



•生物编目•

幕阜山脉石松类和蕨类植物多样性 及生物地理学特征

姬红利 詹选怀* 张 丽 彭焱松 周赛霞 胡 菀

(中国科学院庐山植物园江西省植物迁地保护与利用重点实验室, 江西九江 332900)

摘要: 通过资料收集及野外调查, 得出幕阜山脉地区共有石松类和蕨类植物26科72属261种, 具有一定的东西过渡性, 为鳞毛蕨-铁角蕨植物区系, 最大属为鳞毛蕨属(*Dryopteris*) (29种)。其中, 庐山的物种丰富度较高(224种), 以铁角蕨属(*Asplenium*)为主; 幕阜山的物种密度较大(2.09种/km²), 以卷柏属(*Selaginella*)为主; 九宫山以瓦韦属(*Lepisorus*)为主; 三者共通种有95种, 新特有现象较丰富。该区属种分化限制明显, 表现在单种科、属及寡种科、属占总科数的60%及总属数的80%。从区系成分看, 该区科、属以热带成分为主, 科和属的热带性成分与温带性成分比值(R/T值)分别为2.6和2.3。与同纬度带山地石松类和蕨类植物属的R/T值比较, 中亚热带与北亚热带交界带的蕨类植物属的R/T值在2.18–2.36之间; 种的R/T值为0.2, 为热带成分的5倍, 表现出明显的温带性质, 是罗霄山脉植物区系温带成分的重要组成部分。该区石松类和蕨类植物区系与华东、华南植物区系联系比较紧密, 表现出华东与华南两区系成分的交汇。

关键词: 幕阜山脉; 蕨类植物多样性; 亚热带山地; 生物地理; R/T值

Diversity and biogeographical characteristics of lycophytes and ferns in Mufu Mountains, China

Hongli Ji, Xuanhuai Zhan*, Li Zhang, Yansong Peng, Saixia Zhou, Wan Hu

Key Laboratory of Plant Ex-situ Conservation and Utilization, Jiangxi Province, Lushan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Jiujiang, Jiangxi 332900

Abstract: Field investigation and herbarium specimen information revealed that 261 species of lycophytes and ferns, belonging to 72 genera and 26 families were found in Mountain Mufu. It was characterized by *Dryopteris-Asplenium* flora with strong transiting distribution from east to west. The species richness was the highest (224 species) in Mount Lushan and the species density (2.09 species/km²) was the highest in Mount Mufu. Besides *Dryopteris* included 29 species, *Asplenium*, *Lepisorus* and *Selaginella* were more abundant in Mount Lushan, Mount Jiugong and Mount Mufu, respectively. It shared only 95 common species among these three mountains, and the phenomena of neo-endemic genera and species was obvious. There were high restrictions on differentiation of genera and species in this area, which showed that monotypic family/genus and depauperate family/genus account for more than 60% of the total families and 80% of the total genera. The ratios of tropical elements to temperate elements (R/T) were 2.6 and 2.3 at the family and the generic level with tropical elements. Compared with the mountains in the same latitude zone, the R/T value at generic level in the junction zone of mid-subtropics and north subtropics was between 2.18–2.36. The R/T value was 0.2 at specific level with obvious temperate elements, which was an important component of the temperate flora of Luoxiao Mountains. The flora of lycophytes and ferns in this area was closely related to the flora of East and South China, showing the intersection of the two floristic components.

Key words: Mufu Mountains; diversity of pteridophytes; subtropical mountain; biogeography; R/T value

收稿日期: 2019-05-27; 接受日期: 2019-09-10

基金项目: 中国科学院战略生物资源计划(KFJ-BRP-017-32)、国家科技基础性工作专项重点项目(2013FY111500-2-3)和中国科学院重点部署项目(KFJ-3W-N01-143)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zxh64@vip.sina.com

长江流域是我国生物多样性保护的热点地区,也是我国生态环境保护的重点地区(倪健等, 1998),具有高等植物14,000余种,约占全国总数的50%(金义兴等, 1996)。该区域中东部丘陵山地主要植被类型为亚热带常绿阔叶林和常绿落叶阔叶混交林。绵延于湘、赣、鄂三省边界,呈东北-西南走向的幕阜山脉(113°47'-116°08' E, 28°53'-29°41' N)处于中亚热带向北亚热带的过渡地带(郑景云等, 2010),位于长江、鄱阳湖、洞庭湖三大水系之间,属湿润的大陆性气候,是长江流域中下游一个重要的生物多样性丰富区,为东西植物沿着长江流域交错混杂的过渡桥梁。山地复杂多样的环境提供了丰富且相对稳定的生态位,成为极端地质气候时期的生物避难所和博物馆(沈泽昊等, 2017),是温带-亚热带植物区系的重要集散地和许多东亚植物的发源地。该山脉总长230 km,总面积4,800 km²,山脉平均海拔约1,000 m, 1,000 m以上的山峰有幕阜山(1,595.6 m)、九宫山(1,543 m)以及东端余脉庐山(1,473.4 m)等,与九岭山脉、武功山脉、万洋山脉、诸广山脉共同组成亚热带东段植物南北向迁徙扩散的重要通道——罗霄山脉(图1)。因此调查研究该区域植物资源与区系地理不论是对沿长江流域东西方向的植物区系变化还是沿罗霄山脉南北方向的植物区系变化都具有重要的意义。

已有研究对该区域平江县幕阜山^①以及罗霄山脉(赵万义, 2017)的种子植物进行了较全面的资源调查与区系地理分析,但缺少该区石松类和蕨类植物资源数据。石松类和蕨类植物是森林草本层的重要组成部分,石松类还是最早出现的维管植物,处于系统演化的过渡阶段,是植物进化过程中的重要环节。因而调查研究该区石松类和蕨类资源,可进一步完善构建该区植物数据库,是对全面探讨该区植物区系地理特征的一个必要补充,可为中国石松类和蕨类植物山脉区系的起源演化及精细划分(孙航等, 2017)提供数据资料,也为长江流域的生态资源可持续利用及科学评价提供理论依据。

