

云南亚热带南部表土孢粉组合与植被间的定量关系

潘 韬^{1,2}, 吴绍洪^{1,3,*}, 戴尔阜¹, 王 昊⁴, 赵东升¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085; 4. 中国标准出版社, 北京 100045)

摘要:以云南亚热带南部沿温度带分布的 35 个表土孢粉样品和 7 个植被样方调查为基础, 计算了代表性孢粉类型的百分比和孢粉浓度, 及常见孢粉的 R 值, 并分析了影响 R 值的因素; 同时, 研究了植物群落和样方内孢粉组合的相似度。结果表明, 云南亚热带南部表土样品孢粉产量丰富, 蕨类植物孢子产量较高, 具有典型的亚热带特征, 且山地垂直分异显著; 木本、草本植物花粉基本代表了区域内乔木和草本植物特征, 蕨类植物孢子则具有超代表性; 表土孢粉组合与植物群落间的相似系数绝大部分都在 70% 以上, 表土孢粉组合基本上可以反映植物群落面貌; 表明云南亚热带地区表土孢粉与现代植被之间具有较好的对应关系, 这对在该区利用化石孢粉资料定量恢复古植被和重建古气候有重要意义。

关键词:云南亚热带; 孢粉组合; 植被; R 值; 相似系数

文章编号: 1000-0933(2008)12-6060-10 中图分类号: Q948 文献标识码: A

Quantitative relationships between surface pollen and spores assemblages and vegetation in the Southern Subtropics of Yunnan Province, China

PAN Tao^{1,2}, WU Shao-Hong^{1,3,*}, DAI Er-Fu¹, WANG Hao⁴, ZHAO Dong-Sheng¹

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

4 Standards Press of China, Beijing 100045, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 6060 ~ 6069.

Abstract: Based on the pollen and spores analysis results of thirty-five surface samples and vegetation investigation of seven sampling fields which are distributed latitudinally along the southern subtropical zone of Yunnan Province, the percentage and concentration of typical pollen and spores types as well as the common R values were calculated, and the factors influencing R values were analyzed. Meanwhile the coefficients of similarity between plant communities and sample fields were studied. Results show that the production of pollen and spores are rich with relatively high production of fern spores in southern subtropics of Yunnan, which has typical subtropical characteristics and distinct vertical differentiations. The surface woody and herbage pollen can basically represent the plant components of the region, while the fern spores are super-representative. The coefficients of similarity between plant communities and sample fields are mostly over 70%, which shows that the surface assemblages can reflect the plant community features. The conclusion believes that there's a good corresponding relationship between surface pollen and spores and local vegetation, which has great significance for

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2003CB415101)

收稿日期: 2007-08-27; 修订日期: 2008-06-17

作者简介: 潘韬(1984~), 男, 安徽六安人, 博士生, 主要从事陆地表层格局与全球变化研究. E-mail: pant.06b@igsrr.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wush@igsrr.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Basic Research Program of China(No. 2003CB415101)

Received date: 2007-08-27; **Accepted date:** 2008-06-17

Biography: PAN Tao, Ph. D. candidate, mainly engaged in land surface pattern and global change. E-mail: pant.06b@igsrr.ac.cn

restoring past vegetation and reconstructing paleoclimate quantitatively using fossil pollen and spores data of the region.

Key Words: subtropics of Yunnan; pollen and spores assemblages; vegetation; *R* value; coefficient of similarity

随着全球变化研究的不断深入,近年来孢粉-植被-气候关系研究已经成为世界孢粉学界的热点^[1]。自然界中,植物对生存环境的反应最为敏感,孢子与花粉作为植物的遗留物,由于其个体小、易于保存而成为第四纪植被发展史和古气候、古环境研究的重要手段之一^[2]。

利用孢粉数据解释环境、恢复古植被与古气候,很大程度上取决于孢粉资料的准确性^[3]。然而由于孢粉的产量、传播、散布、搬运、沉积、保存等一系列问题的复杂性与多变性,使得孢粉与植被和气候的关系成为孢粉学理论和应用上最基本也最困难的研究内容之一,而通过研究表土孢粉与植被的对应关系是解决这一问题的一种关键方法^[4]。因此,现代花粉谱和表土孢粉组合的研究已普遍受到重视,现代植被与表土花粉的关系是准确复原历史时期植被的基础和参照物。探讨表土孢粉与现代植被之间的关系,对正确解释孢粉数据、定量恢复古植被和重建古气候起着关键作用^[5]。

20 世纪 80 年代,前苏联的一些孢粉学家已经展开表土孢粉谱与现代植被关系的研究^[6]。Davies 和 Fall^[7]对中东干旱地区森林-草原-荒漠过渡区孢粉特征及依据孢粉特征进行植被带划分进行了探讨,同时指出蒿、藜对于干旱程度具有指示意义。我国学者对森林区^[8]、森林-草原过渡区^[9]、干旱区森林-草原-荒漠过渡区^[7, 10]、草原区^[11]、草甸区^[12]、干旱区^[13]和湿地^[14]等不同典型植被群落进行了表土花粉与植被关系的研究,研究区域涉及东北^[8, 10, 15]、华北^[16~18]、西北^[19]以及华东^[20]、华中^[21]和华南^[22, 23]等,西南亚热带地区也有一些相关的研究报道^[24]。尽管这些研究所采集的表土孢粉样点基本覆盖了全国的主要生态类型区,但是样品分布很不均衡。东部较多,甚至局部样点非常密集,而西部较少。继续深入展开我国西南地区亚热带、热带地区的表土孢粉研究,揭示其组合特征与植被之间的关系对于中国第四纪孢粉数据库建设及古环境重建具有重要的意义。

