



•生物编目•

罗霄山脉种子植物区系及其南北分化特征

赵万义¹ 刘忠成^{1,2} 叶华谷¹ 王 蕾^{2*} 陈功锡³
刘克明⁴ 詹选怀⁵ 廖文波^{1*}

1 (中山大学生命科学学院有害生物控制与资源利用国家重点实验室/广东省热带亚热带植物资源重点实验室, 广州 510275)

2 (首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048)

3 (吉首大学生物资源与环境科学学院植物资源保护与利用湖南省高校重点实验室, 湖南吉首 416000)

4 (湖南师范大学生命科学学院, 长沙 410081)

5 (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: 本文基于野外调查和文献资料整理, 对罗霄山脉种子植物区系及其自北向南5条中型山脉之间的区系过渡性特征进行了系统分析。结果表明: (1)该区域内野生种子植物有179科1,107属4,314种; 区系表征科主要以亚热带山地为现代分布中心。科的区系组成为: 单型科25科, 寡种科61科, 单型属465属, 寡种属432属, 呈现出区系特征上的孑遗性, 也显示出本地区系成分与典型热带成分及典型温带成分间存在密切交流。(2)科的地理成分共分为10个类型, 以热带性成分占明显优势, 热带性科83科及温带性科40科分别占非世界性科总数的67.48%和32.52%; 属的地理成分包括15个分布区类型, 以温带成分占优势, 温带性属534属及热带性属484属分别占非世界性属总数的52.46%和47.54%。属分布区类型以泛热带分布、热带亚洲分布、北温带分布、东亚分布为主, 体现出本地区与古热带植物区系及温带第三纪植物区系的紧密联系。(3)罗霄山脉5条山脉间区系组成呈现出明显的南北分异特征, 自北向南热带属与温带属比值逐渐增大, 北段幕阜山脉温带性成分明显占优势, 与华中区系关联密切, 而南段万洋山脉、诸广山脉热带性属较占优势, 分布有丰富的华南区系成分。罗霄山脉地区是重要的区系交流通道, 历史时期的气候波动是本地区现代区系分布格局形成的主要原因。

关键词: 罗霄山脉; 种子植物区系; 分布区类型; 地理替代

Floristic characteristics and north-south differentiation of seed plants in the Luoxiao Mountains

Wanyi Zhao¹, Zhongcheng Liu^{1,2}, Huagu Ye¹, Lei Wang^{2*}, Gongxi Chen³, Keming Liu⁴, Xuanhuai Zhan⁵, Wenbo Liao^{1*}

1 State Key Laboratory of Biocontrol, Guangdong Provincial Key Laboratory of Plant Resources, School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275

2 College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048

3 Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Utilization, College of Biology and Environmental Sciences, Jishou University, Jishou, Hunan 416000

4 College of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081

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

Abstract: This paper studied the flora of seed plants in the Luoxiao Mountains and revealed the transitional characteristics of five moderate mountains flora from north to south. The results indicated that 4,314 wild seed plants belonging to 1,107 genera and 179 families are distributed in the Luoxiao Mountains. (1) The Luoxiao Mountains flora consists of 25 families and 465 genera which distribute only one species, 61 oligotypic families and 432 oligotypic genera, presenting the relict of flora and intimate exchange between local floristic components and typical tropical and temperate components. (2) The families geographical areal-types were classified into 10 types, included 83 tropical families and 40 temperate families, accounting

收稿日期: 2019-08-20; 接受日期: 2020-02-20

基金项目: 国家科技基础性工作专项(2013FY111500)和中山大学 2014–2019 年度广东省高等学校教学质量和教学改革工程项目

* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: lsslbw@mail.sysu.edu.cn; lwang@cnu.edu.cn

for 67.48% and 32.52%, respectively of the non-widespread families. The genus areal-types were classified into 15 types, including 484 tropical genera and 534 temperate genera accounting for 52.46% and 47.54%, respectively of the non-widespread genera. The distribution patterns of genera are abundant with pantropic areal-type, tropical areal-type, North temperate areal-type, and East Asia areal-type, which reflect that the flora of the Luoxiao Mountains, the paleo-tropical flora and temperate tertiary flora are strongly interrelated. (3) The floristic compositions amongst five mountains in the Luoxiao Mountains have marked spatial heterogeneity from north to south, which the R/T value, i.e ratio of tropical genera to temperate genera, increases gradually. The Mufu Mountains experienced stronger temperate elements, which are related to Central China flora, while the Wanyang Mountains and the Zhuguang Mountains contain stronger tropical elements. Climate fluctuations may be the main reason for the formation of the modern floristic distribution pattern in the region.

Key words: the Luoxiao Mountains; flora of seed plants; areal-types; geographical substitute

植物区系是指某一特定地区生长的全部植物种类的总和, 是植物科、属、种在历史演化和发展过程中形成的自然综合体(张宏达, 1994; 吴征镒等, 2006)。掌握一个地区植物区系的特点, 是进一步探讨该地区植物多样性、迁移扩散过程的基础(王荷生, 1997), 也可为植物资源的开发和利用提供理论依据(Vetaas & Grytnes, 2002)。植物的科、属分布区类型组成反映了不同地区间区系发生的亲缘性, 且属的分类特征相对稳定, 可以更好地反映物种分化与区系发生的过程, 因此属的分布区类型组成在区系分析中有着重要意义(吴征镒等, 2011; 应俊生和陈梦玲, 2011)。而优势科、属与表征性科、属则是反映一个地区的区系独特性质及发生过程的重要指标(施苏华, 1987; 陈涛和张宏达, 1994)。

罗霄山脉地区地处中国大陆东南部季风区, 跨越中亚热带及北亚热带, 是一个相对独立的自然地理单元, 同时也是重要的生态交错区, 植物种类丰富(廖文波等, 2014)。本地区的植物区系演化受到第三纪以来气候变迁的强烈影响, 在第四纪冰期-间冰期的交替过程中成为重要的物种迁徙通道和生物避难所, 使得本区域植被及区系组成均表现出明显的多样性、过渡性和差异性, 是华东-华南-华中植物区系的交汇中心(Wang et al, 2013)。早在20世纪30年代, 胡先骕、秦仁昌、熊耀国等植物学先驱就在罗霄山脉地区开展植物多样性调查, 之后学者们在井冈山(林英, 1990; Wang et al, 2013)、桃源洞(刘克旺和侯碧清, 1991)、幕阜山(李家湘等, 2006)、七溪岭(贺利中和刘仁林, 2010)、官山(刘信中和吴和平, 2005)等地陆续开展考察, 积累了丰富的本底资料, 初步揭示出各局部地区植物区系的古老性、过

渡性等特征。然而, 迄今为止尚无任何将罗霄山脉作为一个整体区系进行研究的文献报道, 尤其关于本地区植物区系的区系分化、南北差异、整体区划等重要问题有待深入探讨。

本文基于2013-2018年对罗霄山脉地区植物多样性的全面考察和文献整理, 从整体上对本区域的植物区系科、属组成, 地理成分性质, 以及南北山地间的区系替代现象等进行了系统的分析和探讨, 以期揭示该地区植物区系的形成过程, 为区域自然保护和植物资源合理和管理提供科学依据。

