

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201312051

李学梅 陆树刚 徐成东. 云南蕨类植物的物种多样性和区系组成 [J]. 广西植物 2015, 35(2): 273–281

Li XM, Lu SG, Xu CD. Species diversity and floristic composition of the fern flora of Yunnan, China [J]. *Guihaia* 2015, 35(2): 273–281

云南蕨类植物的物种多样性和区系组成

李学梅^{1,2}, 陆树刚¹, 徐成东^{2,3*}

(1. 云南大学 生命科学院, 昆明 650091; 2. 楚雄师范学院 化学与生命科学系, 云南 楚雄 675000; 3. 云南省应用生物学重点实验室, 云南 楚雄 675000)

摘要: 在一定实地调查和分类的基础上, 采用统计分析及区系地理分析法, 对云南地区蕨类植物进行研究。结果表明: 云南地区共有蕨类植物 60 科 193 属 1 530 种(包括变种和变型), 科、属、种分别占中国蕨类植物科总数的 58.8%, 属的 83.9% 和种的 95.2%; 在这 60 个科中含 30 种以上的有 13 个, 含 5 个属以上的有 11 个, 分别占该蕨类植物区系属、种数的 56.5% 和 79.2%。特别是鳞毛蕨科、蹄盖蕨科、水龙骨科和金星蕨科, 这 4 个科共拥有 70 属 761 种, 分别占总属数、总种数的 36.3%、49.7%; 193 属中含 30 种以上的有 11 个, 分别占总属、总种数的 5.7% 和 41.7%。最具优势的是鳞毛蕨属和耳蕨属、蹄盖蕨属、铁角蕨属、卷柏属, 这 5 个属共有 403 种, 占总种数的 26.3%; 该区系中无云南特有科, 但具有 4 个亚洲特有科: 雨蕨科、稀子蕨科、柄盖蕨科和骨碎补科; 该区系以热带、亚热带性质为主, 科的区系成分中热带亚热带分布的科占 66.6%, 热带成分的属有 112 个, 占 68.7% (除世界分布类型); 该区系是东亚地区蕨类植物区系的重要组成部分, 东亚分布 31 属和中国特有分布 6 属, 分别占总属数(除世界分布属外)的 19.0% 和 3.7%; 该地区蕨类植物区系与西藏、台湾具有共同的区系起源和物种分化形成的背景, 属的相似性系数约为 70%, 种的相似性系数约为 30%, 均起源于热带亚热带地区; 属的热带区系成分与温带区系成分所占比例分别为 68.7% 和 27.6%, 存在一定的区系过渡性; 该区系科的分化强度为 3.2, 属的分化强度为 7.9, 在科、属水平上均表现出较强的区系分化特征。

关键词: 蕨类植物; 物种多样性; 区系组成; 区系分化; 云南

中图分类号: Q948.5; Q949.36 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2015)02-0273-09

Species diversity and floristic composition of the fern flora of Yunnan, China

LI Xue-Mei^{1,2}, LU Shu-Gang¹, XU Cheng-Dong^{2,3*}

(1. College of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. Department of Chemistry and Life Sciences, Chuxiong Normal University, Chuxiong 675000, China; 3. Yunnan Key Laboratory of Applied Biology, Chuxiong 675000, China)

Abstract: Based on the field investigation and plant classification, the floristic analysis of fern in Yunnan Province was studied. We made Flora of Yunnan (Vol. 20 and Vol. 21) complete, which was the principal research material by using the list of local ferns in Mt. Ailaoshan Nature Reserve, Xishuangbanna, Yuengling Nature Reserve, Dulong River and so on supplementing the list of pteridophyte in Yunnan through routine method of statistical analysis method and the analysis of the floristic geography study of ferns in Yunnan in order to find out the number of species in Yunnan ferns, the floristic composition characteristics and contact area of the surrounding area. The results were as follows: The fern flora of Yunnan consisted of 60 families, 193 genera and 1 530 species (including varieties and forms), and the family genera

收稿日期: 2014-04-25 修回日期: 2014-07-19

基金项目: 国家自然科学基金(30760040)

作者简介: 李学梅(1989-), 女, 云南大姚人, 硕士研究生, 主要从事植物生理生态研究, (E-mail) lxmzoe@163.com。

* 通讯作者: 徐成东, 博士, 教授, 主要从事植物学与植物生态学研究, (E-mail) chtown@cxtc.edu.cn。

and species accounting for the total number of ferns in Chinese were 58.8% 83.9% and 95.2% respectively; The number of families containing more than 30 species was 13 and the number of families containing more than 5 genera was 11 in this 60 families, these genera and species accounting for the total number of ferns in Yunnan Province was 56.5% and 79.2%, especially the Dryopteridaceae, Athyriaceae, Polypodiaceae, Thelypteridaceae, there were 761 species of ferns belonging to 70 genera in 4 families, accounted for 36.3% and 49.7% respectively, the number of genera containing more than 30 species was 11, accounted for 5.7% and 41.7% respectively, and the dominant genera were Dryopteris, Polystichum, Athyrium, Asplenium, Selaginella, the five genera had 403 species which accounted for 26.3% of the total species in this area; the pteridophyte floras did not contain the families endemic in Yunnan Province but had four endemic families in Asia: Peranemaceae, Monachosoraceae, Davalliaceae, Gymnogrammitidaceae; The floristic analyses showed that the main elements were tropical and subtropical in nature, the families in tropical and subtropical distributions accounted for 66.6% in the family areal type and the tropical distribution type had 112 genera, which accounted for 68.7% of the total genera (excluding the Cosmopolitan); The fern flora of Yunnan was an important part of East Asia, there were 31 genera distributed in East Asia and 6 genera in China alone, respectively accounted for 19.0% and 3.7% of the total genera in addition to the cosmopolitan; The fern floras of Yunnan, Tibet and Taiwan, China shared common floristic elements and origin as well as the background of species differentiation, the similarity coefficient of genera was about 70% and the similarity coefficient of species was about 30%, their common originated in tropical and subtropical areas; At the genus level, tropical floristic composition accounted for 68.7%, temperate floristic elements 27.6%, there was a certain degree of floristic transition; The intensity of floristic differentiation at family level was 3.2 and at genus level was 7.9. The flora differentiations both at family and genus levels are strong.