1 研究区概况

研究区位于我国云南省南部,地理范围在 98°40'53"~106°11'33"E 和 22°26'34"~24°27'35"N 之间,行政区包括西畴、屏边、新平、镇沅、双江、永德、镇康等 7 县(图 1)。区内自然环境复杂,其沿南北向发育、东西向分布的巨大山系和深切河谷格局,构成了全球独特的高山峡谷景观^[25]。研究区含亚热带、边缘热带两个气候带,四季温差小、干湿季分明。区内气候特征偏暖湿,在一些较主要的高原盆地内,年平均气温在 16~19℃之间,年内日均温≥10℃持续天数在 300d 以上;最冷月平均气温>10℃,多在 10~12℃之间;最热月平均气温都多在 22~24℃之间,而在≥18℃的持续天数也达到 170d 以上。降水充沛,除少数河谷内部年雨量不到 1000mm 以外,大多数地点的雨量在 1000~1500mm 之间。受环流因子的东西向差异与地形条件影响,从西向东气温有明显下降的趋势。与这种趋势相联系,本区地带性植被分布的海拔范围具有相似的生物气候特征,呈现显著的垂直和水平差异^[26];

干热河谷灌丛草丛,海拔一般在 500m 以下,植被群落以落叶树种占优势的河谷雨林片段及稀树灌木草丛分布为主。常见代表种类有厚皮树(*Lannea*)、三芒草(*Aristida*)、木棉(*Bombax*)、丁癸草(*Diphylla*)、金合欢(*Acacia*)、黍(*Panicum*)、柿(*Diospyros*)、大戟(*Euphorbia*)、扁担杆(*Grewia*)和白茅(*Imperata*)等。

季风常绿阔叶林,海拔一般在 1100~1500m 之间,在东部部分地区则下降到海拔约为 500~1000m 之间,主要出现在低山、丘陵和山麓地带。组成该类森林的主要树种以壳斗科(*Fagaceae*)的多种栲属(*Castanopsis*)、石栎属(*Lithocarpus*)和茶科(*Theaceae*)的木荷属(*Schima*)为主,常见代表种类为印度栲(*Castanopsis indica*)、截果柯(*Lithocarpus truncatus*)、红木荷(*Schima wallichii*)等。

半湿性常绿阔叶林,海拔一般在 1500~2500m,主要分布于滇中高原的低山、丘陵地带,也出现在亚热带南部的山地垂直带上。主林层的代表树种有高山栲(*Castanopsis delavayi*)、滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)

Schotky)、红栎(*Quercus rubra*)、滇石栎(*Lithocarpus dealbatus*)、山玉兰(*Magnolia delavayi*)等,常由其中的1、2种分别形成单优群落或2、3种混交成林。

山地常绿阔叶林,海拔一般在1600~2600m之间。主要分布在哀牢山、无量山、高黎贡山、碧罗雪山、点苍山、乌蒙山等高大山体的上半部,处于山地云雾带附近,是云南热带、亚热带山地具有代表性的类型。代表植被有壳斗科(*Fagaceae*)、樟科(*Lauraceae*)、茶科(*Theaceae*)、木兰科(*Magnoliaceae*)、金缕梅科(*Hamamelidaceae*)等。

高山针叶林,海拔一般2600m以上,在滇西北高山地区最为成片集中,是现存的优势植被类型之一。代表树种有冷杉(*Abies*)、云杉(*Picea*)、铁杉(*Tsuga*)、落叶松(*Larix*)和松属(*Pinus*)中的某些种。

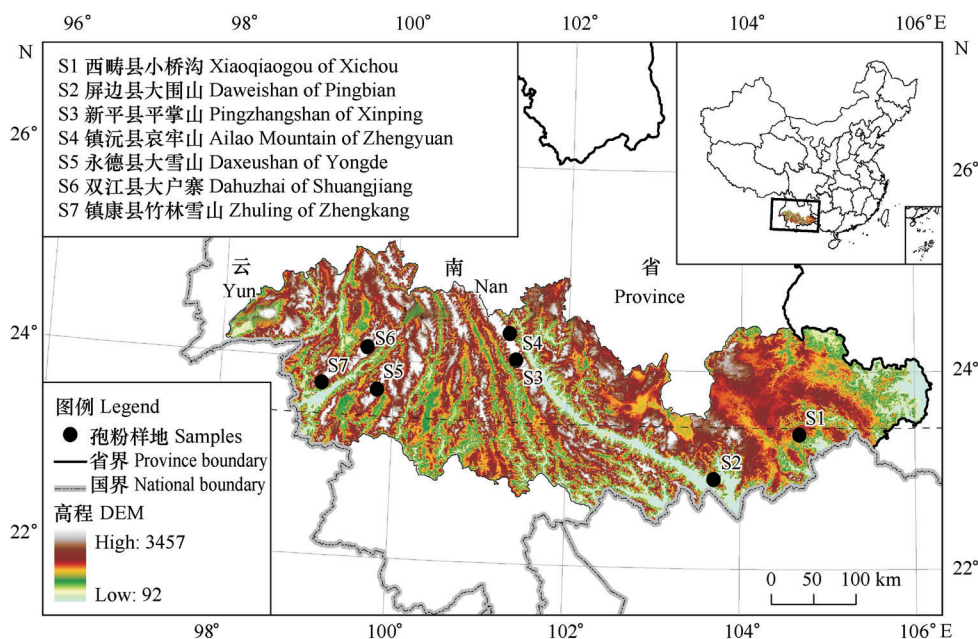


图1 研究区采样点分布图

Fig. 1 Distribution of samples in study area

2 材料与方法

2.1 表土孢粉取样与植被调查

表土孢粉采自于云南亚热带南部不同山地植被类型中,东西长600km,南北宽200km,是一条受不同季风环流驱动的水平梯度带。本次调查共设置7个样地,由东向西包括西畴县小桥沟自然保护区、屏边县大围山自然保护区、新平县平掌山、镇沅县者东乡波浪村哀牢山、双江县勐库镇大寨、永德县乌木龙镇大雪山自然保护区、镇康县木场乡竹林雪山,海拔在1500~3000m之间,样地分布位置如图1所示。样品主要采集林下表层土壤,在每个样地内按梅花点状法采集5个表土孢粉土样,共得到35个表土样品。

采集表土孢粉样品的同时,在取样地周围20m×20m范围内做植被调查。主要记录取样地周围植物群落中的植物种类及主要植物的丰度。植物丰度用估测的盖度(投影盖度)表示^[10],首先估测乔木、灌木及草本各自的总盖度,然后分别统计各属种的盖度,其计算方法与孢粉百分比的算法一致。