本研究开展幕阜山脉石松类与蕨类植物资源的调查,致力于探讨以下三个问题:(1)通过编撰该区石松类与蕨类植物名录,分析其物种多样性,明确其生态地理性质;(2)通过比较幕阜山、九宫山和

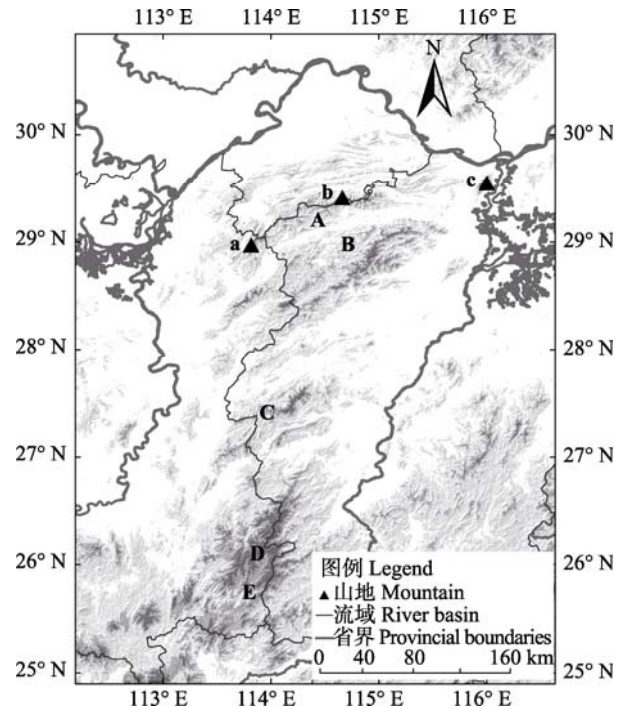


图1 研究区域地理位置。a: 湖南幕阜山; b: 湖北九宫山; c: 江西庐山; A: 幕阜山脉; B: 九岭山脉; C: 武功山脉; D: 万洋山脉; E: 诸广山脉。

Fig. 1 Location of Mufu Mountains. a, Mount Mufu in Hunan Province; b, Mount Jiugong in Hubei Province; c, Mount Lushan in Jiangxi Province; A, Mufu Mountains; B, Jiuling Mountains; C, Wugong Mountains; D, Wanyang Mountains; E, Zhuguang Mountains.

庐山的石松类与蕨类组成差异,探讨幕阜山脉蕨类植物区系的東西分化程度;(3)通过对该区中国特有的亚区划分及与邻近山脉的比较,探讨该区蕨类植物区系的地理亲缘问题。

1 材料和方法

1.1 数据来源

随着分子系统学研究的發展,蕨类植物的科属概念和分类系统近年发生了较大变化,本研究通过对幕阜山脉地区多次野外调查与标本采集鉴定,参照《江西植物志》(程景福和朱国芳, 1993),《湖南植物志》(李建宗等, 2004),《中国植物志》与中国数字植物标本馆数据(<http://www.cvh.ac.cn/news/19>),结合中国生物物种名录2018版(<http://www.sp2000.org.cn/2018>),以*Flora of China* (Wu et al, 2013; 严岳鸿等, 2016)使用的现代分子系统分类学为依据,按照最新的研究成果(40科178属2,147种)(周喜乐等, 2016)对本研究所采用的标本鉴定结果进行全面的

① 李家湘 (2005) 湖南平江幕阜山种子植物区系研究. 硕士学位论文, 中南林学院, 长沙.

种名校对, 编撰幕阜山脉石松类和蕨类植物名录。

1.2 统计分析

区系地理成分类型的划分参照吴征镒(1991)及陆树刚(2004), 将中国石松类和蕨类植物划分为13种分布区类型3种亚型。本研究科、属、种的地理成分均按照这个标准来划分。R/T值为热带性(T2-7)属(或种)总数与温带性(T8-13)属(或种)总数的比值(冯建孟和徐成东, 2008), 能较好地反映一个地区的区系性质, 尤其是反映区系发生与气候条件的关系。

特有性是一个地域性概念(Anderson, 1994), 既能体现某个区域的生境异质性, 又能反映有关类群的系统发育关系, 可指导区域性生物多样性保护优先区规划(Lamoreux et al, 2006)。本文结合中国生物物种名录(<http://www.sp2000.org.cn/2018>; 严岳鸿等, 2013)及*Flora of China*中的石松类和蕨类物种分布地, 利用WPGMA聚类, 分析了中国特有分布种的地理分布格局。

本文采用张懿铨(1998)的方法计算幕阜山脉与其他山脉间的区系相似性系数: $Sc = 2c/(A+B) \times 100\%$ 。式中Sc为相似性系数, c为两地除世界分布类型外共有属(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。

数据分析采用PASW Statistics 18.0及Microsoft Excel 2010, 作图采用Origin Pro 9.1和Arc GIS 10.2。

2 结果

2.1 幕阜山脉石松类和蕨类植物的区系组成

整个幕阜山脉地区石松类和蕨类植物共26科72属261种, 分别占中国石松类和蕨类植物的科(40)、属(178)、种数(2,147)的65.0%、40.4%、12.2%。其中庐山25科71属224种, 九宫山25科66属178种, 幕阜山21科53属135种(附录1), 物种密度分别为0.79、0.90和2.09种/km²。可知从科、属、种水平上看, 庐山的石松类和蕨类植物最为丰富, 而幕阜山石松类和蕨类物种丰富度虽然较低, 但物种密度较大。

2.1.1 科的组成分析

整个幕阜山脉的优势科(≥ 20种的科)为鳞毛蕨科、水龙骨科、凤尾蕨科、金星蕨科和蹄盖蕨科, 也是幕阜山、九宫山、庐山三座山地的优势科(附录1), 与中国蕨类植物优势科一致(周喜乐等, 2016), 以科所含的种数进行统计分析(表1), 5个优势科包含39属179种, 分别占幕阜山脉地区总属数和总种数的

