型, 前者分布中心集中于西南至喜马拉雅, 后者主要在日本至华东。石林石灰岩山地东亚分布类型的 42 个属中有 18 个是中国—喜马拉雅分布, 而其余的 24 个属却是典型的东亚分布和中国—日本分布。种级区系统计中, 东亚分布种共有 161 种, 属于中国—日本分布类型的只有 36 种, 这主要是石林地处滇中高原, 所以中国—喜马拉雅成分相对较多而中国—日本成分较少, 这在种级区系中已成为石林植物区系总特征的重要方面。

石林地区由于其特殊的岩溶生态环境, 地区特有种非常丰富。据前面统计分析, 华西南特有种最多, 共有 140 种, 占石林种子植物区系总种数的 16.5%。云南特有种在本地区也较多, 有 81 种。昆明地区特有的就有 11 种, 甚至分布范围更窄、仅分布在石林石灰岩山地的石林特有种有 3 个。总之, 地区特有种多是石林石灰岩山地植物区系组成中的另一个特点, 这也说明了该植物区系的特殊性和重要性。

### 4.3 石灰岩山地专有种多, 岩溶特性显著

石林石灰岩山地有 54 科 86 属 103 种是典型的嗜钙植物, 占该地区种子植物总种数的 12.2%。其

中乔木有漆树科的盐肤木、黄连木、清香木、小漆树、裂果漆、野漆,樟科的团花新木姜子,松科的云南油杉等;灌木和藤本有柿树科的毛叶柿,鼠刺科的滇鼠刺,苏木科的老虎刺,黄杨科的清香桂,桑科的笔管榕、琴叶榕、葡茎珍珠莲、地石榴,夹竹桃科的贵州络石,金丝桃科的芒种花,蔷薇科的石丁香(藏丁香)、火棘(火把果),葡萄科的狭叶岩爬藤、毛叶岩爬藤,蝶形花科的象鼻藤,芸香科的竹叶椒(狗花椒),蓼科的土茯苓、无刺蓼等;草本植物有唇形科的姜味草,凤仙花科的路南凤仙花,禾本科的云南裂稗草(旱茅),胡椒科的豆瓣绿,菊科的心叶兔儿风、石生紫菀,苦苣苔科的石蝴蝶,茜草科的猪殃殃、鸭跖草科的鸭跖草等。这些嗜钙植物局限分布于岩溶地区,是长期适应岩溶环境特化而形成的,可作为石灰岩山地植物区系和生态环境的指示种或标志种。

#### 4.4 栽培植物区系来源多样,部分物种危害性凸现

由于石林距昆明只有 80 km,而昆明地区又是云南省的经济文化中心,历史上引入栽培的植物较多,对栽培植物区系的分析一定程度上可间接的反映本地区的自然特点以及引入区系的承受范围(金振洲等,1994)。本区引入栽培的植物有 98 种,分属于 40 科 81 属。引入最多的是温带分布种,共有 48 种,占引入物种总数的 49.0%,其中又以北温带分布种和东亚分布种占主要成分;其次是热带分布种,共有 35 种,占引入物种总数的 35.7%,主要是热带亚洲和热带美洲间断分布种;引入的中国特有种有 11 个,占总引入种的 11.2%,主要是华西南、华中及华南分布种。从纯由国外引种来看,引自热带美洲、大洋洲、非洲、东南亚的占 29 种,占总引入物种数的 29.6%,引自北美洲、欧亚大陆、地中海地区及东亚的有 24 种,占总引入物种数的 24.5%,这一方面反映出国外引入的种中热带与温带成分各半的情况,另一方面也反映出该地区引入栽培植物来源的多样性。

栽培植物尤其是经济作物在丰富人民生活的同时,某些物种也表现出一定的危害性,尤其是 60 年代人工营造的柏树林和云南松纯林的危害性问题已经引起有关方面的高度重视。由于干香柏(冲天柏)是耐旱、喜钙树种,对石灰岩山地的生境条件非常适应,生长异常迅速,至今柏树林群落高度已大大高于石林主要景观的平均高度,严重影响了石林这一世界地质奇观的观赏性。而大面积营造的云南松纯林由于群落结构单一,小蠹虫等病虫害肆虐,残存部分多为病虫害后形成的疏林或分散性的幼林,生态效益低并影

响石林的景观。因此,今后石林地区尤其是石林景区的引种绿化,必须注意改变林木树种结构,提高人工营造森林对病虫害的抵抗能力,同时注意与当地树种的合理搭配,以达到植被恢复绿化和当地石林景观的一致性。

本研究在野外调查工作中得到了王重云、徐海清、李全发、余筱甲、马遵平等同学的热情帮助,在此表示衷心感谢!

#### 参考文献:

- Cen QY(岑庆雅), Xie WC(谢伟成), Ji SY(暨淑仪). 1999. The plant flora of Zhaoqing limestone area in Guangdong Province(广东肇庆石灰岩植物区系的基本特征)[J]. *Guihaia*(广西植物), 19(2): 124-130.
- Jin ZZ(金振洲). 1998. Study on the floristic elements of seed plant in the dry-warm valleys of Yunnan and Sichuan(滇川干暖河谷种子植物区系成分研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), 18(4): 313-321.
- 金振洲. 2002. 滇川干热河谷与干暖河谷植物区系特征[M]. 昆明: 云南科技出版社, 19-20.
- 金振洲, 彭 鉴. 1994. 昆明植被. 昆明: 云南科技出版社, 55-61.
- Li YH(李玉辉). 2002. Morphological types and their features of Shilin Karst in Yunnan, China(中国云南石林岩溶形态与特征). *Carsologica Sin*(中国岩溶), 21(3): 165-172.
- Liang FY(梁福源), Song LH(宋林华), Tang T(唐 涛), et al. 2003. Microbial production of CO<sub>2</sub> in red soil in Stone Forest National Park(路南石林土壤微生物含量及其对土壤 CO<sub>2</sub> 浓度的影响)[J]. *Carsologica Sin*(中国岩溶), 22(1): 6-11.
- Liang CF(梁畴芬), Liang JY(梁健英), Liu LF(刘兰芳), et al. 1985. A report on the exploration of the flora of Longgang(弄岗植物区系考察报告)[J]. *Guihaia*(广西植物), 5(3): 191-209.
- Ou ZL(欧祖兰), Su ZM(苏宗明), Li XK(李先琨). 2004. Flora of Karst vegetation in Guangxi(广西岩溶植被植物区系)[J]. *Guihaia*(广西植物), 24(4): 302-310.
- Wu ZY(吴征镒). 1991. The areal-types of genera of seed plant in China(中国种子植物属的分布区类型)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究), Supp. IV: 1-139.
- 吴征镒, 朱彦丞, 姜汉侨. 1987. 云南植被[M]. 北京: 科学出版社, 27-59.
- Yao CH(姚长宏), Jiang ZC(蒋忠诚), Yuan DX(袁道先). 2001. Vegetation Karst effects on the Karst area of Southwest China(西南岩溶地区植被喀斯特效应)[J]. *Acta Geoscientia Sinica*(地球学报), 22(2): 159-164.
- Zhu H(朱 华), Wang H(王 洪), Li BG(李宝贵), et al. 1996. A phytogeographical research on the forest flora of limestone hills in Xishuangbanna(西双版纳石灰岩森林的植物区系地理研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), 16(4): 317-330.
- 朱守谦. 1997. 喀斯特森林生态研究(II)[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 167-172.