2.2 孢粉的分析鉴定

土样的孢粉分析鉴定工作在中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室完成,采用了氢氟酸冷却法进行分析^[27]。具体流程如下:每个土样称样6~15g,加10%~15%的盐酸去除样品中的碳酸钙,打散样品中的胶结物,使其完全散开,经40目过筛后去除草根等杂物,加水12h后换水4次以上清洗,加40%氢氟酸去除样品中的矿物质及杂质,加水清洗,在超声波清洗皿中用7μm的筛布过筛约3min,去处样品中的杂质,最后富集筛布上的有机质,制片观察,在显微镜下进行孢粉的鉴定、统计。样品统计鉴定的结果显示,7个样地的

样品中均含有丰富的孢粉。共鉴定到 10642 粒孢粉,平均每个样品 304 粒,其中,最多的为 540 粒/样,最少的为 229 粒/样,它们分属 89 个科属,孢粉图式见图 2。

2.3 孢粉资料的统计

以样地为单位分别统计各科属孢粉所占百分比含量。观察孢粉数据发现,7 个样地的孢粉组合中,蕨类植物的孢子数量较大,远高于除优势科属外的大多数科属,特别是的草本植物的一些科属。另外,蕨类孢子出现的频率很不稳定,各样点之间的绝对数量差异较大。为了避免蕨类孢子对孢粉组合中一些小比例植物孢粉的掩盖效应,便于各科属在样点之间开展比较的一致性,在实际计算时,将蕨类孢粉与木本草本科属的孢粉分开来计算。计算公式为:

$$P_1 = \frac{Q_1}{X_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, P_1 为木本与草本植物各科属孢粉百分比(%), Q_1 为木本与草本植物各科属的花粉数(粒), X_1 为样地木本草本花粉(不含蕨类孢子)总数(粒)。

$$P_2 = \frac{Q_2}{X_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中, P_2 为蕨类植物各科属孢粉百分比(%), Q_2 为蕨类植物各科属的孢子数(粒), X_2 为样地蕨类植物孢子(不含木本与草本花粉)总数(粒)。

采用外加花粉法计算表土孢粉浓度,计算公式为:

$$C = \frac{L_1}{L_f} \times \frac{Q}{M_0} \quad (3)$$

式中, C 为表土孢粉浓度(粒/g), L_1 为加入样品中的外加花粉数(粒), L_f 为统计的外加花粉数(粒), Q 为每份表土样品孢粉数(粒), M_0 为每份表土样品的质量(g)。

2.4 R 值的计算

孢粉代表性常用 R 值表示^[4],它是样品中某一孢粉的百分比之与植被样方的百分比之商。 R 值的计算采用模型:

$$R = P/V \quad (4)$$

式中, P 为某种植物的孢粉百分含量(%); V 为该种植物在植被样方中的百分含量(%). 把 $R > 1$ 称为超代表, $R < 1$ 称为低代表, $R = 1$ 称为适中代表。

2.5 相似度计算

每个植物样方孢粉组合与植物群落间的相似系数(Coefficient of Similarity, CS)通常用来描述二者间的相似程度,可以用下面的公式计算:

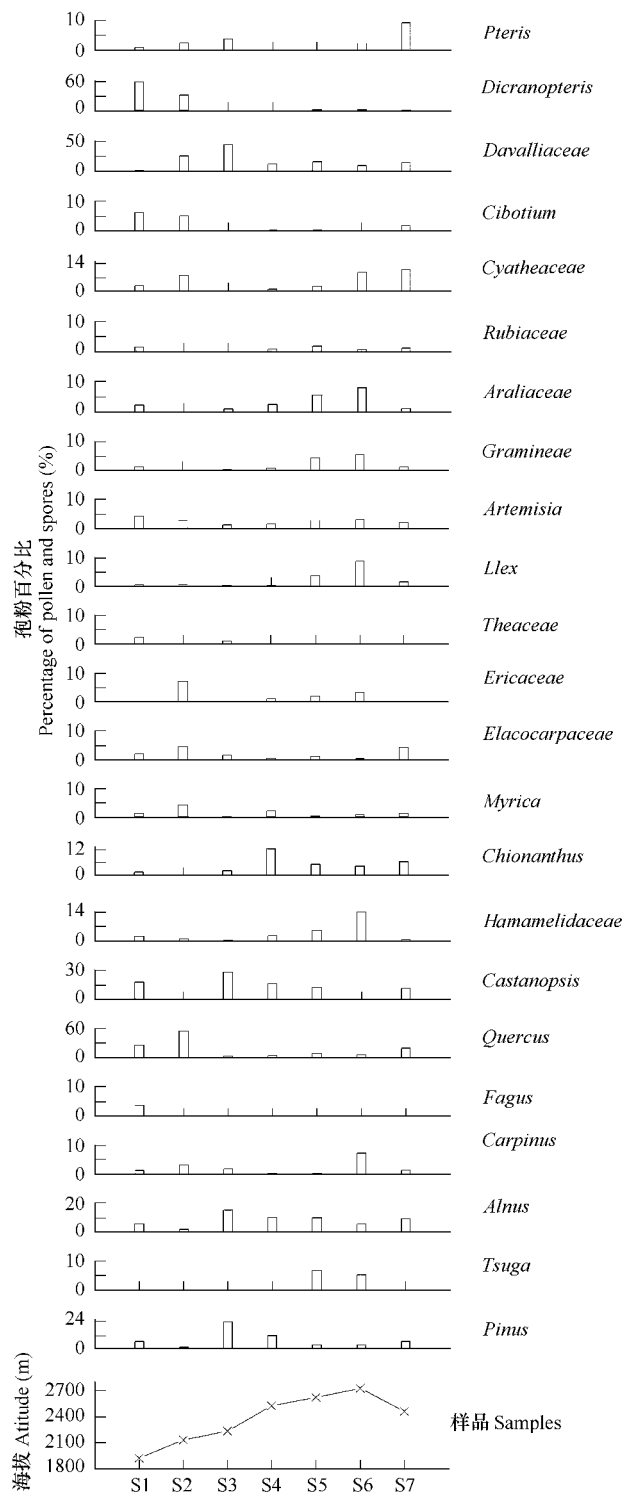


图 2 云南亚热带南部表土孢粉图式

Fig. 2 Surface pollen and spores diagram in southern subtropics of Yunnan

$$CS = \frac{2A_x}{(A_x + P_x) + (A_x + V_x)} \quad (5)$$

式中, A_x 为样方中植物群落与表土孢粉共有的种类数目(粒); P_x 为表土孢粉出现而植物群落中没有出现的种类数目(粒); V_x 为植物群落中出现而孢粉中没有出现的种类数目(粒)。