的54.2%和68.6%, 其中鳞毛蕨科5属54种, 水龙骨科11属48种, 凤尾蕨科8属27种, 金星蕨科10属27种, 蹄盖蕨科5属23种; 含10-19种的科有铁角蕨科、卷柏科和碗蕨科, 包含7属41种, 占总种数的15.6%; 含5-9种的科有石松科和膜蕨科, 包含5属11种; 含2-4种的寡种科8个, 包含13属22种; 仅含1个种的单种科8个(附录2), 寡种科和单种科虽然所含种数少(11.5%), 但是科数较多, 占总科数的61.6%, 在一定程度上丰富了本区系蕨类植物的多样性。其中单种科中的轴果蕨科在幕阜山脉地区只分布在九宫山。

2.1.2 属的组成分析

根据属所包含种数的多少确定优势属(≥ 12种的属)。幕阜山脉最大属鳞毛蕨属(*Dryopteris*)含29种, 在庐山、幕阜山、九宫山均为最多; 庐山以铁角蕨属(*Asplenium*)较多, 九宫山以瓦韦属(*Lepisorus*)较多, 而幕阜山以卷柏属(*Selaginella*)较多(附录1)。以上4属亦为幕阜山脉地区的优势属, 共含71种, 占该区总种数的比例为27.2%。其中含20种以上的仅有鳞毛蕨属1个; 含10-19种的属有6个, 共73种, 占该区总种数的28.0%; 含5-9种的属有8个, 共49种, 占该区总种数的18.8%; 含2-4种的寡种属(31个)和仅含1个种的单种属(26个)共110种, 占总属数和总种数的79.2%和42.1%(表1), 在该区占绝对优势。该区三座山地单种属存在差异, 水蕨属(*Ceratopteris*)、星毛蕨属(*Ampelopteris*)和舌蕨属(*Elaphoglossum*)仅分布在庐山, 轴果蕨属(*Rhachidosorus*)仅分布在九宫山, 幕阜山则没有特有单种属。显示了幕阜山脉在长江南岸蕨类区系扩散过程中形成的局部小区域地带性特征。

2.1.3 种的组成分析

幕阜山脉三座山地共通种仅有95种, 占该区总种数的36.4%, 隶属于18科49属。本区单种科物种有杯盖阴石蕨(*Humata griffithiana*)、轴果蕨(*Rhachidosorus mesosorus*)、东方荚果蕨(*Pentarhizidium orientale*)、东亚羽节蕨(*Gymnocarpium oyamense*)、乌蕨(*Odontosoria chinensis*)、蘋(*Marsilea quadrifolia*)、海金沙(*Lygodium japonicum*)和紫萁(*Osmunda japonica*) 8种。该区国家重点保护植物种有粗梗水蕨(*Ceratopteris pteridoides*, 极危CR)、长柄石杉(*Huperzia javanica*, 濒危EN)、黑边铁角蕨(*Asplenium speluncae*, EN)、黄山鳞毛蕨(*Dryopteris*

表1 幕阜山脉石松类与蕨类植物区系科和属的分级统计

Table 1 Statistics on families and genera of lycophytes and ferns in Mufu Mountains

等级 Grade	科数 No. of family (%)	所含属数 No. of genera in the family (%)	所含种数 No. of species in the family (%)	等级 Grade	属数 No. of genus (%)	所含种数 No. of species in the genus (%)
大科(≥20种) Large family (≥20 species)	5 (19.2)	39 (54.2)	179 (68.6)	大属(≥20种) Large genus (≥20 species)	1 (1.4)	29 (11.1)
较大科(10–19种) Secondary family (10–19 species)	3 (11.5)	7 (9.7)	41 (15.7)	较大属(10–19种) Secondary genus (10–19 species)	6 (8.3)	73 (28.0)
中等科(5–9种) Medium family (5–9 species)	2 (7.7)	5 (6.9)	11 (4.2)	中等属(5–9种) Medium genus (5–9 species)	8 (11.1)	49 (18.8)
寡种科(2–4种) Depauperate family (2–4 species)	8 (30.8)	13 (18.1)	22 (8.4)	寡种属(2–4种) Depauperate genus (2–4 species)	31 (43.1)	84 (32.2)
单种科(1种) Monotypic family (1 species)	8 (30.8)	8 (11.1)	8 (3.1)	单种属(1种) Monotypic genus (1 species)	26 (36.1)	26 (9.9)
合计 Total	26 (100)	72 (100)	261 (100)	合计 Total	72 (100)	261 (100)

表2 幕阜山脉石松类与蕨类植物分布区类型统计

Table 2 Areal types at families, genera and species of lycophytes and ferns in Mufu Mountains

分布区类型 Areal type	科 Family		属 Genus		种 Species	
	数量 Number	%	数量 Number	%	数量 Number	%
1. 世界分布 Cosmopolitan	8	–	19	–	6	–
热带分布 Tropical Distribution						
2. 泛热带分布 Pantropic	9	50.0	19	35.8	4	1.6
3. 旧大陆热带分布 Old World Tropics	1	5.6	6	11.3	3	1.2
4. 热带亚洲和热带美洲分布 Trop. Asia & Trop. Amer. Disjuncted	1	5.6	1	1.9	2	0.8
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 Trop. Asia to Trop. Australasia	0	0	2	3.8	13	5.1
6. 热带亚洲至热带非洲分布 Trop. Asia to Trop. Africa	1	5.6	6	11.3	2	0.8
7. 热带亚洲分布 Trop. Asia	1	5.6	3	5.7	18	7.1
热带成分小计 Subtotal	13	72.2	37	69.8	42	16.5
温带分布 Temperate Distribution						
8. 北温带分布 North temperate	4	22.2	5	9.4	4	1.6
9. 东亚和北美洲间断分布 E. Asia & N. Amer. Disjuncted	0	0	0	0	0	0
10. 旧大陆温带分布 Old World Temperate	0	0	0	0	1	0.4
11. 温带亚洲分布 Temperate Asia	0	0	2	3.8	32	12.5
12. 东亚分布 East Asia	(1)	(5.6)	(9)	(17.0)	(136)	(53.3)
12-1. 东亚广布(H-S-J)	1	5.6	6	11.3	46	18.0
12-2. 中国–喜马拉雅(S-H)	0	0	1	1.9	18	7.1
12-3. 中国–日本(S-J)	0	0	2	3.8	72	28.2
13. 中国特有分布 Endemic to China	0	0	0	0	40	15.7
温带成分小计 Subtotal	5	27.8	16	30.2	213	83.5
总计 Total	26	100	72	100	261	100