Key words: ferns; species diversity; floristic composition; floristic differentiation; Yunnan

1 研究区概况

云南省位于中国西南边陲,临近四川、贵州、广西、西藏四省,有缅甸、老挝和越南三个邻国,北回归线从该省南部横穿而过。总面积 39 万 km²,范围为 97°50′~104°06′ E、22°01′~27°20′ N。云南地形地貌丰富、气候类型多种多样,大部分为热带与亚热带气候,是全球 25 个生物多样性热点地区的重要组成部分(Myers *et al.*, 2000),也是中国乃至全球生物多样性富集区和物种基因宝库,还是长江流域重要的生态屏障(燕乃玲等 2006)。云南是东亚植物区和古热带植物区的汇集和分界地带,植物区系上有着过渡性和复杂性,是滇中高原地区、北部湾地区、滇缅泰地区和横断山区几大植物区系的结合部。因此,云南是植物区系研究的关键地区之一(徐成东等 2006)。

2 数据来源与方法

以《云南植物志》(第 20、21 卷)(2006)为基础,用哀牢山(吴征镒等,1987)、云岭地区(董晓东,2008)、独龙江(李恒,1993)、西双版纳(云南热带植物研究所,1984)等地方蕨类植物名录对其进行补

充,得出云南蕨类植物名录。统计分析了研究区域内蕨类植物的科、属、种的组成。

以吴征镒(1991)的中国种子植物属的分布区类型为基础,参照陆树刚(2004,2007)的区系划分方法进行划分。以此计算区系分化强度,计算方法:属的区系分化强度=种数/属数,科的区系分化强度=属数/科数。区系过渡性:采用热带区系成分比重和温带区系成分的比重之比值进行表示,从而探讨云南地区蕨类植物区系成分交汇情况。与西藏(吴征镒,1989)、台湾(杨远波等,1997-2002)、重庆(易思荣等,2006)三个地区的蕨类植物进行相似性系数分析,计算公式: $Sc = (2c/A + B) \times 100\%$,式中 Sc 为相似性系数, c 为两地共有属(或种)数, A 和 B 分别为两地除世界分布类型外的总属(或种)数(张镜铨,1998)。

3 区系组成分析

云南地区蕨类植物由 60 科 193 属 1 530 种组成。该蕨类植物的区系科、属、种的数目分别占中国 63 科 230 属 2 600 种的 95.2%、83.9%、58.8%。将中国蕨类植物区系的地理成分划分为 13 种分布区类型,且科、属和种的地理成分划分一致,均按这个标准划分(表 2)。

3.1 科的统计分析

3.1.1 科的组成分析 从表 1 看出, 该地区的 60 个科中, 含 5 个属及以上的科有 11 个, 分别是水龙骨科(25 属 190 种)、蹄盖蕨科(18 属 212 种)、金星蕨科(16 属 100 种)、鳞毛蕨科(11 属 259 种)、三叉蕨科(8 属 67 种)、中国蕨科(8 属 49 种)、膜蕨科(8 属 39 种)、裸子蕨科(5 属 31 种)、骨碎补科(Davalliaceae)(5 属 25 种)、乌毛蕨科(Blechnaceae)(5 属 7 种)、禾叶蕨科(Grammitidaceae)(5 属 6 种)。这 11 个科共含 114 属 985 种, 分别占该区系属、种的 59.1% 和 64.4%。其余 49 个科仅含 1~4 属。所以这 11 个科为云南的优势科。

表 1 云南蕨类植物含 30 种以上科的排序
Table 1 Ordination of the families containing more than 30 pteridophytes species of in Yunnan

科名 Family	属数 No. of genera	%	种数 No. of species	%
鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	11	5.7	259	16.9
蹄盖蕨科 Athyraceae	18	9.3	212	13.9
水龙骨科 Polypodiaceae	25	12.9	190	12.4
金星蕨科 Thelypteridaceae	16	8.3	100	6.5
铁角蕨科 Aspleniaceae	4	2.1	89	5.8
三叉蕨科 Aspidiaceae	8	4.1	67	4.4
卷柏科 Selaginellaceae	1	0.5	63	4.1
凤尾蕨科 Pteridaceae	2	1.0	53	3.5
中国蕨科 Sinopteridaceae	8	4.1	49	3.2
膜蕨科 Hymenophyllaceae	8	4.1	39	2.5
裸子蕨科 Hemionitidaceae	5	2.6	31	2.0
铁线蕨科 Adiantaceae	1	0.5	30	1.9
碗蕨科 Dennstaedtiaceae	2	1.0	30	1.9
总计 Total	109	50.5	1212	79.0

含 30 种及以上的科有 13 个, 分别是鳞毛蕨科(11 属 259 种)、蹄盖蕨科(18 属 212 种)、水龙骨科(25 属 190 种)、金星蕨科(16 属 100 种)、铁角蕨科(4 属 89 种)、三叉蕨科(8 属 67 种)、卷柏科(1 属 63 种)、凤尾蕨科(2 属 53 种)、中国蕨科(8 属 49 种)、膜蕨科(8 属 39 种)、裸子蕨科(5 属 31 种)、铁线蕨科(1 属 30 种)、碗蕨科(2 属 30 种)。这 13 个科共含 109 属 1 212 种, 分别占该区系属、种数的

56.5% 和 79.2%。它们在整个维管植物区系中扮演十分重要的角色, 特别是鳞毛蕨科、蹄盖蕨科、水龙骨科共拥有 54 属 661 种, 各科的种数均在 190 种以上, 分别占该研究区域总属、总种数的 28.0% 和 43.2%。构成了云南蕨类植物区系的主体, 是云南亚热带、热带常绿阔叶林下的优势群落。在这 13 个科中, 除鳞毛蕨科、卷柏科、铁线蕨科属于世界分布之外, 其余 11 个科均为热带分布且主要分布在热带和亚热带地区, 正是由于这些热带优势科的存在, 增强了热带地区的生物多样性和群落复杂性。