3 分析结果

3.1 孢粉组合特征

孢粉鉴定统计表明, 35 个表土样品里均发现丰富的孢子和花粉。鉴定统计的主要孢粉类型、孢粉百分比情况见表 1。根据孢粉分析结果, 7 个样地表土样品的孢粉组合有如下 4 方面的特点:

(1) 孢粉科属类型丰富 共鉴定出 46 个科属的木本植物花粉, 29 个科属的草本植物花粉和 14 个科属的蕨类和藻类孢子。7 个样地的孢粉组合都是以木本植物花粉为主, 均占孢粉总数的 75% 以上。

丰富的孢粉类型反应了云南省极其丰富的植物资源。云南具有“中国植物区系发生的摇篮”之称, 是全球生物多样性最丰富的地区之一和世界级的基因库。

表 1 云南亚热带南部主要表土孢粉百分比统计表

Table 1 Main Surface pollen and spores taxa percentage of Southern Subtropics from Yunan (%)

孢粉科属 Spore-pollen taxa	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
木本 Woody							
松属 <i>Pinus</i>	6.23	1.23	23.94	11.89	3.50	3.53	6.21
铁杉属 <i>Tsuga</i>	0.09				6.89	5.45	0.07
赤杨属 <i>Alnus</i>	5.87	2.12	15.38	10.23	9.96	5.74	9.53
鹅耳枥属 <i>Carpinus</i>	1.28	3.07	1.75	0.37	0.32	7.29	1.33
水青冈属 <i>Fagus</i>	3.67	0.14	0.08	0.09	0.21		
栎属 <i>Quercus</i>	26.40	55.73	4.15	4.79	8.90	7.07	19.89
栲属 <i>Castanopsis</i>	17.87		28.26	16.41	12.18	0.15	11.09
金缕梅科 <i>Hamamelidaceae</i>	2.47	1.30	0.58	2.67	5.19	13.92	0.89
隧花木属 <i>Chionanthus</i>	1.47		2.16	12.53	5.08	4.42	6.58
杨梅属 <i>Myrica</i>	1.56	4.37	0.50	2.40	0.64	1.03	1.55
杜英科 <i>Elaeocarpaceae</i>	2.02	4.64	1.66	0.65	1.17	0.44	4.36
杜鹃花科 <i>Ericaceae</i>	0.37	7.31	0.33	1.20	2.12	3.39	0.37
茶科 <i>Theaceae</i>	2.38		1.08				
冬青属 <i>Llex</i>	0.64	0.61	0.42	0.28	3.81	8.84	1.63
草本 Herb							
蒿属 <i>Artemisia</i>	4.40	2.73	1.33	1.66	2.86	3.17	2.14
禾本科 <i>Gramineae</i>	1.37	0.14	0.33	0.83	4.45	5.52	1.26
五加科 <i>Araliaceae</i>	2.29	0.07	1.00	2.58	5.72	8.10	1.18
茜草科 <i>Rubiaceae</i>	1.65		0.08	0.83	1.91	0.81	1.33
蕨类 Fern							
桫欏科 <i>Cyatheaceae</i>	2.88	8.21		1.27	2.65	9.55	11.22
金毛狗蕨属 <i>Cibotium</i>	6.31	5.13		0.36	0.44		1.92
骨碎补科 <i>Davalliaceae</i>	1.26	25.13	44.23	11.39	15.93	9.55	14.42
芒萁属 <i>Dicranopteris</i>	57.84	31.28	0.96	0.36	2.21	3.02	1.60
瓦韦属 <i>Lepisorus</i>	1.08	2.56	3.85			2.51	9.29
蹄盖蕨属 <i>Athyrium</i>	0.72						0.64
卷柏属 <i>Selaginella</i>	0.18		11.54				
石松属 <i>Lycopodium</i>	0.36	2.56				3.52	0.64
金粉蕨属 <i>Onychium</i>						25.63	0.32
金星蕨科 <i>Thelypteridaceae</i>	0.18						
碗蕨科 <i>Dennstaedtiaceae</i>			5.77				8.65

(2) 亚热带特征明显 亚热带常绿阔叶林常见特征科中的壳斗科 (*Fagaceae*)、金缕梅科 (*Hamamelidaceae*)、茶科 (*Theaceae*)、木兰科 (*Magnoliaceae*) 都有出现。其中, 壳斗科和金缕梅科在孢粉组合中处于优势地位, 壳斗科尤为突出。杜英科 (*Elaeocarpaceae*)、冬青属 (*Llex*)、杜鹃花科 (*Ericaceae*)、五加科

(*Araliaceae*)也是常绿阔叶林中常见的科属组合。这些孢粉特征都说明了该地区植被类型属典型的亚热带常绿阔叶林,具有典型的亚热带常绿阔叶林的特征,与研究区所处的地带特征具有一致性。

(3) 山地垂直分异显著

7 个样地的海拔范围从 1500m 到 3000m 不等,分别代表了不同的植被类型,孢粉垂直带谱特征显著。随着海拔的增高,温带成分明显增加,而热带成分逐渐减少。半湿性常绿阔叶林的植物区系组成中兼备了热带和温度的成分。从科属情况来看,除了以壳斗科(*Fagaceae*)、茶科(*Theaceae*)、樟科(*Lauraceae*)、木兰科(*Magnoliaceae*)为主外,尚有较多温带为主的科出现,如杜鹃花科(*Ericaceae*)、松科(*Pinaceae*)等。季风常绿阔叶林的植物区系孢粉组合中,虽然优势树种仍以亚热带林所特有的壳斗科(*Fagaceae*)、茶科(*Theaceae*)、木兰属(*Magnolia*)为主体,但科属的组成上,热带科属的数量增加,而温带科属的数量减少。山地常绿阔叶林的热带成分则大为减少,温带的成分相应增加。栲属(*Castanopsis*)、金缕梅科(*Hamamelidaceae*)、茶科(*Theaceae*)、木兰属(*Magnolia*)是亚热带常绿阔叶林的特征属,栎属(*Quercus*)、杜英科(*Elaeocarpaceae*)、杜鹃花科(*Ericaceae*)、杨梅属(*Myrica*)、石栎属(*Lithocarpus*)是山地湿性常绿阔叶林的特征属,铁杉(*Tsuga*)、云杉(*Picea*)是高山针叶林的特有科属。