计算比例时不包括世界分布类型 Excluding Cosmopolitan in percentage

whangshangensis, EN)、皱边石杉(*Huperzia crispate*, 易危VU)、四川石杉(*H. sutchueniana*, VU)、垫状卷柏(*Selaginella pulvinata*, VU)、卷柏(*S. tamariscina*,

VU)、单盖铁线蕨(*Adiantum monochlamys*, 近危NT)、狭叶瓶尔小草(*Ophioglossum thermale*, NT)、瓶尔小草(*O. vulgatum*, NT)和石蕨(*Pyrrhosia angustissima*,

NT)共12种(严岳鸿等, 2013; 董仕勇等, 2017)。

2.2 幕阜山脉石松类和蕨类植物的地理成分

2.2.1 地理成分特点

幕阜山脉石松类和蕨类植物热带分布科(13科)和温带分布科(5科)分别占除世界分布区类型外总科数的72.2%和27.8% (表2), 热带成分以泛热带分布型为主, 温带成分以北温带分布型为主; 热带分布属(37属)和温带分布属(16属)分别占除世界分布区类型外总属数的69.8%和30.2%, 热带成分仍以泛热带分布型为主, 温带成分以东亚广布型为主; 热带分布种(42种)和温带分布种(213种)分别占除世界分布区类型外总种数的16.5%和83.5%, 热带成分以

热带亚洲分布型为主, 温带成分以东亚分布型中的中国-日本分布型为主。科和属的R/T值分别为2.6和2.3, 热带成分明显, 而种的R/T值为0.2, 温带成分占显著优势, 为热带成分的5倍, 表现出较强的温带性质, 属典型的东亚蕨类植物区(陆树刚, 2004)。

2.2.2 中国特有种地理分布格局

分析发现幕阜山脉地区的中国特有种多为一些处在演化顶端地位的新特有种(如凤尾蕨类、铁角蕨类、蹄盖蕨类和水龙骨科)(张宪春等, 2013)。通过WPGMA聚类分析将幕阜山脉石松类和蕨类植物中国特有种(40种)划分为9个亚型(图2), 其区系分布类型多样。具体为: (I)华东南部-华中南部-华南

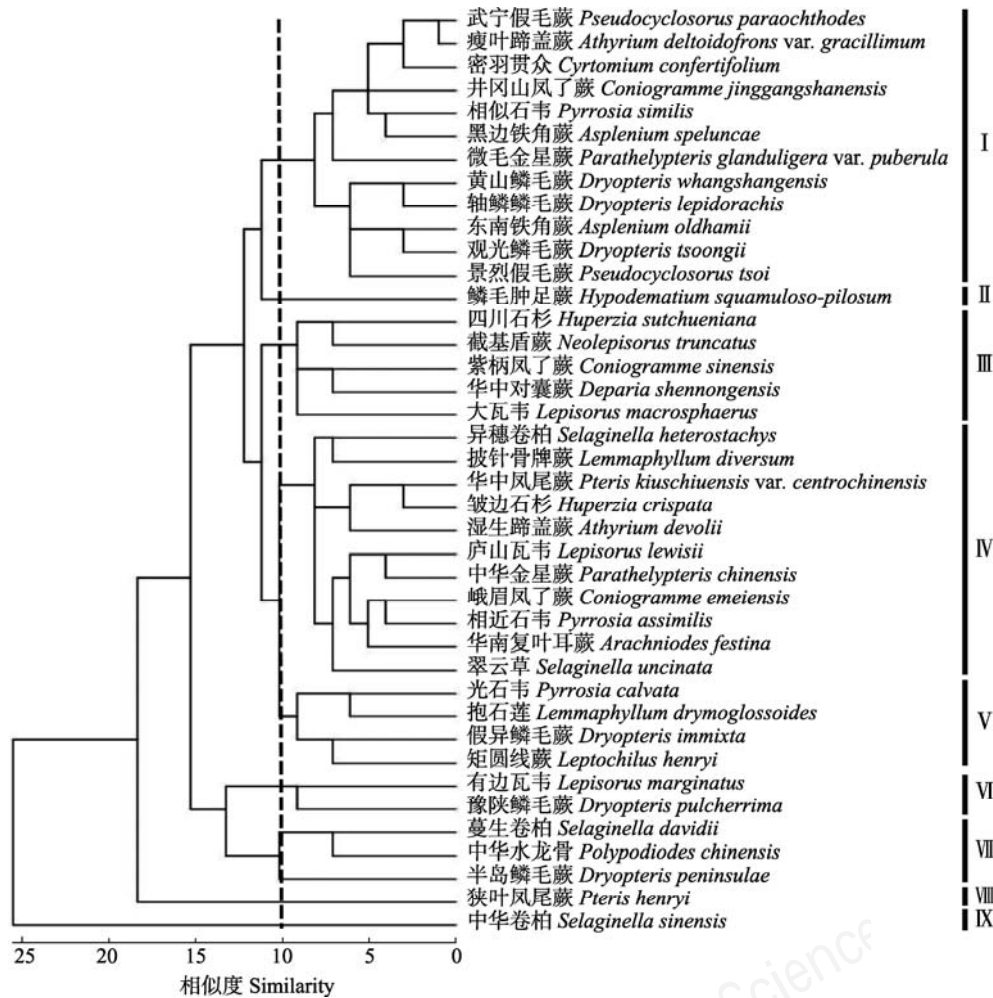


图2 幕阜山脉石松类与蕨类植物中国特有种分布聚类图。I-IX表示不同地理分布格局。(I)华东南部-华中南部-华南分布; (II)华东-华北分布; (III)西南-华中分布; (IV)秦淮以南广布; (V)沿长江流域分布; (VI)西南-西北-华北分布; (VII)南北广布; (VIII)西南-西北分布; (IX)长江以北分布。