1 研究区域自然概况

罗霄山脉是一座南北走向, 纵跨湖北、湖南、江西三省的大型山脉, 地理位置为 $25^{\circ}36'-29^{\circ}45' N$, $112^{\circ}57'-116^{\circ}05' E$, 在行政区划上涵盖14市55县。区内包括5条东北-西南走向的中型山脉, 自北向南依次为幕阜山脉、九岭山脉、武功山脉、万洋山脉和诸广山脉。罗霄山脉最高峰为南风面(江西境内, 海拔2,120.46 m), 第二高峰为酃峰(湖南境内, 海拔2,115.20 m)。

罗霄山脉地处中国大陆东南部湿润季风气候区, 夏季高温多雨, 冬季温和少雨(郑景云等, 2010)。植被区划上属于东部中亚热带常绿阔叶林带; 南段的万洋山脉、诸广山脉为南岭山地栲类(*Castanopsis*)林、蕈树(*Altingia*)林区; 中段、北段的武功山脉、九岭山脉及幕阜山脉为湘赣丘陵山地青冈-栎(*Cyclobalanopsis-Quercus*)林、栲类林、马尾松(*Pinus massoniana*)林区(侯学煜, 2001; 陈灵芝等, 2014)。植被表现出明显的垂直地带性, 自低海拔向高海拔依次为常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、

针阔混交林、中山灌丛,武功山及齐云山的高海拔地区分布有草坡植被,为人类活动破坏后次生演替的结果。罗霄山脉地区人类活动历史悠久,低海拔地区的原生植被遭到严重破坏,海拔800 m以下广泛种植有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、毛竹(*Phyllostachys edulis*)、油茶(*Camellia oleifera*)等。中高海拔以及山势陡峭的地区尚保存有许多原生性森林群落。

2 数据获取和分析方法

(1)区系数据的获取和标准化。2013–2019年,在科技部基础科技专项的资助下,针对罗霄山脉的植物多样性开展了全面考察,共采集标本65,000余号,存放于中山大学植物标本室(Herbarium of Sun Yat-sen University, SYS)、华南植物园标本馆(Herbarium of South China Botanical Garden, IBSC)、吉首大学标本馆(Herbarium of Jishou University, JIU)、庐山植物园标本馆(Herbarium of Lushan Botanical Garden, LGB)、湖南师范大学标本馆(Herbarium of Hunan Normal University, HNNU),参考《江西植物志》(江西植物志编辑委员会, 2004; 2014)、《湖南植物志》(刘克明, 2000; 李丙贵和刘林翰, 2010)、《中国植物志》(中国植物志编辑委员会, 1959–2004)、《华东种子植物检索表》(李宏庆和田怀珍, 2010)等志书、资料进行标本鉴定,编制区系名录。此外,补充收集已出版的区系文献资料,所涉及的物种名称登录中国数字植物标本馆(CVH, <http://www.cvh.ac.cn/>)进行查询校对,没有凭证标本记录的种则暂不接受。全面汇总以上资料后编制罗霄山脉地区种子植物名录,并参照APG IV (2016)系统及李德铎等(2018)的科、属概念对名录进行校正(附录1)。

(2)数据分析方法。根据罗霄山脉种子植物的科、属、种组成确定优势科、属(李锡文, 1996)。优势科是描述一个地区区系特征的重要指标,所包含的属、种总数应占区系的50%以上(李锡文, 1996)。区系表征科的确定依据科内属数、种数占世界属、种数的比例,以及该科在区域植被组成中的重要性(陈涛和张宏达, 1994)。依据吴征镒等(2006)和李德铎等(2018)对种子植物科、属地理成分的划分方法,统计罗霄山脉区系科、属分布区类型组成。在APG IV (2016)系统科的概念下,有部分科的范畴和分布

区范围发生了变动,则按照吴征镒等(2006)分布区类型划分原则做出相应调整。将罗霄山脉自北向南分为幕阜山脉、九岭山脉、武功山脉、万洋山脉及诸广山脉5个并列区系,比对其共有种及差异种,探讨罗霄山脉境内南北山地之间的区系差异。

3 罗霄山脉地区植物区系的组成和分异

3.1 科、属区系组成

罗霄山脉地区共有种子植物179科1,107属4,314种(包括种下等级),分别占中国种子植物科、属、种总数的67.36%、35.44%和14.89%。其中,裸子植物有6科21属32种;被子植物有173科1,086属4,282种。

3.1.1 科的数量结构

罗霄山脉种子植物区系科的数量组成如表1和表2所示。含100种以上的科有禾本科(276种)、菊科(231种)、唇形科(206种)、蔷薇科(187种)、豆科(153种)、莎草科(151种)、兰科(137种)和樟科(111种),这几个科均为世界广布的大科,占罗霄山脉种子植物区系总科数的4.47%,总属数的35.50%,总种数的33.66%,是罗霄山脉植物区系的重要优势科(表1,表2)。

罗霄山脉含51–100种的科共10科,有120属727种,占罗霄山脉地区总科数的5.59%,总属数的10.84%,总种数的16.85%(表1)。分别是茜草科(100种)、毛茛科(89种)、报春花科(79种)、壳斗科(73种)、杜鹃花科(72种)、蓼科(68种)、荨麻科(67种)、葡萄科(62种)、伞形科(61种)和冬青科(56种)(表2)。这些科以泛热带分布科及北温带分布科为主,是亚热带森林中的重要成分。

含11–50种的中等科共计75科,占总科数的41.90%,包含1,833种,占总种数的42.49%,其中包括世界广布型29科,热带分布型31科,温带分布型15科。包括卫矛科(48种)、夹竹桃科(47种)、锦葵科(43种)、大戟科(43种)、五列木科(41种)、忍冬科(41种)、无患子科(38种)、山矾科(37种)、鼠李科(36种)、山茶科(36种)、苦苣苔科(34种)、猕猴桃科(31种)、安息香科(24种)、木兰科(22种)、虎耳草科(18种)、山茱萸科(18种)、金缕梅科(16种)、五味子科(15种)、桦木科(13种)、胡桃科(11种)等。这些科的植物在罗霄山脉为常见的群落建群种或伴生种。

含2–10种的寡种科共计61科277种,分别占总

表1 罗霄山脉种子植物科的分级统计
Table 1 Statistics on families of seed plants in the Luoxiao Mountains

科的数量分级 Grade of families	科数 No. of families	占总科数百分比 Percentage of total families (%)	所含种数 No. of species	占总种数百分比 Percentage of total species (%)
大科(>100种) Families more than 100 species	8	4.47	1,452	33.66
较大科(51–100种) Families with 51–100 species	10	5.59	727	16.85
中等科(11–50种) Families with 11–50 species	75	41.90	1,833	42.49
寡种科(2–10种) Families with 2–10 species	61	34.08	277	6.42
单型科(仅分布1种) Families with 1 species	25	13.96	25	0.58

表2 罗霄山脉种子植物区系优势科的属种组成及其占中国及世界属种的比例
Table 2 The genera and species composition of dominant families in the seed flora of the Luoxiao Mountains and its proportion of China and the world