云南蕨类植物区系类群丰富, 具有现存蕨类植物中最原始的松叶蕨科, 同时也存在七指蕨科、天星蕨科、莲座蕨科等典型的热带科, 但缺乏合囊蕨科(Marattiaceae)。水龙骨科主产于热带和亚热带, 云南产 25 属 190 种, 是蕨类植物中最为进化的类群, 而中国蕨科、碗蕨科、乌毛蕨科等常见于低海拔地带的季雨林和稀树灌丛下。因此, 该蕨类植物区系是组成东亚植物区系主体的一部分, 也与古热带植物区有密切的联系; 同时该蕨类植物区系也是水龙骨科、蹄盖蕨科和鳞毛蕨科等的多样性分布中心。

3.1.2 科的分布区类型分析 在这 60 个科中, 世界分布的有石松科、卷柏科、铁线蕨科、鳞毛蕨科、蘋科、槐叶蘋科和满江红科等 10 个科, 占总数的 16.7%。泛热带分布的有松叶蕨科、里白科、蹄盖蕨科、金星蕨科、铁角蕨科、水龙骨科、禾叶蕨科等 26 个科, 占总数的 43.3%。旧大陆热带分布的有光叶藤蕨科、乌毛蕨科共 2 科, 占总数的 3.3%。热带亚洲和热带美洲分布的有瘤足蕨科(Plagiogyriaceae)、凤尾蕨科和舌蕨科(Elaphoglossaceae) 共 3 科, 占总数的 5.0%。热带亚洲至热带大洋洲分布的有 3 科, 即槲蕨科、七指蕨科、鹛蕨科, 占总数的 5.0%。热带亚洲至热带非洲分布的有 2 科, 即肿足蕨科(Hypodematiaceae)、藤蕨科(Lomariopsidaceae), 占总种数的 3.3%。热带亚洲分布的有莲座蕨科(Angiopteridaceae)、天星蕨科、稀子蕨科(Monachosoraceae)、柄盖蕨科(Peranemaceae)、骨碎补科、中国蕨科、双扇蕨科(Dipteridaceae) 共 7 科, 占总数的 11.7%。北温带分布的有木贼科、水韭科(Isoetaceae)、阴地蕨科、球子蕨科和岩蕨科共 5 科, 占总数的 8.3%。温带亚洲分布的仅有睫毛蕨科(Pleurosoriopsidaceae) 1 科, 是一单型科, 主要集中分布于亚洲温带地区。东亚分布(中国—喜马拉雅分布)的有雨蕨科, 也为单一型科, 仅有雨蕨(*Gymnogrammitis dareiformis*) 1

种,产华南、西南和喜马拉雅地区,向南一直到达中南半岛。因此,该区系以泛热带区系为主(表2),世界分布和热带亚洲分布的科所占的比例次之。该区系无中国特有科,但具有4个亚洲特有的科,即雨蕨科、稀子蕨科、柄盖蕨科和骨碎补科,因此该区系是亚洲蕨类植物区系的主体之一。

3.2 属的统计分析

3.2.1 属的组成分析 在这193属中,含30种以上的有耳蕨属(*Polystichum*) (104种)、鳞毛蕨属(*Dryopteris*) (99种)、铁角蕨属(*Asplenium*) (74种)、蹄盖蕨属(*Athyrium*) (63种)、卷柏属(*Selaginella*) (63种)、短肠蕨属(*Allantodia*) (58种)、凤尾蕨属(*Pteris*) (52种)、隐子蕨属(*Crypsinus*) (32种)、瓦韦属(*Lepisorus*) (32种)、毛蕨属(*Cyclosorus*) (31种)、三叉蕨属(*Tectaria*) (31种),这11个属共含638种,分别占总属、总种数的5.7%和41.7%。由此看出,该区系以鳞毛蕨属、耳蕨属、蹄盖蕨属、铁角蕨属和瓦韦属等为主(表1)。

3.2.2 属的分布区类型分析 云南地区蕨类植物属的地理成分可划分为13个地理成分(表2)。该区系中属世界分布的有30属,如石杉属、扁枝石松属(*Diphasiastrum*)、石松属(*Lycopodium*)、卷柏属、木贼属(*Hippochaete*)、水韭属(*Isoetes*)、瓶尔小草属(*Ophioglossum*)等。这些属广泛分布于世界各大洲,无特殊的分布中心,在确定植物区系时无实际意义,故不计算这30属。泛热带分布的属有44属,如马尾杉属、灯笼草属(*Palhinhaea*)、瘤足蕨属、里白属、海金沙属(*Lygodium*)、路蕨属、碗蕨属(*Dennstaedtia*)等,这些属在全世界热带范围内有一个或数个分布中心,其中一些属广布于热带、亚热带,某些种甚至到达温带地区,但其分布中心和原始类群在热带范围内。旧大陆热带分布的属共有14属,分别为芒蕨属(*Dicranopteris*)、假脉蕨属(*Crepidomanes*)、鳞盖蕨属、介蕨属(*Dryoathyrium*)、阴石蕨属(*Humata*)和线蕨属(*Colysis*)等。该分布区的属主要分布于亚洲、非洲和大洋洲的热带及亚热带地区,分布到温带的种类很少,富有热带性质,具有古老或保守成分(李恒,1993)。热带亚洲和热带美洲间断分布有2属,热带亚洲及美洲为其分布中心,亚热带及温暖地区也有分布,即双盖蕨属(*Diplazium*)和泽泻蕨属(*Hemionitis*)。热带亚洲和热带大洋洲