从各样地的孢粉优势科属分析可以看到,孢粉优势科属从低海拔到高海拔分别是栲属(*Castanopsis*)、栎属(*Quercus*)、金缕梅科(*Hamamelidaceae*)、铁杉(*Tsuga*),分别代表季风常绿阔叶林、半湿性常绿阔叶林、山地常绿阔叶林、高山针叶林植物群落。

(4) 蕨类植物丰富

在 7 个样地的孢粉组合中,蕨类植物的孢粉种类较多、数量也较大,各样地之间绝对数量的差异较大,主要分布在研究区西部,这可能与盛行西南季风携带的印度洋暖湿气流影响有关。如桫欏科(*Cyatheaceae*)、金毛狗蕨属(*Cibotium*)、骨碎补科(*Davalliaceae*)、芒萁属(*Dicranopteris*)、瓦韦属(*Lepisorus*)、蹄盖蕨属(*Athyrium*)、卷柏属(*Selaginella*)、石松属(*Lycopodium*)、金粉蕨属(*Onychium*)、金星蕨科(*Thelypteridaceae*)、碗蕨科(*Dennstaedtiaceae*)等。

3.2 孢粉百分比与浓度对比

花粉百分比是一个相对值,较好的反映了花粉组合的规律。但受减少补偿律的影响,使这种计算方法本身存在一定的缺陷,各类花粉数量的相对变化,相对含量中的每一个变量不是独立的,它们相互制约,不一定能代表植被的真正变化。为了克服这一缺陷,Davis^[28]提出了花粉浓度的概念,即单位体积或单位重量样品中所含的花粉数量。可见,不同植物花粉的浓度是相互独立的,与百分比有质的区别。二者在孢粉统计中具有各自的特点合优势。本文用外加花粉法求得花粉浓度,并与百分比计算相比较(图 3),二者的变化趋势基本一致,但前者的变化更明显。

分析本本的孢粉百分比与浓度图式发现,样地 5 的孢粉浓度与百分比的变化趋势有些差异。该样地位于双江县勐库镇大户寨,地理位置为 99°48'43.2"E,23°42'07.0"N,海拔 2624m,属于高山针叶林植被群落,优势种群为铁杉林。铁杉林主要分布在哀牢山以西的高海拔地区,处于亚热带常绿阔叶林与高山云杉、冷杉林之间,在群落的组成与结构方面皆有二者的过渡特征。其呈现出的孢粉百分比高,而孢粉浓度却相对较低的现象,可能是由于高山针叶林的花粉产量一般较低且受到外来花粉影响的缘故。另外,其优势种群分布较为均匀,也造成了表土孢粉分布均匀的特点,因而孢粉数量占样地孢粉总数的百分比虽然较高,但单位质量的表土孢粉浓度不高。相应地,这些被搬运的孢粉成为低海拔地区孢粉组成的外来成分。

3.3 R 值计算

一般地, R 值越接近 1,孢粉代表性越好; R 值越远离 1,孢粉代表性越差。因此, R 值揭示了孢粉反映植物或孢粉组合反映植被特征的准确程度,也是人们校正孢粉组合,正确解译古植被、古气候与古环境的依据。

表土孢粉百分比除以植被样方中相同科属的植物百分比,可得到某一植物群落中不同孢粉的 R 值,将不同植物群落中相同孢粉的 R 值作平均处理。最后,用 $R-1$ 的结果来反映孢粉的代表性, $R-1$ 大于 0 的具有超

代表性,反之具有低代表性,详见表2。

表2 云南亚热带南部表土典型孢粉 $R-1$ 值

Table 2 The $R-1$ value of typical surface pollen and spores taxa in southern subtropics of Yunnan

孢粉科属 Pollen and spores taxa	典型植物群落 R 值 $R-1$ value of typical plants communities					平均 R 值 Mean $R-1$ value
	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	栎林 Quercus forest	山地湿性阔叶林 Montane moist broad-leaved forest	云南松林 Pinus Yunnanensis	冷杉林 Abies fabri forest	
松属 <i>Pinus</i>	1.13	1.47	0.92	-0.07	-0.03	0.68
铁杉属 <i>Tsuga</i>				0.17	0.78	0.48
赤杨属 <i>Alnus</i>	0.21	0.34	0.07	0.01	0.18	0.16
鹅耳枥属 <i>Carpinus</i>	-0.13	-0.08	-0.21	-0.34		-0.19
水青冈属 <i>Fagus</i>	0.42		0.28			0.35
栎属 <i>Quercus</i>	-0.24	-0.13	-0.37			-0.25
栲属 <i>Castanopsis</i>	0.18	0.24	-0.08			0.11
金缕梅科 Hamamelidaceae		0.56	0.25			0.41
隧花木科 Chionanthus	0.27	0.19	0.38			0.28
杨梅科 <i>Myrica</i>	-0.55	-0.33	-0.61			-0.49
杜英科 Elaeocarpaceae	-0.11	-0.35	-0.26			-0.24
杜鹃花科 Ericaceae	-0.09	-0.14	-0.12	-0.24	-0.11	-0.14
茶科 Theaceae	-0.61				-0.55	-0.58
冬青属 <i>Llex</i>	-0.23	-0.29	-0.32		-0.33	-0.29
蒿属 <i>Artemisia</i>	0.35	0.66	0.44		0.86	0.58
禾本科 Gramineae	-0.32	-0.25	-0.28	-0.31		-0.29
五加科 Araliaceae	-0.17	-0.22	-0.33	-0.37		-0.27
茜草科 Rubiaceae	0.12	0.25	0.36	0.09		0.21
桫欏 <i>Cyathea</i>	4.78	4.36	5.13	6.81		5.27
蹄盖蕨属 <i>Athyrium</i>	15.01				7.34	11.18
卷柏属 <i>Selaginella</i>	20.84			18.37		19.61
石松属 <i>Lycopodium</i>	11.35					11.35