科 Family	属数 No. of genera	占中国比例 % of China	占世界比例 % of the world	种数 No. of species	占中国比例 % of China	占世界比例 % of the world
禾本科 Poaceae	109	48.02	15.36	276	15.57	2.51
菊科 Asteraceae	76	21.53	9.83	231	4.47	0.77
唇形科 Lamiaceae	46	47.92	21.24	206	19.49	2.87
蔷薇科 Rosaceae	25	54.35	19.85	187	27.78	7.42
豆科 Fabaceae	53	31.74	9.15	153	7.06	0.78
莎草科 Cyperaceae	19	57.58	17.46	151	17.92	2.80
兰科 Orchidaceae	54	31.58	10.15	137	7.20	0.48
樟科 Lauraceae	11	44.00	24.94	111	24.44	4.44
茜草科 Rubiaceae	28	27.18	13.46	100	4.56	0.76
毛茛科 Ranunculaceae	12	34.29	9.64	89	21.82	3.52
报春花科 Primulaceae	9	52.94	12.12	79	15.52	3.05
壳斗科 Fagaceae	6	85.71	24.75	73	85.71	8.11
杜鹃花科 Ericaceae	9	39.13	8.60	72	7.26	1.76
蓼科 Polygonaceae	7	58.33	28.81	68	14.00	5.91
荨麻科 Urticaceae	15	57.69	15.58	67	27.27	2.55
葡萄科 Vitaceae	7	77.78	39.74	62	46.67	7.75
伞形科 Apiaceae	26	26.26	9.90	61	5.91	1.63
冬青科 Aquifoliaceae	1	100.00	27.45	56	100.00	13.33
卫矛科 Celastraceae	6	40.00	18.68	48	6.38	3.43
夹竹桃科 Apocynaceae	15	17.24	11.11	47	4.10	0.92
锦葵科 Malvaceae	14	27.45	17.48	43	5.76	1.00
大戟科 Euphorbiaceae	11	19.64	17.00	43	5.07	0.64

科数和总种数的34.08%和6.42%。如松科、桉叶树科、红豆杉科、柏科、杜英科、蕈树科、楝科、蜡梅科、山龙眼科、虎皮楠科、蓝果树科等, 这些寡种科虽包含的种数不多, 但在罗霄山脉地区常形成典型的特征性群落。

仅分布1种的科有25科, 如银杏科、无叶莲科、领春木科、扯根菜科、杨梅科、古柯科、西番莲科、癭椒树科、叠珠树科、粟米草科、杜仲科等。包括世界广布型3科、热带分布型16科、温带分布型6科,

而且有些科为世界性的单型科或寡种科, 如银杏科、杜仲科、樱井草科等, 它们在系统发生上呈现出孤立、孑遗的性质。

值得注意的是, 罗霄山脉地区植物种系贫乏, 少于10种的科多达84科, 但这些科中世界性的单型科仅2科; 全世界含15种以下的科17科; 而在全世界有100种以上的科达到了42科, 其中藤黄科、杜英科、酢浆草科、紫葳科、西番莲科、檀香科、秋海棠科、棕榈科等21科全世界分布500种以上。说明

有相当数量的世界性大科在罗霄山脉分布的种系并不丰富。

3.1.2 优势科及表征科

罗霄山脉地区的优势科有22科(表2), 包含559属2,360种, 分别占到本地区总属数和总种数的50.50%和54.71%。以世界广布的大科占据绝对优势, 如禾本科、菊科、唇形科、蔷薇科、莎草科、兰科等。泛热带分布科也占据着重要地位, 如樟科、荨麻科、葡萄科、卫矛科、大戟科等。

区系表征科比优势科更能体现一个植物区系的特征。罗霄山脉地区表征科25科(表3), 包含150属1,003种, 分别占该区总科、属、种数的13.97%、

13.55%和23.25%。表征科的地理分布类型主要为泛热带分布(5科)、东亚及热带南美间断分布(6科)和北温带分布(11科), 如樟科、壳斗科、金缕梅科、木通科、安息香科、胡颓子科、山茱萸科、报春花科、胡桃科、杜鹃花科等, 这些科以亚热带山地为分布中心, 均是罗霄山脉地区森林中常见成分。

此外, 本文未列为区系表征科的菖蒲科、领春木科、蕈树科、旌节花科、叠珠树科、三白草科、无叶莲科、癭椒树科、扯根菜科、丝缨花科等单型科及寡种科, 虽然种系不丰富, 在罗霄山脉地区现代区系组成中不占优势, 但它们的系统发育位置孤立, 对于揭示罗霄山脉区系形成历史仍具有重要指

表3 罗霄山脉种子植物区系表征科的属种组成及其占世界属种的比例

Table 3 The genera and species composition of characteristic families of seed plants in the Luoxiao Mountains and its proportion of the world

序号 科 No. Family	属数 No. of genus (%)	种数 No. of species (%)	科的分布区类型 Areal-types of families
1 蔷薇科 Rosaceae	25 (27.78)	187 (7.42)	世界广布 Cosmopolitan
2 樟科 Lauraceae	11 (24.44)	111 (4.44)	泛热带分布 Pantropic
3 壳斗科 Fagaceae	6 (85.71)	73 (8.11)	北温带分布 North Temperate
4 杜鹃花科 Ericaceae	9 (7.26)	72 (1.76)	北温带分布 North Temperate
5 葡萄科 Vitaceae	7 (46.67)	62 (7.75)	泛热带分布 Pantropic
6 冬青科 Aquifoliaceae	1 (100.00)	56 (13.33)	东亚(热带、亚热带)和热带南美间断分布 Tropics & Subtropics East Asia & Tropical America Disjuncted
7 五列木科 Pentaphylacaceae	6 (50.00)	41 (11.71)	泛热带分布 Pantropic
8 绣球花科 Hydrangeaceae	9 (52.94)	39 (20.53)	北温带分布 North Temperate
9 山矾科 Symplocaceae	1 (100.00)	37 (18.50)	泛热带分布 Pantropic
10 山茶科 Theaceae	4 (44.44)	36 (14.40)	东亚(热带、亚热带)和热带南美间断分布 Tropics & Subtropics East Asia & Tropical America Disjuncted
11 菝葜科 Smilacaceae	1 (100.00)	33 (15.71)	泛热带分布 Pantropic
12 猕猴桃科 Actinidiaceae	2 (66.67)	31 (8.68)	东亚(热带、亚热带)和热带南美间断分布 Tropics & Subtropics East Asia & Tropical America Disjuncted
13 小檗科 Berberidaceae	7 (46.67)	28 (4.31)	北温带分布 North Temperate
14 清风藤科 Sabiaceae	2 (66.67)	27 (27.00)	东亚(热带、亚热带)和热带南美间断分布 Tropics & Subtropics East Asia & Tropical America Disjuncted
15 安息香科 Styracaceae	8 (72.73)	24 (15.00)	东亚(热带、亚热带)和热带南美间断分布 Tropics & Subtropics East Asia & Tropical America Disjuncted
16 木兰科 Magnoliaceae	7 (41.18)	22 (7.33)	东亚及北美间断分布 East Asia & North America Disjuncted
17 木通科 Lardizabalaceae	6 (85.71)	20 (50.00)	东亚(热带、亚热带)和热带南美间断分布 Tropics & Subtropics East Asia & Tropical America Disjuncted
18 山茱萸科 Cornaceae	2 (100.00)	18 (21.18)	北温带分布 North Temperate
19 金缕梅科 Hamamelidaceae	9 (33.33)	16 (15.09)	北温带分布 North Temperate
20 五味子科 Schisandraceae	3 (100.00)	15 (21.43)	东亚及北美间断分布 East Asia & North America Disjuncted
21 榆科 Ulmaceae	3 (37.50)	13 (37.14)	北温带分布 North Temperate
22 桦木科 Betulaceae	4 (66.67)	13 (6.50)	北温带分布 North Temperate
23 胡桃科 Juglandaceae	6 (66.67)	11 (15.49)	北温带分布 North Temperate
24 松科 Pinaceae	6 (54.55)	10 (4.44)	北温带分布 North Temperate
25 红豆杉科 Taxaceae	5 (83.33)	8 (28.57)	北温带分布 North Temperate