分布有6属:七指蕨属、菜蕨属(*Callipteris*)、针毛蕨属、拟水龙骨属(*Polypodiastrum*)、槲蕨属(*Drynaria*)、革舌蕨属,其分布范围主要是旧世界热带大陆,通常包括非洲大陆。热带亚洲至热带非洲分布有12属,分布范围一般在非洲至印度及马来西亚地区包括南太平洋群岛,也包含亚洲的亚热带地区,分别为车前蕨属(*Antrophyum*)、角蕨属、肿足蕨属(*Hy-podematium*)、茯蕨属(*Leptogramma*)、轴脉蕨属(*Ctenitopsis*)、抱树莲属(*Drymoglossum*)等。热带亚洲分布共有35属,该分布区类型的分布中心主要在印度至马来西亚地区,这一地区从第三纪到现在气候稳定且湿热,该地区生境复杂多样,南北古陆植物区系相互渗透与交汇于此,因此这一地区蕨类植物种类很丰富,如藤石松属、莲座蕨属、原始莲座蕨属(*Archangiopteris*)、天星蕨属(*Chritensenia*)、革叶紫萁属(*Plenasium*)、金毛狗属、拟鳞毛蕨属等。北温带分布有9属,这些属的分布中心在温带,但由于受到云南山地的温凉气候影响,蕨类分布沿着山脉自北向南扩散到热带亚热带山地,分别为问荆属(*Equisetum*)、阴地蕨属(*Scepteridium*)、紫萁属(*Osmunda*)、珠蕨属(*Cryptogramma*)、羽节蕨属(*Gymnocarpium*)、卵果蕨属(*Phegopteris*)等。东亚和北美间断分布2属,绒紫萁属和蛾眉蕨属(*Lunathyrium*)分布中心主要在东亚和北美地区。旧大陆温带分布有1属即金毛裸蕨属(*Gymnopteris*),主产于欧洲和亚洲中高纬度的温带和寒温带。温带亚洲分布的有2属,主要分布于亚洲亚热带高山和温带地区,其为薄鳞蕨属(*Leptolepidium*)和假冷蕨属(*Pseudocystopteris*)。东亚广布有10属,广泛分布于中国热带亚热带地区,南达中南半岛,东至日本、朝鲜,少数种类可达俄罗斯远东地区,西达印度东北部,分别为稀子蕨属(*Monachosorum*)、亮毛蕨属(*Acystopteris*)、假蹄盖蕨属(*Athyriopsis*)、钩毛蕨属(*Cyclogramma*)、紫柄蕨属(*Pseudophegopteris*)、伏石蕨属(*Lemmaphyllum*)等。中国—喜马拉雅分布有15属,分布中心为喜马拉雅地区和中国西南山地,南达中南半岛北部,分别为龛齿蕨属(*Metapolypodium*)、红腺蕨属(*Diacalpe*)、方杆蕨属(*Glaphylopteridopsis*)、苍山蕨属(*Ceterachopsis*)、柄盖蕨属(*Peranema*)、水鳖蕨属(*Sinephropteris*)等。中国—日本分

表 2 云南蕨类植物科属种的分布区类型
Table 2 Pteridophytes areal-types of families, genera and species in Yunnan

分布区类型 Area-type	科数 No. of family	%	属数 No. of genera	%	种数 No. of species	%
1. 世界分布 Cosmopolitan	10	16.7	30	—	8	—
2. 泛热带分布 Pantropical	26	43.3	44	27.0	13	0.9
3. 旧大陆热带分布 Old world tropics	2	3.3	13	8.0	2	0.1
4. 热带亚洲和热带美洲分布 Tropical Asia & Tropical America	3	5.0	2	1.2	11	0.7
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 Tropical Asia & Tropical Australasia	3	5.0	6	3.7	35	2.3
6. 热带亚洲至热带非洲分布 Tropical Asia & Tropical Africa	2	3.3	12	7.4	7	0.5
7. 热带亚洲分布 Tropical Asia	7	11.7	35	21.5	736	48.4
8. 北温带分布 North temperate	5	8.3	9	5.5	34	2.2
9. 东亚和北美间断分布 East Asia & North America	0	0	2	1.2	2	0.1
10. 旧大陆温带分布 Old world temperate	0	0	1	0.6	3	0.2
11. 温带亚洲分布 Temperate Asia	1	1.7	2	1.2	1	0.1
12. 东亚分布 East Asia	1	1.7	31	19.0	158	10.4
12-1. 东亚广布 (H-S-J)	0	0	10	6.1	28	1.8
12-2. 中国—喜马拉雅分布 (S-H)	0	0	15	9.2	74	4.8
12-3. 中国—日本分布 Sino-Japanese	0	0	6	3.7	58	3.8
13. 中国特有分布 Endemic to China	0	0	6	3.7	518	34.1
合计 Total	60	100	193	100	1530	100

注: 计算百分比时, 不包括世界分布类型。

Note: Cosmopolitan is not taken into account in computing the percentages in the table.

布有 6 属, 以中国热带亚热带地区为分布中心, 西达日本和朝鲜, 分别为毛枝蕨属 (*Leptorumohra*)、丝带蕨属 (*Drymotaenium*)、鳞果星蕨属 (*Lepidomicrosorium*)、石蕨属 (*Saxiglossum*)、睫毛蕨属 (*Pleurosoriopsis*)、岩穴蕨属 (*Ptilopteris*)。中国特有属有 6 个, 仅分布于中国地区, 分别为玉龙蕨属 (*Sorolepidium*)、中国蕨属 (*Sinopteris*)、黔蕨属 (*Phanerophlebiposis*)、边果蕨属 (*Craspedosrus*)、扇蕨属 (*Neocheiropteris*) 和宽带蕨属 (*Platygyria*)。

在云南蕨类植物区系属的地理成分中, 除世界分布的 30 属外, 热带和亚热带地区分布的属共有 112 属, 占总数的 68.7%; 温带分布的有 45 属, 占总数的 27.6%; 中国特有 6 属, 占总数的 3.7% (表 1)。由此可见, 云南蕨类植物属的地理区系成分是以热带成分为主的植物区系, 特别是热带和亚热带山地常见的假瘤蕨属、水龙骨属、节肢蕨属、稀子蕨属、方杆蕨属、鱼鳞蕨属、红腺蕨属、柄盖蕨属、小膜盖蕨属和雨蕨属等的存在, 标志着该区系是典型的亚热带区系, 而毛枝蕨属、绒紫萁属、蛾眉蕨属和石盖蕨属等的出现显示了该区系具有一些亚热带向温带过渡的性质 (董晓东 2008)。在热带和亚热带地区分布的 112 属中, 泛热带分布 44 属占总属数的