Fig. 2 Cluster analysis of Chinese endemic lycopodytes and ferns in Mufu Mountains. I-IX indicate different geographical distribution patterns. (I) Southern East China-Southern Central China-Southern China distribution; (II) Eastern China-Northern China distribution; (III) Southwestern China-Central China distribution; (IV) South of Qinling Mountains-Huaihe River distribution; (V) Along the Yangtze River Basin distribution; (VI) Southwestern China-Northwestern China-Northern China distribution; (VII) South-North distribution; (VIII) Southwestern China-Northwestern China distribution; (IX) North of the Yangtze River distribution.

分布(12种)、(II)华东-华北分布(1种)、(III)西南-华中分布(5种)、(IV)秦淮以南广布(11种)、(V)沿长江流域分布(4种)、(VI)西南-西北-华北分布(2种)、(VII)南北广布(3种)、(VIII)西南-西北分布(1种)、(IX)长江以北分布(1种)。根据分布亚型类别看,幕阜山脉石松类和蕨类植物区系与华东、华南植物区系渗透性较大。

3 讨论

3.1 幕阜山脉与其他区系优势属比较

优势属、种及特有属、种对于了解特定地区的区系组成、性质特点和发生演化等方面的研究具有十分重要的意义,是物种多样性研究的重要内容之一(马克平等, 1995),并且由于生态地理环境因素的不同,各种属的分布中心也具有明显的差异。如喜马拉雅山脉为金粉蕨属(*Onychium*)和蹄盖蕨属(*Athyrium*)的分布中心(秦仁昌和武素功, 1980),我国西南地区至华东日本为耳蕨(*Polystichum*)-鳞毛蕨植物区系(孔宪需, 1984),湖北恩施地区为黔蕨属(*Phanerophlebiopsis*)和稀子蕨属(*Monachosorum*)的重要分化区(黄升等, 2019),华南地区为铁角蕨-凤尾蕨植物区系(严岳鸿和周喜乐, 2018),北部湾地区为原始观音座莲属(*Archangiopteris*)的起源中心和多样化中心(陆树刚, 2004),海南岛石灰岩地区为中国蕨-卷柏属植物区系成分(陈功锡等, 2014),非洲马达加斯加地区则主产扇掌蕨属(*Actiniopteris*) (Schneider et al, 2013)。本调查结果显示幕阜山脉以鳞毛蕨属、铁角蕨属、卷柏属和瓦韦属为优势属,表现出华东与华南两区系成分的交汇,为鳞毛蕨-铁角蕨植物区系,罗霄山脉中段武功山地区以鳞毛蕨属、铁角蕨属、耳蕨属和卷柏属为优势属(孙林等, 2016),南段诸广山地区以鳞毛蕨属、凤尾蕨属(*Pteris*)、复叶耳蕨属(*Arachniodes*)和卷柏属为优势属(姬红利等, 2018),显然罗霄山脉是鳞毛蕨属、卷柏属的一个主要分布区。

3.2 幕阜山脉与邻近山脉相似性比较

庐山、九宫山、幕阜山的石松类和蕨类植物种的相似性较科、属低(表3),与种子植物基本一致:即罗霄山脉内各山地间物种相似性系数约为0.6(赵万义, 2017)。三座山地共通种比例占全山脉总种数的36.4%,相似性系数为0.52。优势属除鳞毛蕨属外,庐山有非共通种51种,以铁角蕨属为主,九宫山有

表3 幕阜山脉与毗邻山脉石松类和蕨类植物相似性比较
Table 3 Comparison of floristic similarity coefficients of lycophytes and ferns between Mufu Mountains and adjacent mountains

	庐山 Mount Lushan	九宫山 Mount Jiugong	幕阜山 Mount Mufu
科相似性 Similarity at family level			
庐山 Mount Lushan	1.00		
九宫山 Mount Jiugong	0.94	1.00	
幕阜山 Mount Mufu	0.87	0.80	1.00
属相似性 Similarity at genus level			
庐山 Mount Lushan	1.00		
九宫山 Mount Jiugong	0.96	1.00	
幕阜山 Mount Mufu	0.80	0.82	1.00
种相似性 Similarity at species level			
庐山 Mount Lushan	1.00		
九宫山 Mount Jiugong	0.72	1.00	
幕阜山 Mount Mufu	0.68	0.65	1.00
特有种相似性 Similarity at endemism level			
庐山 Mount Lushan	1.00		
九宫山 Mount Jiugong	0.53	1.00	
幕阜山 Mount Mufu	0.59	0.39	1.00

种相似性 Similarity at species level

	幕阜山脉 Mufu Mountains
东侧: 怀玉山脉 East: Huaiyu Mountains	0.42
西侧: 武陵山脉 West: Wuling Mountains	0.26
南侧: 武功山脉 South: Wugong Mountains	0.60
北侧: 大别山脉 North: Dabie Mountains	0.40

上栏表示幕阜山脉三座代表山地之间的科、属、种相似性系数,下栏表示幕阜山脉与其东、西、南、北侧山脉的种相似性系数。

The upper column show the similarity coefficients at family, generic and specific level among the three representative mountains of Mufu Mountains, and the lower column show the similarity coefficients at specific level between Mufu Mountains and its adjacent mountains (east, west, south and north).