示性意义。

3.1.3 属的数量结构

罗霄山脉植物区系共1,107属, 含30种以上的属仅有12属, 包含523种, 分别占总属数和总种数的1.08%和12.12%, 包括悬钩子属(*Rubus*)、薹草属(*Carex*)、冬青属(*Ilex*)、杜鹃花属(*Rhododendron*)、山矾属(*Symplocos*)、堇菜属(*Viola*)、槭属(*Acer*)等。含种数在16–30种间的属有31属, 共计645种, 分别占总属数和总种数的2.80%和14.95%, 包括卫矛属(*Euonymus*)、桤属(*Eurya*)、木姜子属(*Litsea*)、李属(*Prunus*)、柯属(*Lithocarpus*)、山胡椒属(*Lindera*)、润楠属(*Machilus*)、青冈属(*Cyclobalanopsis*)、泡花

树属(*Meliosma*)等重要的群落建群种, 以及铁线莲属(*Clematis*)、猕猴桃属(*Actinidia*)、蛇葡萄属(*Ampelopsis*)、胡颓子属(*Elaeagnus*)等林中常见的藤本植物。含6–15种的属有167属, 共1,450种, 分别占总属数和总种数的15.09%和33.61%, 其中包括锥属(*Castanopsis*)、樟属(*Cinnamomum*)、山茱萸属(*Cornus*)、安息香属(*Styrax*)、榆属(*Ulmus*)、桤叶树属(*Clethra*)等特征区系成分(表4)。

含2–5种的寡种属及仅包含1种的单型属相当丰富。仅2–5种的属有432属, 共有1,231种, 分别占本地区总属数和总种数的39.02%和28.54%, 包括隶属于厚皮香属(*Ternstroemia*)、木莲属(*Manglietia*)、

表4 罗霄山脉种子植物属的分级统计
Table 4 Statistics on genera of seed plants in the Luoxiao Mountains

属的分级 Grade of genera	裸子植物 Gymnosperm	被子植物 Angiosperm	属合计 Total	占总属数百分比 % of total genera	所含种数 No. of species	占总种数百分比 % of total species
大属(>30种) Genus more than 30 species	–	12	12	1.08	523	12.12
较大属(16–30种) Genus with 16–30 species	–	31	31	2.80	645	14.95
中等属(6–15种) Genus with 6–15 species	–	167	167	15.09	1,450	33.61
少种属(2–5种) Genus with 2–5 species	6	426	432	39.02	1,231	28.54
含1种的属(1种) Genus with 1 species	15	450	465	42.01	465	10.78

表5 罗霄山脉种子植物科、属的分布区类型
Table 5 The areal-types of families and genera of seed plants in the Luoxiao Mountains

分布区类型 Areal-type	科数 No. of family	占总科数百分比 % of total families	属数 No. of genus	占总属数百分比 % of total genera
1. 世界广布 Cosmopolitan	56	–	89	–
2. 泛热带分布 Pantropic	62	50.41	179	17.58
3. 东亚(热带、亚热带)和热带南美间断分布 Tropics & Subtropics East Asia ¹⁴ & Tropical America Disjuncted		11.38	23	2.26
4. 旧世界热带分布 Old World Tropics	3	2.44	64	6.29
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 Tropics Asia to Tropics Australasia Oceania	2	1.63	68	6.68
6. 热带亚洲至热带非洲分布 Tropics Asia to Tropics Africa	0	0.00	23	2.26
7. 热带亚洲分布 Tropics Asia	2	1.63	127	12.48
热带成分小计 Tropical elements (2–7)	83	67.48	484	47.54
8. 北温带分布 North Temperate	24	19.51	159	15.62
9. 东亚及北美间断分布 East Asia & North America Disjuncted	9	7.32	78	7.66
10. 旧世界温带分布 Old World Temperate	0	0.00	72	7.07
11. 温带亚洲分布 Temperate Asia	0	0.00	14	1.38
12. 地中海区、西亚至中亚分布 Mediterranean, West to Central Asia	0	0.00	8	0.79
13. 中亚分布 Central Asia	0	0.00	2	0.20
14. 东亚分布 East Asia	5	4.07	148	14.54
15. 中国特有分布 Endemic to China	2	1.63	53	5.21
温带成分小计 Temperate elements (8–15)	40	32.52	534	52.46

核果茶属(*Pyrenaria*)、吴茱萸属(*Tetradium*)、虎皮楠属(*Daphniphyllum*)、水青冈属(*Fagus*)等属的亚热带森林重要建群种。单型属465属, 占本区总属数的42.01%, 包括冷杉属(*Abies*)、银杉属(*Cathaya*)、福建柏属(*Fokienia*)、鹅掌楸属(*Liriodendron*)、穗花杉属(*Amentotaxus*)、伯乐树属(*Bretschneidera*)、青钱柳属(*Cyclocarya*)等, 许多为孑遗属或中国特有属(表4)。

3.2 科的地理成分特点

罗霄山脉种子植物179科可划分为10个分布区类型(表5), 其中世界广布科56科, 占科总数的31.28%, 但其广布性不好评价区系特征, 在此做扣除处理。其他的以泛热带分布科占优势, 共62科(占非世界科总数的50.41%); 第二为北温带分布科, 共24科(19.51%); 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布科也占据一定比例, 共14科(11.38%)。在罗霄山脉地区缺少热带亚洲至热带非洲分布科, 旧世界温带分布科, 温带亚洲分布科, 地中海区、西亚至中亚分布科, 及中亚分布科。

实际上, 罗霄山脉地区的世界广布科也有一定的区系意义, 不仅包括禾本科、菊科、唇形科、蔷薇科、豆科、莎草科等世界性大科; 还包含丰富的水生性科, 如眼子菜科、泽泻科、狸藻科、睡菜科、金鱼藻科、睡莲科、香蒲科, 以及生态适应性较强的科, 如苋科、马齿苋科、车前科等可见于土壤贫瘠的裸地。

热带分布科(分布区类型2-7)合计83科, 占非世界性科数的67.48%。其中占比最高的为泛热带分布科, 包含种数在10种以上的有27科, 如樟科111种、荨麻科67种、夹竹桃科47种、大戟科43种、五列木科41种、山矾科37种; 同时不难看出一些典型性的热带大科在罗霄山脉分布的种数极少, 如秋海棠科(罗霄山脉9种/世界1,400种, 下同)、谷精草科(7/1,400)、胡椒科(6/3,600)、罗汉松科(5/180)、桃金娘科(5/4,620)、番荔枝科(3/2,440)、山龙眼科(3/1,600)。东亚和热带南美间断分布14科, 以木本科为主, 如冬青科、五加科、山茶科、猕猴桃科、安息香科、青皮木科等。旧世界热带分布3科, 分别为海桐科、芭蕉科、水蕹科。热带亚洲至热带大洋洲分布2科, 为百部科、叠珠树科。热带亚洲分布2科, 即虎皮楠科和无叶莲科。

温带分布科(分布区类型8-15)仅40科, 占非世

界性科的32.52%。其中北温带分布科最为丰富, 包含20种以上的有壳斗科(73种)、杜鹃花科(72种)、忍冬科(41种)、绣球花科(39种)、小檗科(28种), 其他如山茱萸科、金缕梅科、榆科、桦木科、胡桃科、松科、红豆杉科均为群落建群种; 东亚北美间断分布9科, 为木兰科、五味子科、丝缨花科、鼠刺科、蜡梅科、菖蒲科、三白草科、蓝果树科、扯根菜科; 东亚分布5科, 为泡桐、青荚叶科、连香树科、旌节花科、领春木科。此外, 在APG IV系统概念下, 罗霄山脉分布中国特有科2个, 即杜仲科和银杏科。