27.0%, 热带亚洲分布的共 35 属占总属数的 21.5%, 其余成分较少。热带亚洲分布的 35 个属、东亚分布的 31 个属加中国特有分布的 6 个属, 总共 72 个属均为亚洲蕨类植物区系特有的属 (陆树刚, 2004), 占总数 193 属的 37.3%, 占除了世界分布的属以外的 163 属的 44.8%。因此, 云南蕨类植物区系是组成亚洲蕨类植物区系的一个重要部分, 是东亚蕨类植物区系的主体部分, 这与科的区系分析结果相吻合。

3.3 种的统计分析

该区共有 1 530 种, 占中国蕨类植物 (2 600 种) 总种数的 58.8% (表 1)。其中世界分布 (0.4%)、泛热带分布 (0.9%)、旧大陆热带分布 (0.1%)、热带亚洲和热带美洲分布 (0.72%)、热带亚洲至热带非洲分布 (0.5%)、东亚和北美间断分布 (0.1%)、旧大陆温带分布 (0.2%)、温带亚洲分布 (0.1%), 这 8 种成分所占比例很少; 同时热带亚洲至热带大洋洲分布 (2.3%)、北温带分布 (2.2%)、东亚广布 (1.8%)、中国—喜马拉雅分布 (4.8%)、中国—日本分布 (3.8%) 5 种成分所占比例较少; 而热带亚洲分布 (48.4%)、东亚分布 (10.4%)、中国特有分布 (34.1%) 3 种成分较丰富 (表 2)。

3.3.1 世界分布(0.5%) 该区世界分布种主要为扁枝石松(*Diphasiastrum complanatum*)、瓶尔小草(*Ophioglossum valgatum*)、扇羽小阴地蕨(*Botrychium lunaria*)、铁线蕨(*Adiantum capillus-veneris*)、铁角蕨(*Asplenium trichomanes*)等共8种,占总种数的0.5%。

3.3.2 热带分布(52.9%) 泛热带分布的种有松叶蕨(*Psilotum nudum*)、垂穗石松(*Palhinhaea cernua*)、垂穗石松(原变型)(f. *cernua*)、小叶瓶耳小草(*Ophioglossum nudicaule*)等13种,占总种数的0.85%。多为云南的干热河谷常见的种类。旧大陆热带分布的种有马尾杉(*Phlegmariurus phlegmariurus*)、三裂小阴地蕨(*Botrychium simplsx*)共2种,占总种数的0.1%。

热带亚洲和热带美洲分布的种有小叶海金沙(*Lygodium scandens*)、鳞始蕨(*Lindsaea odorata*)、蜈蚣草(*Pteris vittata*)、半月形铁线蕨(*Adiantum philippense*)、毛叶铁线蕨(*A. pubescens*)等11种,占总种数的7.2%。

热带亚洲至热带大洋洲分布的种有龙骨马尾杉(*Phlegmariurus carinatus*)、疏纤毛卷柏(*Selaginella ciliaris*)、带状瓶尔小草(*Ophioderma pendulum*)、海金沙(*Lygodium japonicum*)、细口团扇蕨(*Microtrichomanes nitidulum*)、乌蕨(*Stenoloma chusanum*)等35种,占总种数的2.3%。这一区系类型的蕨类植物代表了云南地区与热带大洋洲的自然区系联系及相应的古老性质。热带亚洲至热带非洲分布的种有团扇蕨(*Gonocorums minutus*)、栗蕨(*Histiopteris encisa*)、翅柄铁线蕨(*Adiantum soboliferum*)、鳞片沼泽蕨(*Thelypteris squamigera*)、肿足蕨(*Hypodematium crenatum*)、变异铁角蕨(*Asplenium varians*)、肉刺蕨(*Nothoperanema squamisetum*)共7种,占总种数的0.5%。该类型的出现与印度陆块的北移并在亚洲南部碰撞的地史事件有密切关系。

热带亚洲分布区的种,如锡金石杉(*Huperzia herterana*)、薄叶卷柏(*Selaginella delicatula*)、粗壮阴地蕨(*Botrychium robustum*)、云南莲座蕨(*Angiopteris yunnanensis*)、密脉莲座蕨(*A. confertinervia*)、心叶瓶耳小草(*Ophioglossum reticulatum*)、滇西瘤足蕨(*Plagiogyria communis*)等共736种,占总种数的48.1%。这些蕨类植物几乎包括了所有的生态类型,这显示出云南与热带亚洲的紧密联系。

3.3.3 温带分布(13.0%) 北温带分布的种有伏

贴石杉(*Huperzia appressa*)、凉山石杉(*H. liangshanica*)、问荆(*Equisetum arvense*)、狭叶瓶尔小草(*Ophioglossum thermale*)、节节草(*Hippochaete ramosissima*)等共有34种,占总种数的2.2%。东亚和北美间断分布的有分株紫萁(原变种)(*Osmundastrum cinnamomeum* var. *cinnamomeum*)、小杉兰(*Huperzia selago*)2种。旧大陆温带分布的有欧洲金毛裸蕨(*Paragymnopteris marantae*)、毛叶角蕨(*Cornopteris likiangensis*)、疏羽铁角蕨(*Asplenium subtenuifolium*)共3种。温带亚洲分布的种有华北薄鳞蕨(*Leptolepidium kunhii*)1种。东亚分布包括东亚广布、中国—喜马拉雅分布、中国—日本分布三种类型。东亚广布成分的种有石松(*Lycopodium japonicum*)、兖州卷柏(*Selaginella involvens*)、紫萁(*Osmunda japonica*)、细叶路蕨(*Mecodium polyanthos*)、瓶蕨(*Trichomanes auriculatum*)、桫欏(*Alsophila spinulosa*)、黑叶角蕨(*Cornopteris opaca*)等共58种,占总种数的3.8%。中国—喜马拉雅分布在云南蕨类植物区系中有金丝条马尾杉(*Phlegmariurus fargesii*)、喜马拉雅石松(*Lycopodium pseudoclavatum*)、鞘舌卷柏(*Selaginella vaginata*)、披散问荆(*Equisetum diffusum*)、绒毛假阴地蕨(*Botrypus lanuginosus*)等共74种,占总种数的4.8%。该地理成分在云南最为常见,也是各植被带的重要组成部分。中国—日本分布在云南蕨类植物区系有笔直石松(*Lycopodium obscurum*)、膜叶卷柏(*Selaginella leptophylla*)、红毛紫萁(*Osmunda cinnamomea*)、镰叶瘤足蕨(*Plagiogyria distinctissima*)等共有58种,占总种数的3.8%。