非共通种25种,以瓦韦属为主,幕阜山有非共通种4种,以卷柏属为主。可见,无论从相似性系数或者是优势属差异看,幕阜山脉三座山地石松类和蕨类植物具有一定的东西向差异性,再次证明该区域为东西植物沿着长江流域交错混杂的一个重要生态交错区(谢国文等, 1996)。

参照幕阜山脉东边怀玉山脉(徐声修等, 1996),西边武陵山脉(陈功锡等, 2003),南边武功山脉(孙林等, 2016),北边大别山脉(杨相甫等, 1999)的石松类和蕨类物种名录,比较幕阜山脉与它们之间的物种相似性(表3),得出:与怀玉山脉的相似性为0.42,与武陵山脉的相似性为0.26,与武功山脉的相似性

表4 幕阜山脉与毗邻山脉石松类和蕨类植物热带性与温带性属、种比值

Table 4 Ratios of tropical elements to temperate elements of genera and species of lycophytes and ferns in Mufu Mountains and adjacent mountains

山脉 Mountain	经纬度 Location	热带性属/温带性属 R/T value of genus	热带性种/温带性种 R/T value of species
大别山脉 Dabie Mountains	31.42°–32.50° N; 114.92°–115.92° E	1.70	0.12
幕阜山脉 Mufu Mountains	28.88°–29.68° N; 113.78°–116.13° E	2.31	0.20
武功山脉 Wugong Mountains	26.78°–28.20° N; 113.35°–114.62° E	2.61	0.29
诸广山脉 Zhuguang Mountains	25.70°–25.85° N; 112.50°–113.07° E	3.47	0.35
南岭山脉 Nanling Mountains	24.62°–24.95° N; 113.90°–113.98° E	3.86	0.81
峨眉山 Mount Emei	29.27°–29.73° N; 103.17°–103.62° E	2.34	–
武陵山 Mount Wuling	28.47°–30.08° N; 107.03°–111.58° E	2.19	–
幕阜山 Mount Mufu	28.88°–29.10° N; 113.78°–113.90° E	2.31	–
九宫山 Mount Jiugong	29.32°–29.45° N; 114.38°–114.72° E	2.19	–
庐山 Mount Lushan	29.43°–29.68° N; 115.87°–116.13° E	2.25	–
齐云山 Mount Qiyun	29.78°–29.83° N; 117.95°–118.12° E	2.36	–
黄山 Mount Huang	29.22°–30.37° N; 118.02°–118.98° E	2.18	–
三清山 Mount Sanqing	28.88°–28.92° N; 118.05°–118.07° E	2.33	–
天目山 Mount Tianmu	29.87°–30.92° N; 119.40°–119.45° E	2.20	–

上栏表示由北往南5座山脉的热带性属、种与温带性属、种比值, 下栏表示由西向东9座山地的热带性属与温带性属比值。

The upper column show ratios of tropical elements to temperate elements of genera and species in five mountains from north to south, and the lower column show ratios of tropical elements to temperate elements of genera in nine mountains from west to east.

为0.60, 与大别山脉的相似性为0.40。由此可见, 该区南北方向石松类和蕨类植物区系联系强度大于东西向的区系, 这与沈泽昊等(2017)分析的中国高山植物区系地理格局结果一致。结合幕阜山脉中国特有分布种的地理分布格局(即亚区分布类型), 表明幕阜山脉的石松类和蕨类植物起源或者扩散与华南山地和华东山地联系比较密切。

3.3 幕阜山脉与邻近山脉R/T值比较

R/T值是研究植物区系热带性与温带性重心偏离的重要比值, 其动态变化可以反映出植物区系发生随气候、地理条件的历史变迁。将幕阜山脉与其北部相近的大别山脉及之南的诸广山脉和南岭山脉的石松类和蕨类植物属、种R/T值作比较(表4), 从北往南, 热带成分明显增加而温带成分明显减少, 与同处于罗霄山脉南段的诸广山脉相比, 热带成分仅为其0.6倍, 而温带成分是其1.2倍, 表明幕阜山脉是罗霄山脉植物区系温带成分的重要组成部分; 结合该区种子植物属的R/T值(赵万义, 2017), 体现出罗霄山脉地区南、北段植物区系发生的明显过渡性。

对石松类和蕨类地理分布区类型的划分, 在科和种的水平可能存在主观差异, 但在属的水平比较公认的是陆树刚(2004)的蕨类地理区系划分。比较横断山脉以东与幕阜山脉同纬度带(约29°–30° N)的

山地石松类和蕨类植物属水平的R/T值(胡嘉琪和梁师文等, 1996; 徐声修等, 1996; 郭传友和刘登义, 2002; 陈功锡等, 2003; 谷海燕和李策宏, 2008; 丁炳扬等, 2010)可知, 中亚热带与北亚热带交界带的该值在2.18–2.36之间(表4), 这为计算该纬度带石松类和蕨类植物R/T值提供了参考, 为区分不同山地植物区系的地带性与过渡性提供了依据。

参考文献

- Anderson S (1994) Area and endemism. *Quarterly Review of Biology*, 69, 451–471.
- Chen GX, Ao CQ, Liao WB, Zhu JY, Xiang CM (2003) Comparative analysis on the pteridophyte floral relationships between Wulingshan region and its neighboring floras. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 23, 120–126. (in Chinese with English abstract) [陈功锡, 敖成奇, 廖文波, 朱杰英, 向春明 (2003) 武陵山地区蕨类植物区系与邻近区系关系的比较研究. *西北植物学报*, 23, 120–126.]
- Chen GX, Yang B, Deng T, Xia ST (2014) Progress in understanding several issues of the floristic geography of the pteridophytes in China. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 34, 2130–2136. (in Chinese with English abstract) [陈功锡, 杨斌, 邓涛, 夏石头 (2014) 中国蕨类植物区系地理若干问题研究进展. *西北植物学报*, 34, 2130–2136.]
- Cheng JF, Zhu GF (1993) *Flora of Jiangxi* (Vol. 1). Jiangxi Science and Technology Press, Nanchang. (in Chinese) [程景福, 朱国芳 (1993) *江西植物志* (第一卷). 江西科学技

术出版社, 南昌.]