3.3 属的地理成分特点

参照吴征镒等(2006)对属分布区类型的划分标准, 罗霄山脉种子植物1,107属可划分为15个分布区类型(表5), 体现出区系来源的多样化。包括世界广布属89属, 热带性属484属, 温带性属534属(其中中国特有属53属), 热带性属/温带性属(R/T)比值为0.90, 以温带性成分略占优势。

(1)世界广布属一般为扩散能力强的属或包含有多种的大属, 且以草本属占绝对优势。其中包含15种以上的属有10个, 为悬钩子属、藁草属、珍珠菜属(*Lysimachia*)、铁线莲属、堇菜属、卫矛属、蒿属(*Artemisia*)、黄芩属(*Scutellaria*)、鼠尾草属(*Salvia*)、莎草属(*Cyperus*), 这些属所包含的种为林下草本层的重要伴生种。罗霄山脉分布的世界广布属中有许多水生性的属, 如慈菇属(*Sagittaria*)、蓴菜属(*Brasenia*)、金鱼藻属(*Ceratophyllum*)、浮萍属(*Lemna*)、茨藻属(*Najas*)、狸藻属(*Utricularia*)等。此外广布属中有不少种群扩散能力强的属, 包括苋属(*Amaranthus*)、繁缕属(*Stellaria*)、牛膝菊属(*Galinsoga*)、鬼针草属(*Bidens*)、飞蓬属(*Erigeron*)、千里光属(*Senecio*)、苍耳属(*Xanthium*)、车前属(*Plantago*)、老鹳草属(*Geranium*)等。

(2)热带性属(分布区类型2-7)占本地非世界属总数的47.54%。其中泛热带分布属最丰富, 共179属(占非世界属总数的17.58%), 包括山矾属、安息香属、乌柏属(*Triadica*)等重要群落建群属, 灌木层常见拔萋属(*Smilax*)、南蛇藤属(*Celastrus*), 以及凤仙花属(*Impatiens*)、冷水花属(*Pilea*)等林下草本。东亚及热带南美间断分布属以木本植物为主, 如冬青属、桉属、木姜子属、泡花树属、樟属、桉叶树属、红豆属(*Ormosia*)、树参属(*Dendropanax*)、假卫矛属(*Microtropis*)等。旧世界热带分布属64属(6.29%), 包

括木本属野桐属(*Mallotus*)、海桐属(*Pittosporum*)、酸藤子属(*Embelia*)、八角枫属(*Alangium*)、槲寄生属(*Viscum*)、茜树属(*Aidia*)、蒲桃属(*Syzygium*)、梔子属(*Gardenia*)、翼核果属(*Ventilago*)等21属; 草本属丰富, 共43属, 如鸢尾兰属(*Oberonia*)、乌荛苳属(*Cayratia*)、楼梯草属(*Elatostema*)、带叶兰属(*Taeniophyllum*)、水蓼属(*Aponogeton*)、水蛇麻属(*Fatoua*)等。热带亚洲至热带大洋洲分布属68属, 其中杜英属(*Elaeocarpus*)、狗骨柴属(*Diplospora*)为罗霄山脉山地森林重要的组成成分, 鸡血藤属(*Callerya*)为森林层间常见的藤本。本分布类型属中, 在罗霄山脉仅见1种的达32属, 仅包含2种的达18属, 是热带性成分属向罗霄山脉范围扩张的有力证据。热带亚洲至热带非洲分布仅23属, 如杨桐属(*Adinandra*)、铁仔属(*Myrsine*)、玉叶金花属(*Mussaenda*)、毛茛泽泻属(*Ranalisma*)、老虎刺属(*Pterolobium*)等。热带亚洲分布属127属(12.48%), 包括山茶属(*Camellia*)、润楠属、青冈属、含笑属(*Michelia*)、核果茶属、蚊母树属(*Distylium*)、木莲属、蕈树属(*Altingia*)、梭罗树属(*Reevesia*)、茶梨属(*Anneslea*)、五列木属(*Pentaphylax*)、赤杨叶属(*Alniphyllum*)、山茱萸属(*Huodendron*)、竹柏属(*Nageia*)、福建柏属、秀柱花属(*Eustigma*)、无叶莲属(*Petrosavia*)、香果树属(*Emmenopterys*)等。

(3) 温带性属(分布区类型8–15)占本地非世界属总数的52.46%, 以北温带分布属及东亚分布属最为丰富。北温带分布属159属(15.62%), 包括丰富的杜鹃花属、荚蒾属(*Viburnum*)、槭属、李属、葡萄属(*Vitis*)、忍冬属(*Lonicera*)、椴属(*Tilia*)、越橘属(*Vaccinium*)、山茱萸属、栎属(*Quercus*)、花楸属(*Sorbus*)等群落优势属, 以及红豆杉属(*Taxus*)、冷杉属、水青冈属、栗属(*Castanea*)等孑遗成分。东亚及北美间断分布78属(7.66%), 如柯属、锥属、绣球属(*Hydrangea*)、漆树属(*Toxicodendron*)、八角属(*Illicium*)、紫茎属(*Stewartia*)、铁杉属(*Tsuga*)、枫香树属(*Liquidambar*)、蓝果树属(*Nyssa*)、鹅掌楸属、金缕梅属(*Hamamelis*)等。旧世界温带分布属有72属(7.07%)。以草本植物为主, 如沙参属(*Adenophora*)、橐吾属(*Ligularia*)、筋骨草属(*Ajuga*)、野芝麻属(*Lamium*)、萱草属(*Hemerocallis*)、石竹属(*Dianthus*)、阴行草属(*Siphonostegia*)、菱属(*Trapa*)、牛蒡属(*Arctium*)、绵枣儿属(*Barnardia*)、齿鳞草属

(*Lathraea*)等。温带亚洲分布属在本地区不占优势, 仅14属(1.38%), 如黄鹌菜属(*Youngia*)、诸葛菜属(*Orychophragmus*)、白鹃梅属(*Exochorda*)、虎杖属(*Reynoutria*)、杭子梢属(*Campylotropis*)等。地中海区、西亚至中亚分布属在罗霄山脉地区共8属(0.79%), 包括糙苏属(*Phlomis*)、黄连木属(*Pistacia*)、牻牛儿苗属(*Erodium*)、常春藤属(*Hedera*)。中亚分布属在罗霄山脉范围内仅2属, 即莴苣属(*Lactuca*)和败酱属(*Patrinia*)。东亚分布属本区共分布148属(14.54%), 如猕猴桃属、枳椇属(*Hovenia*)、三尖杉属(*Cephalotaxus*)、白辛树属(*Pterostyrax*)、油杉属(*Keteleeria*)、旌节花属(*Stachyurus*)、宽距兰属(*Yoania*)、刺楸属(*Kalopanax*)、猫儿屎属(*Decaisnea*)、穗花杉属、木瓜红属(*Rehderodendron*)、南天竹属(*Nandina*)、双花木属(*Disanthus*)等。