3.3.4 中国特有分布(34.1%) 中国特有分布的种有苍山石杉(*Huperzia delavayi*)、苔藓林石杉(*H. musciola*)、红茎石杉(*H. rubicaulis*)、南川石杉(*H. nanchuanensis*)、藤石松(*Lycopodiastrum casuarinoides*)、云南马尾杉(*Phlegmariurus yunnanensis*)、细瘦卷柏(*Selaginella vardei*)等共519种占除世界分布种之外种的34.1%。在这些特有种中,有很多种是云南特有种,如昆明石杉(*Huperzia kunmingensis*)、红茎石杉、云南马尾杉、藤石松、大叶卷柏(*Selaginella bodinieri*)、大理瘤足蕨、景东瘤足蕨(*Plagiogyria vcoerulescens*)、丽江路蕨(*Mecodium likiangense*)、西畴粉背蕨(*Aleurito-pteris sichouensis*)、大理碎米蕨(*Cheilosoria hancockii*)、独龙江金粉蕨(*Onychium dulongjiangense*)等共有169种,占中国特有分布的32.6%。占云南全部种除世界分布种之外的

11.1%。

从表 2 可以看出,东亚分布的种和中国特有分布的种分别为 253 种和 143 种,两者总数达 396 种,占总数的 58.2%。由此可见该蕨类植物区系是中国和亚洲蕨类植物的核心组成部分,与科和属的地理成分分析相一致。

3.4 与其它地区植物区系比较

3.4.1 属的区系联系 从表 3 可以看出,属与台湾和西藏的区系联系都十分密切,相似性系数分别为 74.0% 和 72.1%。这说明云南地区蕨类植物区系与西藏、台湾等具有共同的区系起源。

表 3 云南蕨类植物区系与邻近其它地区之间的共有属种数及其相似性系数

Table 3 Similarity coefficients and number of communal genera and species between the pteridophytes of Yunnan and those of other regions in China

地区 Region	总属数 No. of total genera	总种数 No. of total species	与云南 共有属数 Communal genera with Yunnan	属的相似 性系数 Similarity coefficient of genera (%)	种的相似 性系数 Similarity coefficient of species (%)
云南 Yunnan	163	-	-	-	-
台湾 Taiwan	129	731	108	74.0	28.3
西藏 Tibet	95	488	93	72.1	30.3
重庆 Chongqing	-	604	407	-	38.3

注:表中属种数均不包含世界属种数。

Note: No. of genera and species in the table exclude the cosmopolitan.

3.4.2 种的区系联系 表 3 显示,种与重庆的区系联系其相似性系数达 38.3%,与台湾和西藏区系联系较密切,其相似性系数达 28.3% 和 30.3%。这说明云南地区蕨类植物区系与重庆、西藏、台湾等地区具有区系起源和共同的物种分化形成背景。

3.5 区系过渡性分析

从 3.2.2 属的分布区类型分析得出,属的热带区系成分与温带区系成分所占比例分别为 68.7% 和 27.6%。这说明研究区域的植物区系存在非常强烈的热带性质。同时,也存在一定的区系过渡性,也就是说云南地区蕨类植物的热带区系与温带区系之间存在相互交汇关系。从环境角度来看,云南地区地形复杂,海拔高差巨大,最高点为滇藏交界的德钦县怒山山脉梅里雪山的主峰卡格博峰,海拔 6 740 m;最低点在与越南交界的河口县境内南溪河与元江汇合处,海拔为 76.4 m,两地直线距离约 900 km,高低差在 6 000 m 以上。环境梯度,尤其是热量梯

度的垂直差异较为显著,造就了多种多样的植物群落类型,为多种多样的蕨类植物提供栖息场所。因此云南地区的区系过渡性与该地区的巨大海拔高差是一致的。从区系地理的角度来看,云南地区的过渡性可能与新第三纪,青藏高原和云南高原剧烈抬升,气候变得温凉有关(燕乃玲等,2006;徐成东,2007)。地层抬升之后,温性植物逐渐迁入,使得云南地区蕨类植物区系成分的热带性质被减弱,温带区系成分获得加强。因此云南地区蕨类植物在表现出强烈的热带性质的同时也存在向温带的过渡性。

3.6 区系分化分析

云南地区拥有蕨类植物 1 530 种,分属于 60 科 193 属。从科的水平上来看,区系分化强度为 3.2。进一步分析,发现水龙骨科、蹄盖蕨科、金星蕨科、鳞毛蕨科的区系分化能力最强,分别拥有 25 属、18 属、16 属、11 属。从属的分化强度来看,区系分化强度为 7.9。其中,区系分化能力最强的属主要为耳蕨属、鳞毛蕨属、铁角蕨属,分别拥有 104 种、99 种、74 种。因此,无论在科的层次上,还是在属的层次上,云南地区蕨类植物均表现出较强的区系分化特征。这一方面可能与云南地区的地质历史有关。在地质历史上,云南地区曾经出现过地壳隆起运动,随着地层的抬升,气候区域趋于温凉,各种各样的植物为了适应这种温凉的气候出现显著的区系分化(冯建孟等,2010a)。另一方面,研究区域内较强的区系分化可能与云南地区的复杂地形有关,受到地层隆起和河流下切的影响。地区内海拔高差巨大,山系众多,河流峡谷阻隔,使个体之间不能交换遗传信息,经过长期的演化和进化,形成新物种,加强了区系分化(冯建孟等,2010b)。云南地区强烈的蕨类植物区系分化,也是造成该区域蕨类植物多样性丰富的重要原因之一。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究运用大量的植物名录信息,结合统计分析的方法,探讨云南蕨类植物科、属、种的组成,并举了各个优势的科、属、种。用属进行讨论分析较为准确,如进行区系分化分析、区系性质和区系起源的研究。一般来说,属一级相对比较稳定,特有科和特有种的多少与分类学处理是否妥当有很大关系,分类学处理不当,直接导致特有种数量的显著增加或