表格空白处表示植物群落调查或样地表土孢粉调查中没有发现该科属植物 Blank area means that there isn't corresponding taxon in the plants community or surface soil pollen and spores investigation

由表2可知,不同类型的木本植物花粉 R 值相差很大。如赤杨属 (*Alnus*)、鹅耳枥 (*Carpinus*)、水青冈 (*Fagus*)、栲 (*Castanopsis*)、隧花木 (*Chionanthus*) 等具有较高代表性, R 值比较稳定,变化于 1.20 左右,而杨梅科 (*Myrica*)、杜英科 (*Elaeocarpaceae*)、杜鹃花科 (*Ericaceae*)、茶科 (*Theaceae*)、冬青属 (*Llex*) 等花粉具有较低代表性。云南东部松属主要为云南松,但大多数为次生林,分布极为广泛,其 R 值波动于 0.9~3 之间。

草本植物花粉 R 值变化较大。蒿 (*Artemisia*) 具有明显超代表性,平均 R 值为 1.58,茜草科 (*Rubiaceae*) 的花粉也具有超代表性,其 R 值在 1.2 左右变化,而其它的草本花粉如禾本科 (*Gramineae*)、五加科 (*Araliaceae*) 则具有低代表性, R 值分别为 0.71 和 0.73。

蕨类植物虽然与草本植物相似,植株均较矮小,但是与大多数草本植物相反,蕨类孢子的 R 值均很高,具超代表性。如桫欏 (*Cyathea*) R 值为 6.27,蹄盖蕨为 12.18,石松 (*Lycopodium*) 为 12.35,卷柏甚至达到 20.61。另外,在表土中还发现许多其它科属的孢子,如凤尾蕨 (*Pteris*)、节肢蕨 (*Arthromeria*)、芒萁 (*Dicranopteris*)、金毛狗蕨 (*Cibotium*) 等,但在植被样方调查中却不见这些蕨类植物生长。结合前人的研究认为^[22~24],蕨类孢子之所以具有超代表性,主要是由于其孢子产量较高的缘故。

R 值大小受到很多因素的影响,而且这些因素彼此间又相互联系和制约。植物自身的孢粉产量以及外来孢粉的数量是影响其 R 值的主要原因。外来孢粉的加入会增加当地花粉总量,减小花粉百分比,进而使 R 值

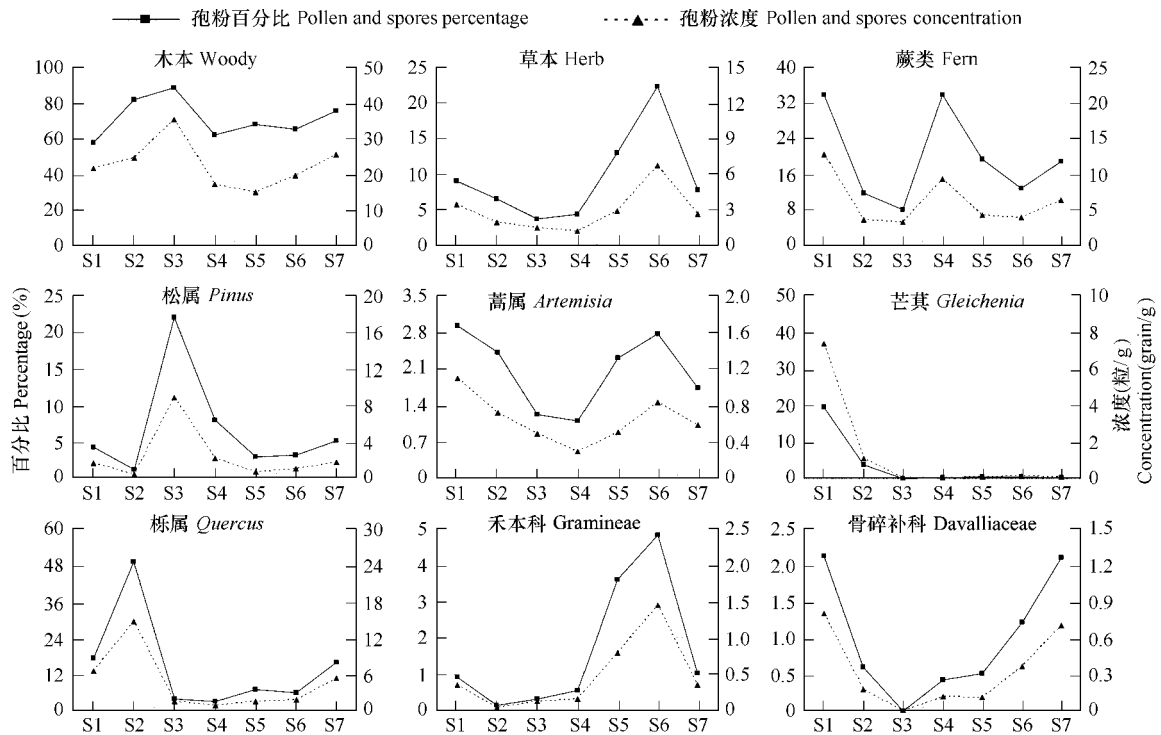


图3 云南亚热带南部表土孢粉百分比与浓度分布趋势对比

Fig. 3 Comparison of surface pollen and spores percentage and concentration in southern subtropics from Yunnan

变小。一些位于植被基带和山体下部的亚热带常绿阔叶与落叶阔叶花粉可能就是因为山体上部随风飘下来的外来花粉太多,以致使其 R 值偏低。而山体上部的喜冷或喜凉的温带植物花粉则因外来花粉相对较少而具有较高 R 值。产量高的花粉显然具有较高的 R 值,常出现超代表性现象,如草本花粉中的蒿属。

同一孢粉在不同植物群落中的表土 R 值也有一定差异,离主要孢粉源愈远, R 值愈远离 1;而在孢粉源产地,则 R 值更接近 1^[19]。如鹅耳栎和栲属,其 R 值在季风常绿阔叶林中分别为 0.87 和 1.18,栎林中分别为 0.92 和 1.24,山地湿性阔叶林中分别为 0.79 和 0.92。