(4) 中国特有分布属53属(5.21%), 约占中国特有属的22.30%。罗霄山脉所分布的中国特有属种系均较贫乏, 明显体现出区系组成的孑遗性和古老性, 并以孑遗的木本属占优势, 有银杉属、杉属(*Cunninghamia*)、白豆杉属(*Pseudotaxus*)、拟单性木兰属(*Parakmeria*)、银钟花属(*Perkinsiodendron*)、瘦椒树属(*Tapiscia*)、半枫荷属(*Semiliquidambar*)、青檀属(*Pteroceltis*)、青钱柳属、陀螺果属(*Meliodendron*)、喜树属(*Camptotheca*)等。

3.3 罗霄山脉南北山地间的区系统一性及差异性

3.3.1 罗霄山脉南北5条中型山脉间的共有成分

罗霄山脉地区5条中型山脉间的共有种有1,570种, 隶属于152科685属。所有的共有科中包括广布科56科, 热带性分布科64科, 温带性分布科32科, 共有种所属的科以热带性科占据绝对优势, 表明罗霄山脉整体区系发生与热带区系的关联性。泛热带分布科及以亚洲热带为分布中心的科向罗霄山脉地区扩散现象明显, 尤其是热带性科的广布种, 分布区北界在罗霄山脉地区的较丰富。据前文分析, 最能体现罗霄山脉植物区系特点的科为泛热带分布科及北温带分布科, 罗霄山脉内5条中型山脉间的这两种分布区类型的共有科分别为47科和21科, 但包含种数较丰富的科均为以热带–亚热带山地为分布中心的科, 如樟科、卫矛科、葡萄科、无患子科、五列木科、冬青科、五加科、山茶科; 而典型的热带性大科如桃金娘科、胡椒科、苦苣苔科, 及典型的温带性大科, 如桦木科、罂粟科、秋水仙科,

在罗霄山脉南北均有分布的种系很少。

共有属685属,其中广布属69属、热带性属231属、温带性属385属。此外,5条山脉间共有属表现出明显的亚热带性质,数量优势属主要分布于我国亚热带地区,如冬青属、猕猴桃属、卫矛属、菝葜属、紫珠属(*Callicarpa*)、莢蒾属、猕猴桃属、山胡椒属、槭属、李属、山矾属、柃属、安息香属、杜鹃花属、胡颓子属、葡萄属、青冈属、泡花树属、杜英属、紫堇属(*Corydalis*)、篇蓄属(*Polygonum*)、栲属等。

3.3.2 罗霄山脉南北5条中型山脉间属的替代性

罗霄山脉地区是南北走向的山体,自北向南跨越516 km,区域内存在明显的区系过渡性。从属的地理分布区类型上来看,自北向南热带性属所占比例逐渐增大,热带性属/温带性属比值大小依次为幕阜山脉(0.72) < 九岭山脉(0.89) < 武功山脉(0.92) < 万洋山脉(0.93) < 诸广山脉(1.01) (表6)。同时在整体趋势上,热带性属的数量自北向南逐渐增加,温带性属的数量则相应减少。

在5条中型山脉间的区系组成存在着明显的替代。在罗霄山脉地区,有33属仅分布于最北端的幕阜山脉,其中27个为温带性属,如北温带分布的贝母属(*Fritillaria*)、柳穿鱼属(*Linaria*)、白头翁属(*Pulsatilla*),东亚及北美间断分布的罗布麻属(*Apocynum*)、红毛七属(*Caulophyllum*)、毛核木属(*Symphoricarpos*)、赤壁木属(*Decumaria*),东亚分布的鬼灯檠属(*Rodgersia*)、山兰属(*Oreorchis*)、领春木属(*Euptelea*),中国特有分布的有猬实属(*Kolkwitzia*)、金钱松属(*Pseudolarix*)、串果藤属(*Sinofranchetia*)、双盾木属(*Dipelta*)等。

仅见于九岭山脉的有14属,如桃儿七属(*Sinopodophyllum*)、假繁缕属(*Theligonum*)、琉璃繁

缕属(*Anagallis*)、黄眼草属(*Xyris*)、沼原草属(*Molinia*)等;仅见于武功山脉的11属,如水丝麻属(*Maoutia*)、绣球防风属(*Leucas*)、毛茛泽泻属、异黄精属(*Heteropolygonatum*)、稻属(*Oryza*)等;仅见于万洋山脉的有24属,如藤山柳属(*Clematoclethra*)、蛛网萼属(*Platycrater*)、假沙晶兰属(*Monotropastrum*)、齿鳞草属、无叶莲属、丹霞兰属(*Danxiaorchis*)、铠兰属(*Corybas*)、鸟巢兰属(*Neottia*)、宽距兰属等。

最南部的诸广山脉有35属不见于各北段山地,其中共有热带性属23属,如琼楠属(*Beilschmiedia*)、美冠兰属(*Eulophia*)、风车子属(*Combretum*)、翼核果属、血桐属(*Macaranga*)、拟兰属(*Apostasia*)、岗松属(*Baeckea*)、秀柱花属、山桂花属(*Bennettiodendron*)、腺萼木属(*Mycetia*)、大苞姜属(*Caulokaempferia*)等。其他东亚分布属及中国特有分布属也均以亚热带山地为分布中心,如蔓龙胆属(*Crawfordia*)、木瓜红属、丹麻秆属(*Discocleidion*)、水松属(*Glyptostrobus*)、小花苣苔属(*Chiritopsis*)、棱果花属(*Barthea*)、报春苣苔属(*Primulina*)。

4 罗霄山脉地区种子植物区系的性质

罗霄山脉地区共分布有野生种子植物179科1,107属4,314种,科的地理成分分为10个类型,以热带性科占明显优势,热带性成分与温带性成分的比值(tropical/temperate, R/T)为2.08;属包含15个分布区类型,以温带性成分略占优势(R/T = 0.91)。表明罗霄山脉植物区系虽受热带成分影响,但整体上呈现出明显的亚热带性质,科的分布区类型以泛热带分布、北温带分布为主体;而属的分布区类型中泛热带分布、热带亚洲分布、北温带分布及东亚分布均较为丰富。泛热带分布及北温带分布科、属占

表6 罗霄山脉内5条中型山脉的区系组成

Table 6 Flora composition of five medium-sized mountains in the Luoxiao Mountains

区域 Area	科属种数量 No. of family/genera/species			世界广布属 Widespread genera	热带属 Tropical genera	温带属 Temperate genera	热带属/温带属 Tropical/temperate (R/T)
	裸子植物 Gymnosperm	被子植物 Angiosperm	合计 Total				
罗霄山脉 Luoxiao Mountains	6/21/32	173/1,086/4,282	179/1,107/4,314	89	484	534	0.91
幕阜山脉 Mufu Mountains	4/12/18	160/890/2,747	164/902/2,765	84	343	475	0.72
九岭山脉 Jiuling Mountains	5/12/18	163/880/2,732	168/892/2,750	81	381	430	0.89
武功山脉 Wugong Mountains	4/13/17	158/825/2,490	162/838/2,507	73	366	399	0.92
万洋山脉 Wanyang Mountains	6/18/25	164/943/3,136	170/961/3,161	79	424	458	0.93
诸广山脉 Zhuguang Mountains	5/16/21	163/895/2,813	168/911/2,834	77	420	414	1.01

比较高是亚热带性质区系的特点(沈泽昊和张新时, 2000), 同时罗霄山脉分布的热带亚洲分布、东亚分布属, 也呈现出典型的亚热带山地性质。从罗霄山脉区系科、属的数量级划分来看, 除世界广布科、属外, 本地区包含种系较丰富的科、属也以亚热带山地性质的科、属为主, 代表性的为壳斗科、樟科、木兰科、安息香科、山矾科、杜鹃花属、卫矛属、柃属等。从25个区系表征科以及罗霄山脉地区5条山脉间的共有属分布区类型分析结果, 同样可以看出罗霄山脉区系的特征性成分均以亚热带山地优势属为主。