- Ching RC, Wu SG (1980) The floristic characteristics of the Xizang (Tibet) pteridophyte flora in relation to the upheaval of the Himalayas. *Acta Botanica Yunnanica*, 2, 382–389. (in Chinese with English abstract) [秦仁昌, 武素功 (1980) 西藏蕨类植物区系的特点及其与喜马拉雅隆升的关系. *云南植物研究*, 2, 382–389.]
- Ding BY, Li GY, Fu CX, Yang SZ (2010) *Flora of Tianmushan*, Vol. 1. Zhejiang University Press, Hangzhou. (in Chinese) [丁炳扬, 李根有, 傅承新, 杨淑贞 (2010) 天目山植物志: 第1卷. 浙江大学出版社, 杭州.]
- Dong SY, Zuo ZY, Yan YH, Xiang JY (2017) Red list assessment of lycophytes and ferns in China. *Biodiversity Science*, 25, 765–773. (in Chinese with English abstract) [董仕勇, 左政裕, 严岳涛, 向建英 (2017) 中国石松类和蕨类植物的红色名录评估. *生物多样性*, 25, 765–773.]
- Feng JM, Xu CD (2008) Floristic equilibrium point and its biogeographic significance. *Acta Botanica Yunnanica*, 30, 400–404. (in Chinese with English abstract) [冯建孟, 徐成东 (2008) 植物区系平衡点及其生物地理意义. *云南植物研究*, 30, 400–404.]
- Gu HY, Li CH (2008) Preliminary study on the pteridophytes flora of Emei Mountain. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 28, 2381–2387. (in Chinese with English abstract) [谷海燕, 李策宏 (2008) 峨眉山蕨类植物区系的初步研究. *西北植物学报*, 28, 2381–2387.]
- Guo CY, Liu DY (2002) Studies on the pteridophyte flora of Qiyun Mountainous region in Anhui Province. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 22, 1115–1121. (in Chinese with English abstract) [郭传友, 刘登义 (2002) 安徽齐云山区蕨类植物区系研究. *西北植物学报*, 22, 1115–1121.]
- Hu JQ, Liang SW (1996) *Plants of Huangshan Mountain*. Fudan University Press, Shanghai. (in Chinese) [胡嘉琪, 梁师文 (1996) 黄山植物. 复旦大学出版社, 上海.]
- Huang S, Huang W, Qin L, Huang BH, Liu Y (2019) Studies on characteristics of pteridophyte flora of the Enshi region in Hubei Province, China. *Plant Science Journal*, 37, 28–36. (in Chinese with English abstract) [黄升, 黄伟, 覃磊, 黄毕华, 刘毅 (2019) 湖北恩施地区蕨类植物区系研究. *植物科学学报*, 37, 28–36.]
- Ji HL, Zhan XH, Peng YS, Gui ZM, Zhang L (2018) Resources and flora of pteridophytes in Mt. Zhuguangshan of Jiangxi, China. *Chinese Wild Plant Resources*, 37(5), 49–55. (in Chinese with English abstract) [姬红利, 詹选怀, 彭焱松, 桂忠明, 张丽 (2018) 诸广山地区石松类和蕨类植物资源及区系研究. *中国野生植物资源*, 37(5), 49–55.]
- Jin YX, Wu JQ, Jiang MX, Shen ZH (1996) A preliminary study on types and exploitation of the terrestrial plant resources in the Yangtze valley. *Resources and Environment in the Yangtze Valley*, 5, 16–21. (in Chinese with English abstract) [金义兴, 吴金清, 江明喜, 沈泽昊 (1996) 长江流域陆生植物资源的类型与开发利用. *长江流域资源与环境*, 5, 16–21.]
- Kung HS (1984) The phytogeographical features of pteridophytes of Sichuan, China with some remarks on the “*Polysticho-Dryopteris* flora”. *Acta Botanica Yunnanica*, 6, 27–38. (in Chinese with English abstract) [孔宪需 (1984) 四川蕨类植物地理特点兼论“耳蕨-鳞毛蕨类植物区系”. *云南植物研究*, 6, 27–38.]
- Lamoreux JF, Morrison JC, Ricketts TH, Olson DM, Dinerstein E, McKnight MW, Shugart HH (2006) Global tests of biodiversity concordance and the importance of endemism. *Nature*, 440, 212–214.
- Li JZ, Chen SM, Lin QZ (2004) *Flora of Hunan* (Vol. 1). Hunan Science & Technology Press, Changsha. (in Chinese) [李建宗, 陈三茂, 林亲众 (2004) 湖南植物志(第一卷). 湖南科学技术出版社, 长沙.]
- Lu SG (2004) *Advances in Plant Science* (Vol. 6). Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [陆树刚 (2004) 植物科学进展(第六卷). 高等教育出版社, 北京.]
- Ma KP, Qian YQ, Wang C (1995) Present state and future of biodiversity studies. *Science and Technology Review*, 13(1), 27–30. (in Chinese) [马克平, 钱迎倩, 王晨 (1995) 生物多样性研究的现状与发展趋势. *科技导报*, 13(1), 27–30.]
- Ni J, Chen ZX, Dong M, Chen XD, Zhang XS (1998) An ecogeographical regionalization for biodiversity in China. *Acta Botanica Sinica*, 40, 83–95. (in Chinese with English abstract) [倪健, 陈仲新, 董鸣, 陈旭东, 张新时 (1998) 中国生物多样性的生态地理区划. *植物学报*, 40, 83–95.]
- Schneider H, He LJ, Hennequin S, Zhang XC (2013) Towards a natural classification of Pteridaceae: Inferring the relationships of enigmatic pteridoid fern species occurring in the Sino-Himalaya and Afro-Madagascar. *Phytotaxa*, 77, 49–60.
- Shen ZH, Yang MZ, Feng JM, Li XH, Peng PH, Zheng Z (2017) Geographic patterns of alpine flora in China in relation to environmental and spatial factors. *Biodiversity Science*, 25, 182–194. (in Chinese with English abstract) [沈泽昊, 杨明正, 冯建孟, 李新辉, 彭培好, 郑智 (2017) 中国高山植物区系地理格局与环境 and 空间因素的关系. *生物多样性*, 25, 182–194.]
- Sun H, Deng T, Chen YS, Zhou Z (2017) Current research and development trends in floristic geography. *Biodiversity Science*, 25, 111–122. (in Chinese with English abstract) [孙航, 邓涛, 陈永生, 周卓 (2017) 植物区系地理研究现状及发展趋势. *生物多样性*, 25, 111–122.]
- Sun L, Xiao JW, Chen GX (2016) Study on the pteridophyte flora in Wugong Mountain. *Central South Forest Inventory and Planning*, 35(2), 63–67. (in Chinese with English abstract) [孙林, 肖佳伟, 陈功锡 (2016) 武功山地区蕨类植物区系研究. *中南林业调查规划*, 35(2), 63–67.]
- Wu ZY (1991) The areal-types of Chinese genera of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica*, 13(S4), 1–139. (in Chinese with English abstract) [吴征镒 (1991) 中国种子植物属的分布区类型. *云南植物研究*, 13(S4), 1–139.]
- Wu ZY, Raven P, Hong DY (2013) *Flora of China*, Vol. 2–3 (Pteridophytes). Science Press, Beijing & Missouri Bot-