总的来说,云南亚热带南部表土木本植物花粉和草本植物花粉组合基本能够反映区内植被特征,表土花粉组合与植被之间具有较好的对应关系,说明了在该区利用化石孢粉资料定量恢复古植被和重建古气候具有较好的适应性。

3.4 相似度分析

表土孢粉组合反映植物群落面貌的程度还可以用相似系数(coefficient of similarity, CS)表示,每个样方孢粉组合与植物群落间的相似系数通常用来描述二者间的相似程度。

根据公式(4)计算出的每个样地植被群落和表土孢粉组合间的相似系数见图4。除样地4由于林下受人工影响较大外,其它6个样地表土孢粉与植物群落的相似系数都在70%以上,表明表土孢粉组合基本上反映了植物群落面貌。

4 主要结论与讨论

运用孢粉学分析方法对云南亚热带南部 35 个表土孢粉样品进行分析,探讨其组合特征与植被之间的关

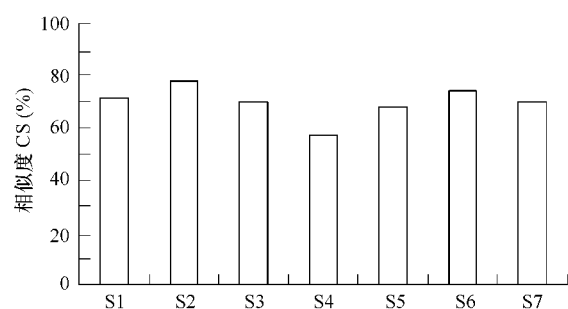


图4 表土孢粉组合与植物群落的相似系数

Fig. 4 Coefficients of Similarity between surface pollen and spores assemblages and plants communities

系,可以得到以下结论:

(1) 云南亚热带南部地区表土样品孢粉产量丰富,孢粉类型具有典型的亚热带特征,蕨类植物孢子产量较高,山地垂直分异显著。该区植被类型属典型的亚热带常绿阔叶林,具有典型的亚热带常绿阔叶林的特征,孢粉分析结果与研究区所处的地带特征一致。从各样地的优势孢粉科属分析可以得出,海拔从低到高代表的植物群落分别为季风常绿阔叶林、半湿性常绿阔叶林、山地常绿阔叶林、高山针叶林。西部样地丰富的蕨类孢子可能与盛行西南季风携带的印度洋暖湿气流影响有关;

(2) 总体上表土孢粉百分比和浓度呈现出一致的变化趋势,显示出研究区内表土孢粉组合特征的相对稳定性。样地 5 的孢粉浓度与百分比呈负相关,这可能是由于对于铁杉林的花粉产量一般较低且受到外来花粉影响的缘故;

(3) R 值结果显示,云南亚热带南部表土木本植物花粉基本代表了区域内乔木植物的特征,草本植物花粉基本代表了区域内草本植物特征,蕨类植物孢子则具有超代表性。样地孢粉组合特征基本能够反映区内植被组分状况;

(4) 各样地孢粉组合与植物群落间的相似系数除样地 4 由于林下受人工影响较大外,其它六个样地表土孢粉与植物群落的相似系数都在 70% 以上,表明表土孢粉组合基本上可以反映植物群落面貌。

总的来说,云南亚热带地区表土孢粉与现代植被之间具有较好的对应关系,这对在该区利用孢粉资料定量恢复古植被和重建古气候有重要意义。

云南植物区系热带、亚热带植物十分丰富,由于其植物区系物种繁衍的连续性,较少变迁,加上山川的阻隔,形成了极其丰富的物种和大量的特有种。孢粉调查往往能够发现区域内特有的科属种类。另外,云南地处低纬高原,纵向排列的系列高山岭谷,构成了其独特的高山峡谷。同时,区内受到印度洋和西太平洋两大热源的影响,具有典型的热带季风气候特征,同时受到西南季风和东南季风的共同作用。

在热带季风高原气候条件下,无论在空间和时间上,气候条件差异都十分显著,孢粉作为反映环境气候特征的重要代用资料,往往能够揭示这种环境气候的区域差异。在进行孢粉组合特征分析时也发现,区内孢粉种类和数量在样地间具有较为明显的空间差异,这种差异是否反映了一定的植被和气候在空间上的分异规律,以及导致这种分异的主要因素等问题还有待进一步深入研究。

References:

- [1] Davis B A S, Brewer S, Stevenson A C, Guiot J. The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quaternary Science Reviews*, 2003, 22: 1701—1716.
- [2] Wang K F, Xu X. Quaternary palynology. Guiyang: The People's Press of Guizhou, 1988. 12—13.
- [3] Yang Z J, Xu J M. Advances in studies on relationship among pollen, vegetation and climate. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(Supp): 73—81.
- [4] Davis M B. On the theory of pollen analysis. *American Journal of Science*, 1963, 261: 897—912.
- [5] Wang K F, Wang X Z. Palynology outline. Beijing: Peking University Press, 1983. 3—4.
- [6] Kari L H. Modern pollen assemblages from mown and grazed vegetation types in western Norway. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1999, 107: 55—81.
- [7] Davies C P, Fall P L. Modern pollen precipitation from an elevational transect in central Jordan and its relationship to vegetation. *Journal of Biogeography*, 2001, 28: 1195—1210.
- [8] Li Y Y, Zhang X S, Zhou G S. Study of quantitative relationships between vegetation and pollen in surface samples in the eastern forest area of Northeast China Transect. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(1): 81—88.
- [9] Li Y S, Jie D M. Study on surface spore-pollen assemblages characters in Qianshan Mountains-Liaohu Plain-Yiwulü Mountain. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(6): 691—697.
- [10] Tong G B, Yang X D, Wang S M, Xia L H. Spore-pollen dissemination and quantitative character of surface sample of Manzhouli Dayangshu Region. *Acta Botanica Sinica*, 1996, 38(10): 814—821.
- [11] Wang F Y, Song C Q, Sun X J. Climatic response surface from pollen data for four arboreal taxa in North China. *Acta Botanica Sinica*, 1996, 38(11): 902—909.
- [12] Pardoe H S. The representation of taxa in surface pollen spectra on alpine and sub-alpine glacier forelands in southern Norway. *Review of*

Palaeobotany and Palynology, 2001, 117: 63—78.