罗霄山脉贫乏科、属所占比例较大, 仅包含1种的科占比48.05%, 包含2–10种的科占比34.08%, 仅分布1种的属占比42.01%, 包含2–5种的属占比39.02%。单种、寡种的科、属占区系组成比例高, 是亚热带地区植物区系的重要特征(沈泽昊和张新时, 2000), 可见罗霄山脉植物区系是中国东南部第三纪孑遗植物群的重要组成部分。丰富的单种及寡种属一方面反映出罗霄山脉区系性质的古老、孑遗性, 如系统地位孤立的银杉(*Cathaya argyrophylla*) (Wang & Ge, 2006)、青钱柳(*Cyclocarya paliurus*) (Kou et al, 2016)、伯乐树(*Bretschneidera sinensis*) (Wang et al, 2018)、资源冷杉(*Abies beshanzuensis* var. *ziyuanensis*)等均是在全球气候降温及第三纪冰期影响下形成的地理孑遗种; 另一方面, 这也体现出南北走向的罗霄山脉是强热带性和强温带性科属交流的通道。如一些热带性较强的大属, 以热带亚洲、热带澳大利亚为起源或现代分布中心, 仅有少数种类的分布区可延伸至罗霄山脉, 如蒲桃属(罗霄山脉3种/世界1,200种, 下同)、西番莲属(1/520)、血桐属(*Macaranga*) (1/260)、古柯属(*Erythroxylum*) (1/200)、蜂斗草属(*Sonerila*) (1/150)、牛奶菜属(*Marsdenia*) (1/100); 同样, 典型的温带性大属在罗霄山脉的种系也不丰富, 如山楂属(*Crataegus*) (3/1,000)、马先蒿属(*Pedicularis*) (2/600)、柳属(*Salix*) (7/521)、婆婆纳属(*Veronica*) (8/450)、虎耳草属(*Saxifraga*) (6/400)、翠雀属(*Delphinium*) (2/390)等。

中新世以来全球曾发生多次气候波动, 影响了植被带的变迁(Qian & Ricklefs, 2004; Sun & Wang, 2005; Zachos et al, 2008), 也促进了典型的热带性及温带性科、属成分沿着罗霄山脉的迁移交流, 如针对大血藤(*Sargentodoxa cuneata*)的谱系地理学研

究显示罗霄山脉既是该种在更新世冰期的气候避难所之一, 在冰期后也是植物向北迁移的主要通道(Tian et al, 2015)。

5 罗霄山脉南北山地间区系分异及其地理学意义

罗霄山脉范围内的区系过渡性现象是第三纪古植物群在气候驱动下演变的结果。现代中国植物区系的来源可追溯至古热带植物群、北极第三纪植物群及古地中海植物群(吴征镒等, 2011), 而古热带植物群存在南北的分异, 中国南部地区在第三纪应属于北方热带植物群(Wolfe, 1975)。在现代植物区系中, 北极第三纪植物群呈现出泛北极、东亚–欧洲–北美间断分布、东亚–北美间断分布、东亚分布、北美分布, 以及欧亚分布的模式, 而古热带成分的后裔则表现出以泛热带、印度–马来西亚新热带分布、印度马来分布、加那利群岛分布模式(Mai, 1991)。罗霄山脉分布有丰富的泛热带、热带亚洲、北温带及东亚分布属, 孕育着典型的亚热带性植被群落, 无疑是北极–第三纪植物群及北方热带植物群的残遗, 而罗霄山脉南北区系科、属组成上的差异, 也暗示出罗霄山脉北段受北极–第三纪成分影响较大, 而南段则保存有更多的北热带成分。

罗霄山脉属的地理成分R/T值为0.91, 以温带性属略占优势, 北段山地地区成分以温带性属为主, 随着纬度的南移, 温带性属的数量及占比均有所减少, 至最南部的齐云山(属诸广山脉)已表现出热带性属占优势。R/T值最初用于评价海拔梯度上的区系替代现象(彭华, 1996), 也可用于解释纬度梯度上的区系地带性格局(沈泽昊和张新时, 2000; 冯建孟和徐成东, 2009)。通过比较南北5条山脉间的区系组成, 发现罗霄山脉南北山地间区系替代现象明显, 在最北部的幕阜山脉有热带性属343属, 而温带性属达到了475属, R/T值0.72, 出现丰富的华中区系特征性成分, 如金钱松属、串果藤属、红毛七属、双盾木属、鬼灯檠属等, 体现出华中区系成分向罗霄山脉地区的渗透。而南端的诸广山脉属的R/T值为1.01, 热带性成分达420属, 温带性属414属, 分布有许多华南植物区系成分特征属, 如琼楠属、岗松属、桃金娘属(*Rhodomyrtus*)、拟兰属、山桂花属、水松属、棱果花属等。

从科、属分布区类型分析结果可以看出, 罗霄

山脉植物区系与中国东部具有统一性,并呈现出明显的亚热带山地性质,整体上反映出中国东部季风区植物区系的基本特征(沈泽昊和张新时,2000);子遗、古老种系的多样化则表明本地区在区系上与北极第三纪植物群和北方热带植物群的亲缘性;而罗霄山脉内南北山地间的区系组成差异,则揭示出本地区在区系演化过程中产生了一定分异。总体上,罗霄山脉区系承袭了大量的第三纪成分,并在全球气候波动的过程中成为重要的物种迁徙通道,不断地收纳一些生态幅适应性强的广布种,从而形成目前的植物区系多样性分布格局。

致谢:感谢江西省林业厅涂晓斌、单纪红等对本次全线野外考察工作的大力支持;感谢江西省、湖南省、湖北省在罗霄山脉境内的各自然保护区管理局的支持;感谢罗霄山脉综合科考各单位参加标本采集和鉴定的各位科研人员和采集员。