- anical Garden Press, St. Louis.
- Xie GW, Wang HY, Lai XR, Tan CM (1996) Diversity and conservation of Chinese endemic genera of the flora in Jiuling-Mufu Mountain. *Resources and Environment in the Yangtze Valley*, 5, 128–132. (in Chinese with English abstract) [谢国文, 汪红燕, 赖小荣, 谭策铭 (1996) 九岭幕阜山植物特有属的生物多样性保护研究. *长江流域资源与环境*, 5, 128–132.]
- Xu SX, Guo HH, Cheng JF (1996) On pteridophyta in Sangqingshan Mountain of northeast Jiangxi. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 20, 61–66. (in Chinese with English abstract) [徐声修, 郭惠红, 程景福 (1996) 赣东北三清山风景名胜区的蕨类植物. *南昌大学学报(理科版)*, 20, 61–66.]
- Yan YH, Zhang XC, Ma KP (2013) Pteridophytes in China: Diversity and Distribution. Science Press, Beijing. (in Chinese) [严岳鸿, 张宪春, 马克平 (2013) 中国蕨类植物多样性与地理分布. 科学出版社, 北京.]
- Yan YH, Zhang XC, Zhou XL, Sun JQ (2016) Species Catalogue of China, Vol. 1: Pteridophytes. Science Press, Beijing. (in Chinese) [严岳鸿, 张宪春, 周喜乐, 孙久琼 (2016) 中国生物物种名录(第一卷): 蕨类植物. 科学出版社, 北京.]
- Yan YH, Zhou XL (2018) Pteridophytes of Hainan. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [严岳鸿, 周喜乐(2018) 海南蕨类植物. 中国林业出版社, 北京.]
- Yang XF, Li JY, Wang TX, Li FQ, Han SL (1999) Study on the pteridophytic flora of Mountain Dabie, Henan. *Wuhan Botanical Research*, 17, 153–157. (in Chinese with English abstract) [杨相甫, 李景原, 王太霞, 李发启, 韩书亮 (1999) 河南大别山蕨类植物区系的研究. *武汉植物学研究*, 17, 153–157.]
- Zhang XC, Wei R, Liu HM, He LJ, Wang L, Zhang GM (2013) Phylogeny and classification of the extant lycophytes and ferns from China. *Chinese Bulletin of Botany*, 48, 119–120. (in Chinese with English abstract) [张宪春, 卫然, 刘红梅, 何丽娟, 王丽, 张钢民 (2013) 中国现代石松类和蕨类的系统发育与分类系统. *植物学报*, 48, 119–120.]
- Zhang YL (1998) Coefficient of similarity—An important parameter in floristic geography. *Geographical Research*, 17, 94–99. (in Chinese with English abstract) [张懿铨 (1998) 植物区系地理研究中的重要参数——相似性系数. *地理研究*, 17, 94–99.]
- Zhao WY (2017) The Floristic Phytogeography of Spermato-phyte Flora in Luoxiao Range. PhD dissertation, Sun Yat-Sen University, Guangzhou. (in Chinese with English abstract) [赵万义 (2017) 罗霄山脉种子植物区系地理学研究. 博士学位论文, 中山大学, 广州.]
- Zheng JY, Yin YH, Li BY (2010) A new scheme for climate regionalization in China. *Acta Geographica Sinica*, 65, 3–12. (in Chinese with English abstract) [郑景云, 尹云鹤, 李炳元 (2010) 中国气候区划新方案. *地理学报*, 65, 3–12.]
- Zhou XL, Zhang XC, Sun JQ, Yan YH (2016) Diversity and distribution of lycophytes and ferns in China. *Biodiversity Science*, 24, 102–107. (in Chinese with English abstract) [周喜乐, 张宪春, 孙久琼, 严岳鸿 (2016) 中国石松类和蕨类植物的多样性与地理分布. *生物多样性*, 24, 102–107.]

(责任编辑: 严岳鸿 责任编辑: 时意专)

附录 Supplementary Material

附录1 幕阜山脉石松类和蕨类植物科、属、种组成

Appendix 1 Composition of families, genera and species of lycophytes and ferns in Mufu Mountains
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019177-1.pdf>

附录2 幕阜山脉石松类和蕨类植物名录

Appendix 2 The checklist of lycophytes and ferns of Mufu Mountains
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019177-2.pdf>