减少(冯建孟等 2010c)。在本次分析研究中,属的分布区类型是按照陆树刚教授所发表的“中国蕨类植物区系概论”来划分的。

在与台湾、西藏、重庆地区植物区系进行比较时,西藏与台湾属的相似性系数分别为 74.0% 和 72.1%,种的相似性系数分别为 28.3%、30.3% 和 38.3% (重庆)。这说明无论是属还是种云南与台湾、西藏、重庆均有很大的区系联系性,它们共同起源于古热带和亚热带区系,这与石松林等(2012)的研究结果相同。现在这些曾经有着共同区系起源和共同物种分化形成背景的地区出现成分差异的原因可能在于第三纪末第四纪初的喜马拉雅抬升和青藏高原隆起使云南(主要是滇西北地区)发生显著隆升,气候环境因此发生剧烈变化,温凉环境逐步入侵,从而带来了大量的温性植物群落,为一定量的温性蕨类植物提供生存生活的环境(冯建孟等, 2010c)。这样大规模的板块隆起和剧烈抬升发生的时期主要是新第三纪,到第四纪冰川时期大规模的造山运动已经完成,这样复杂多样的地理环境使得云南等地区没有直接受到北方大陆冰川的严重侵袭和破坏,在云南的滇西南德宏地区受到冰川影响并不明显,故为植物生存和演化提供了良好的“避难所”。这和云南现存如此多种多样的蕨类植物种类相吻合。正是由于地形和气候的改变导致蕨类植物大量分化使得云南蕨类植物科的区系分化强度高 3.2,属的区系分化强度高 7.9。另一方面,如此复杂的地形造成生物生殖隔离,在一定程度上导致研究区域内的蕨类植物类群难以正常交换遗传信息,使某些类群出现区系的特化和分化,进而形成多种多样的物种和生物类群,丰富了云南蕨类植物的物种多样性。云南的这些地质历史和复杂的地理环境不仅很好的诠释了云南蕨类植物的区系分化强度,而且是造成区系过渡性的主要原因。

云南蕨类植物拥有 6 个中国特有属,占除世界分布属之外总属数的 3.7%。519 个中国特有种占除世界分布种之外所有种的 34.1%,其中云南特有种有 169 种占中国特有种的 32.6% 和占云南总种数除世界分布种的 11.1%。早在 1882 年,恩格勒曾指出,特有现象有两类:古特有种以及新特有种。也有人指出特有现象包括两类分布地区很局限的植物:特有种(相对较年轻的种)和残遗种(相对古老的种),这些特有种已经达到或者可能达到了最大分布区。某一植物区特有植物的类型和所占百

分比与该植物区系历史之间的关系有待进一步探讨(应俊生等 2011)。这些特有现象类型的确定,特有属种的古与新之间的划分,在植物区系的分析中是一个极其重要的因素,古特有种的划分也是判断一个植物区系历史的重要指标。一个特有现象程度很高的地区,通常与该地区的孤立程度和孤立后时间的长短(如台湾地区丰富的特有种)及生境的多样化(如云南地区丰富的特有种)呈现正相关。

4.2 结论

(1) 云南地区的蕨类植物区系类群丰富,是中国蕨类植物区系的重要组成部分,也是世界蕨类植物区系的重要组成部分之一。该蕨类植物的区系由 60 科 193 属 1 530 种组成,科、属、种分别占中国 63 科 230 属 2 600 种的 95.2%、83.9%、58.8%。

(2) 云南地区的蕨类植物区系是鳞毛蕨科、水龙骨科、蹄盖蕨科和金星蕨科等的多样性分布中心。该蕨类植物区系的特别是鳞毛蕨科(11 属 259 种)、蹄盖蕨科(18 属 212 种)、水龙骨科(25 属 190 种)、金星蕨科(16 属 100 种)这三个科拥有 70 属,761 种,各科的种数均在 100 种以上,分别占该研究区域总属、种数的 36.3% 和 49.7%。

(3) 云南地区的蕨类植物区系虽无特有科,但具有 4 个亚洲特有的科(雨蕨科、稀子蕨科、柄盖蕨科和骨碎补科),该蕨类植物区系是亚洲蕨类植物区系的主体之一。

(4) 云南地区的蕨类植物区系是以鳞毛蕨属、耳蕨属、蹄盖蕨属、铁角蕨属、卷柏属、短肠蕨属、凤尾蕨属等为主的蕨类植物区系。该蕨类植物区系的耳蕨属(104 种)、鳞毛蕨属(99 种)、铁角蕨属(74 种)、蹄盖蕨属(63 种)、卷柏属(63 种)、短肠蕨属(58 种)、凤尾蕨属(52 种)这 7 个属均在 50 种以上,共含 513 种,占总种数的 33.5%。

(5) 云南地区的蕨类植物区系是以热带、亚热带性质为主的区系,是东亚蕨类植物区系的主体部分。该蕨类植物区系中的各种热带亚热带地理成分达 112 属,占世界分布以外的总数的 68.7%,东亚分布和中国特有分布分别为 31 属和 6 属。分别占总属数除世界分布属外的 19.0% 和 3.7%。

(6) 云南地区蕨类植物区系与西藏具有共同的区系起源和共同的物种分化形成的背景。同时云南地区的蕨类植物区系属、种的区系均与西藏、重庆、台湾的区系有一定的联系,属的相似性系数均在 70% 左右,种的相似性系数在 30% 左右,它们均起

源于热带亚热带地区。

(7) 属的热带区系成分与温带区系成分所占比例分别为 68.7% 和 27.6%。这说明, 研究区域的植物区系存在着非常强烈的热带性质。同时, 也存在一定的区系过渡性。与地层抬升之后, 山地温凉气候的形成和温性植物逐渐迁入有关。