- [13] Chen H, Li X M, Li S C. A study on topsoil pollens in the east of Qaidam Basin. *Geographical Research*, 2004, 23(2): 201—210.
- [14] Xu Q H, Wang Z H, Zhu X Q. Preliminary study on surface pollen in Raoyang Section of the Hutuo River. *Journal of the Hebei Academy of Sciences*, 1991, 3: 49—55.
- [15] Sun X J, Luo Y L, Tian J, Wu Y S. Pollen record of surface sediments from vertical forest zones of Changbai Mountain, Northeast China and their relations to the modern vegetation. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(8): 910—916.
- [16] Zhang J H, Kong Z C, Du N Q. Pollen analysis of surface samples from Baihua and Dongling Mountains in Beijing. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1996, 16(3): 101—114.
- [17] Yao Z J. Surface pollen analysis in Zhong Tiao Mountain. *Geographical Research*, 1989, 44: 469—477.
- [18] Yu P T, Liu H Y. Surface pollen and its climatical significance of vertical zone in Beitai, Xiaowutai Mountain. Surface pollen and its climatical significance of vertical zone in Beitai, Xiaowutai Mountain. *Journal of Beijing University (Natural Science Edition)*, 1997, 33(4): 475—484.
- [19] Yan S. The discussion on the pollen of pine family in surface soil in Xinjiang. *Arid Land Geography*, 1993, 16(3): 1—9.
- [20] Yu G, Han H Y. A preliminary palynological study of the surface soils of modern vegetation in the Zijin MT, Nanjing. *Acta Botanica Sinica*, 1995, 19(1): 79—84.
- [21] Li W Y. Relationships between pollen and plant of the *Abies fargesii* forest and its succession in the Shennongjia Mountain. *Acta Geographica Sinica*, 1991, 46(2): 186—193.
- [22] Wu Y S, Xiao J Y. Modern pollen rain on Liangwang Mountain of Chenggong, Yunnan. *Acta Botanica Yunnanica*, 1989, 11(2): 145—153.
- [23] Wu Y S, Sun X J. A preliminary study on the relationship between the pollen percentages in forest surface samples and surrounding vegetation on West Mountain of Kunming, Yunnan. *Acta Botanica Sinica*, 1987, 29: 204—211.
- [24] Tong G B, Yang X D, Liu Z M, Wang S M, Zhao H G. Surface soil pollen distributions in the Yulong Mountain. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2003, 23(2): 103—107.
- [25] Wu S H, Dai E F, He D M. Major research perspectives on environmental and developmental issues for the Longitudinal Range-Gorge Region (LRGR) in Southwestern China. *Progress in Geography*, 2005, 24(1): 31—40.
- [26] Wang S Y, Zhang W. *Yunnan Geography*. Kunming: Yunnan National Press, 2002. 186—192.
- [27] Feagri K, Iversen J. *Textbook of pollen analysis*. 3rd ed. Oxford: Blackwell, 1989. 295.
- [28] Davis M B. Determination of absolute pollen frequency. *Ecology*, 1966, 47: 310—311.

参考文献:

- [2] 王开发, 徐馨. 第四纪孢粉学. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988. 12~13.
- [3] 杨振京, 徐建明. 孢粉-植被-气候关系研究进展. *植物生态学报*, 2002, 26(增刊): 73~81.
- [5] 王开发, 王宪曾. 孢粉学概论. 北京: 北京大学出版社, 1983. 3~4.
- [8] 李宜垠, 张新时, 周广胜. 中国东北样带(NECT)东部森林区的植被与表土花粉的定量关系. *植物学报*, 2000, 42(1): 81~88.
- [9] 李应硕, 介冬梅. 千山-辽河平原-医巫闾山表土孢粉组合特征分析. *山地学报*, 2006, 24(6): 691~697.
- [10] 童国榜, 羊向东, 王苏民, 夏良华. 满洲里-大杨树一带表土孢粉的散布规律及数量特征. *植物学报*, 1996, 38(10): 814~821.
- [11] 王璋瑜, 宋长青, 孙湘君. 内蒙古中部表土花粉研究. *植物学报*, 1996, 38(11): 902~909.
- [13] 陈辉, 吕新苗, 李双成. 柴达木盆地东部表土花粉分析. *地理研究*, 2004, 23(2): 201~210.
- [14] 许清海, 王子惠, 朱宣清. 滦沱河饶阳段表土花粉的初步研究. *河北省科学院学报*, 1991, 3: 49~55.
- [16] 张佳华, 孔昭宸, 杜乃秋. 北京地区百花山、东灵山表土花粉的特征分析. *海洋地质与第四纪地质*, 1996, 16(3): 101~114.
- [17] 姚祖驹. 中条山林区表土花粉分析. *地理学报*, 1989, 44: 469~477.
- [18] 于澎涛, 刘鸿雁. 小五台山北台北坡植被垂直带的表土花粉及其气候意义研究. *北京大学学报(自然科学版)*, 1997, 33(4): 475~484.
- [19] 阎顺. 新疆表土松科花粉分布的探讨. *干旱区地理*, 1993, 16(3): 1~9.
- [20] 于革, 韩辉友. 南京紫金山现代植被表土孢粉的初步研究. *植物生态学报*, 1995, 19(1): 79~84.
- [21] 李文漪. 神农架巴山冷杉林花粉与植物关系及其森林植被之演替. *地理学报*, 1991, 46(2): 186~193.
- [22] 吴玉书, 肖家仪. 云南贡梁山现代花粉雨的研究. *云南植物研究*, 1989, 11(2): 145~153.
- [23] 吴玉书, 孙湘君. 昆明西山林下表土中花粉与植被间的数量关系. *植物学报*, 1987, 29: 204~211.
- [24] 童国榜, 羊向东, 刘志明, 王苏明, 赵鸿光. 云南玉龙山地区的表土花粉散布特征. *海洋地质与第四纪地质*, 2003, 23(2): 103~107.
- [25] 吴绍洪, 戴尔阜, 何大明. 我国西南纵向岭谷区环境与发展问题初步研究. *地理科学进展*, 2005, 24(1): 31~40.
- [26] 王声跃, 张文. 云南地理. 昆明: 云南民族出版社, 2002. 186~192.