(8) 科的区系分化强度为 3.2, 属的区系分化强度为 7.9。无论在科的层次上, 还是在属的层次上, 云南地区蕨类植物均表现出较强的区系分化特征。与云南地区的地质历史和复杂多样的地形有关。

参考文献:

- Dong XD (董晓东). 2008. Pteridophytes floristic geography in Yuengling mountains of Yunnan, China (云南云岭山脉地区蕨类植物区系地理研究) [D]. Kunming (昆明): Yunnan University: (云南大学)
- Feng JM (冯建孟), Xu CD (徐成东), Dong XD (董晓东). 2010a. The spatial patterns of species diversity of seed plants and its differentiation in Yunnan, China (云南地区种子植物多样性分布格局和多样性分化特点研究) [J]. *J Trop-Subtrop Bot (热带亚热带植物学报)* **18**(6): 593–598
- Feng JM (冯建孟), Dong XD (董晓东), Xu CD (徐成东). et al. 2010b. Flora composition and species diversity of gymnosperms in Northwest Yunnan (滇西北地区裸子植物物种多样性和区系组成) [J]. *J Shanxi Univ: Nat Sci Ed (山西大学学报·自然科学版)* **33**(2): 306–311
- Feng JM (冯建孟), Xu CD (徐成东), Zha FS (查凤书) et al. 2010c. Plant biodiversity and flora composition in north-western Yunnan (长江上游滇西北地区植物区系组成及物种多样性) [J]. *Res & Environ Yangtze Basin (长江流域资源与环境)* **19**(1): 65–72
- Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences (中国科学院昆明植物研究所). 2006. Flora of Yunnan. Vol. 20, Vol. 21 (云南植物志: 第 20、21 卷) [M]. Beijing (北京): Science Press (科学出版社)
- Li H (李恒). 1993. The Plants of Dulong River (独龙江地区植物) [M]. Kunming (昆明): Yunnan Science and Technology Press (云南科技出版社)
- Lu SG (陆树刚). 2004. The Pteridophyte Flora of Conspectus (中国蕨类植物区系概论) [A]. Advances in plant science (植物科学进展) [M]. Beijing (北京): Higher Education Press (高等教育出版社) 6: 29–42
- Lu SG (陆树刚). 2007. Ferns of Botany (蕨类植物学) [M]. Beijing (北京): Higher Education Press (高等教育出版社): 300–304
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG et al. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities [J]. *Nature* **403**(24): 853–858
- Shi SL (石松林), Peng PH (彭培好), Li JJ (李景吉) et al. 2012. Study on the pteridophyte flora of Qomolangma national nature reserve (珠穆朗玛峰自然保护区蕨类植物区系研究) [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin (西北植物学报)* **32**(7): 1459–1465
- The Chinese Academy of Sciences Institute of Tropical Plants in Yunnan (中国科学院云南热带植物研究所). 1984. List of Plants in Xishuangbanna (西双版纳植物名录) [M]. Kunming (昆明): Yunnan National Publishing House (云南民族出版社)
- Wu ZY (吴征镒). 1979. The regionalization of Chinese flora (论中国植物区系的分区问题) [J]. *Acta Bot Yunnan (云南植物研究)* **1**(1): 1–22
- Wu ZY (吴征镒), Qu ZX (曲仲湘), Jiang HQ (姜汉乔). 1987. Forest ecosystem research in Mt. Ailaoshan nature reserve of Yunnan (云南哀牢山森林生态系统研究) [M]. Kunming (昆明): Yunnan Science and Technology Press (云南科技出版社): 87–106
- Wu ZY (吴征镒). 1989. Flora of Tibet (西藏植物志) [M]. Beijing (北京): Science Press (科学出版社)
- Wu ZY (吴征镒). 1991. The areal types of Chinese genera of seed plants (中国种子植物属的分布区类型) [J]. *Acta Bot Yunnan Suppl. (云南植物研究 增刊)* **4**(1): 1–139
- Xu CD (徐成东), Lu SG (陆树刚). 2006. Pteridophytes floristic phytogeography in Mt. Ailaoshan nature reserve of Yunnan, China (云南哀牢山国家级自然保护区蕨类植物区系地理研究) [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin (西北植物学报)* **26**(11): 2351–2359
- Xu CD (徐成东). 2007. The Pteridophytes in Mt. Ailaoshan Nature Reserve (哀牢山蕨类植物) [M]. Chengdu (成都): Southwest Jiaotong University Press (西南交通大学出版社): 17–50
- Yan NL (燕乃玲), Zhao XH (赵秀华), Yu XG (虞孝感). 2006. Ecosystem delineation on priority ecosystem services and ecosystem management in the Yangtze River (长江源区生态功能区划与生态系统管理) [J]. *Resour & Environ Yangtze Basin (长江流域资源与环境)* **15**(5): 598–602
- Yang YB (杨远波), Guo CM (郭城孟), Liu HY (刘和义) et al. 1997–2002. Manual of Taiwan Vascular Plants (台湾维管束植物志) [M]. Taipei (台北): the Council of Agriculture (行政院农委会): 37–133
- Ying JS (应俊生), Chen ML (陈梦玲). 2011. Plant Geography of China (中国植物地理) [M]. Shanghai (上海): Shanghai Science and Technology Publishing House (上海科学技术出版社): 146–169, 463–508
- Yi SR (易思荣), Huang Y (黄娅), Xiao B (肖波) et al. 2006. Fern flora in Chongqing, China (重庆市蕨类植物区系调查和分析) [J]. *J Trop & Subtrop Bot (热带亚热带植物学报)* **14**(6): 504–509
- Zang DK (藏得奎). 1998. A preliminary study on the ferns flora in China (中国蕨类植物区系的初步研究) [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin (西北植物学报)* **18**(3): 459–465
- Zhang YL (张镡锂), Zhang XM (张雪梅). 1998. Coefficient of similarity—an important parameter in floristic geography (植物区系地理研究中的重要参数——相似性系数) [J]. *Arid Zone Res (干旱区研究)* **15**(1): 59–63