参考文献

- APG IV (2016) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181, 1–20.
- Chang HT (1994) An outline on the regionalisation of the global flora. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 33(3), 1–9. (in Chinese with English abstract) [张宏达 (1994) 地球植物区系分区提纲. 中山大学学报 (自然科学版), 33, 1–9.]
- Chen LZ, Sun H, Guo K (2014) *Flora and Vegetation Geography of China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [陈灵芝, 孙航, 郭柯 (2014) 中国植物区系与植被地理. 科学出版社, 北京.]
- Chen T, Chang HT (1994) The floristic geography of Nanling Mountain Range, China. I. Floristic composition and characteristics. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2, 10–23. (in Chinese with English abstract) [陈涛, 张宏达 (1994) 南岭植物区系地理学研究. I. 植物区系的组成和特点. 热带亚热带植物学报, 2, 10–23.]
- Editorial Committee of Flora of Jiangxi (2004) *Flora of Jiangxi* (Vol. 2). China Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese) [江西植物志编委会 (2004) 江西植物志 (第2卷). 中国科学技术出版社, 北京.]
- Editorial Committee of Flora of Jiangxi (2014) *Flora of Jiangxi* (Vol. 3). Jiangxi Science and Technology Press, Nanchang. (in Chinese) [江西植物志编委会 (2014) 江西植物志 (第3卷). 江西科学技术出版社, 南昌.]
- Editorial Committee of Flora Republicae Popularis Sinicae (1959–2004) *Flora Republicae Popularis Sinicae*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国植物志编辑委员会 (1959–2004) 中国植物志. 科学出版社, 北京.]
- Feng JM, Xu CD (2009) Flora transition and its biogeographical significance. *Chinese Journal of Ecology*, 28, 108–112. (in Chinese with English abstract) [冯建孟, 徐成东 (2009) 植物区系过渡性及其生物地理意义. 生态学杂志, 28, 108–112.]
- He LZ, Liu RL (2010) *Scientific Survey and Biodiversity Study of the Qixiling Nature Reserve in Jiangxi Province*. Jiangxi Science and Technology Press, Nanchang. (in Chinese) [贺利中, 刘仁林 (2010) 江西七溪岭自然保护区科学考察及生物多样性研究. 江西科学技术出版社, 南昌.]
- Hou XY (2001) *Vegetation Atlas of China (1:1000000)*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [侯学煜 (2001) 1:1000000中国植被图集. 科学出版社, 北京.]
- Kou YX, Cheng SM, Tian S, Li B, Fan DM, Chen YJ, Soltis DE, Soltis PS, Zhang ZY (2016) The antiquity of *Cyclocarya paliurus* (Juglandaceae) provides new insights into the evolution of relict plants in subtropical China since the late Early Miocene. *Journal of Biogeography*, 43, 351–360.
- Li BG, Liu LH (2010) *Flora of Hunan* (Vol. 3). Hunan Science and Technology Press, Changsha. (in Chinese) [李丙贵, 刘林翰 (2010) 湖南植物志 (第3卷). 湖南科学技术出版社, 长沙.]
- Li DZ, Chen ZD, Wang H, Lu AM (2018) *A Dictionary of the Families and Genera of Chinese Vascular Plants*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [李德铎, 陈之端, 王红, 路安民 (2018) 中国维管植物科属词典. 科学出版社, 北京.]
- Li HQ, Tian HZ (2010) *A Search Handbook of East China Seed Plants*. East China Normal University Press, Shanghai. (in Chinese) [李宏庆, 田怀珍 (2010) 华东种子植物检索手册. 华东师范大学出版社, 上海.]
- Li JX, Lin QZ, Zhao LJ (2006) The flora of seed plants in Pingjiang Mufu Mountain. *Journal of Central South Forestry University*, 26, 93–97. (in Chinese with English abstract) [李家湘, 林亲众, 赵丽娟 (2006) 平江幕阜山种子植物区系. 中南林学院学报, 26, 93–97.]
- Liu KM (2000) *Flora of Hunan* (Vol. 2). Hunan Science and Technology Press, Changsha. (in Chinese) [刘克明 (2000) 湖南植物志 (第2卷). 湖南科学技术出版社, 长沙.]
- Li XW (1996) Floristic statistics and analyses of seed plants from China. *Acta Botanica Yunnanica*, 18, 363–384. (in Chinese with English abstract) [李锡文 (1996) 中国种子植物区系统计分析. 云南植物研究, 18, 363–384.]
- Liao WB, Wang YY, Li Z, Peng SL, Chen CC, Fan Q, Jia FL, Wang L, Liu WQ, Yin GS, Shi XG, Zhang DD (2014) *Integrated Study on Biodiversity of Mount Jinggangshan Regions in China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [廖文波, 王英永, 李贞, 彭少麟, 陈春泉, 凡强, 贾凤龙, 王蕾, 刘蔚秋, 尹国胜, 石祥刚, 张丹丹 (2014) 中国井冈山地区生物多样性综合科学考察. 科技出版社, 北京.]
- Lin Y (1990) *Scientific Survey and Research on Jinggangshan Nature Reserve*. Xinhua Publishing House, Beijing. (in Chinese) [林英 (1990) 井冈山自然保护区考察研究. 新

- 华出版社, 北京.]
- Liu KW, Hou BQ (1991) A study on forest flora of Tao-yuandong Nature Conservation, Hunan. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 9, 56–61. (in Chinese with English abstract) [刘克旺, 侯碧清 (1991) 湖南桃源洞自然保护区植物区系初步研究. *武汉植物学研究*, 9, 53–61.]
- Liu XZ, Wu HP (2005) Scientific Survey and Study on the Guanshan Nature Reserve in Jiangxi Province. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [刘信中, 吴和平 (2005) 江西官山自然保护区科学考察与研究. 中国林业出版社, 北京.]
- Mai DH (1991) Paleofloristic changes in Europe and the confirmation of the Arctotertiary-Paleotropical geofloral concept. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 68, 29–36.
- Peng H (1996) The floristic equilibrium point of seed plants in Mt. Wulingshan. *Acta Botanica Yunnanica*, 18, 384–397. (in Chinese with English abstract) [彭华 (1996) 无量山种子植物的区系平衡点. *云南植物研究*, 18, 384–397.]
- Qian H, Ricklefs RE (2004) Geographical distribution and ecological conservatism of disjunct genera of vascular plants in eastern Asia and eastern North America. *Journal of Ecology*, 92, 253–265.
- Shi SH (1987) Floristics study of Heishiding Nature Reserve. *Ecological Science*, 1/2, 44–65. (in Chinese with English abstract) [施苏华 (1987) 黑石顶自然保护区植物区系研究. *生态科学*, 1/2, 44–65.]
- Shen ZH, Zhang XS (2000) A quantitative analysis on the floristic elements of the Chinese subtropical region and their spatial patterns. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 38, 366–380. (in Chinese with English abstract) [沈泽昊, 张新时 (2000) 中国亚热带地区植物区系地理成分及其空间格局的数量分析. *植物分类学报*, 38, 366–380.]
- Sun XJ, Wang PX (2005) How old is the Asian monsoon system? *Palaeobotanical records from China. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 222, 181–222.
- Tian S, Lei SQ, Hu W, Deng LL, Li B, Meng QL, Soltis DE, Soltis PS, Fan DM, Zhang ZY (2015) Repeated range expansions and inter-/postglacial recolonization routes of *Sargentodoxa cuneata* (Oliv.) Rehd. et Wils. (Lardizabaleaceae) in subtropical China revealed by chloroplast phylogeography. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 85, 238–246.
- Vetaas OR, Grytnes JA (2002) Distribution of vascular plant species richness and endemic richness along the Himalayan elevation gradient in Nepal. *Global Ecology and Biogeography*, 11, 291–301.
- Wang HS (1997) Floristic Geography of North China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [王荷生 (1997) 华北植物区系地理. 科学出版社, 北京.]
- Wang HW, Ge S (2006) Phylogeography of the endangered *Cathaya argyrophylla* (Pinaceae) inferred from sequence variation of mitochondrial and nuclear DNA. *Molecular Ecology*, 15, 4109–4122.
- Wang L, Liao WB, Chen CQ, Fan Q (2013) The seed plant flora of the Mount Jinggangshan Region, Southeastern China. *PLoS ONE*, 8, e75834.
- Wang MN, Duan L, Qiao Q, Wang ZF, Zimmer EA, Li ZC, Chen HF (2018) Phylogeography and conservation genetics of the rare and relict *Bretschneidera sinensis* (Akaniaceae). *PLoS ONE*, 13, e0189034.
- Wolfe JA (1975) Some aspects of plant geography of the Northern Hemisphere during the late Cretaceous and Tertiary. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 62, 264–279.
- Wu ZY, Sun H, Zhou ZK, Li DZ, Peng H (2011) Floristics of Seed Plants from China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒, 孙航, 周浙昆, 李德铎, 彭华 (2011) 中国种子植物区系地理. 科学出版社, 北京.]
- Wu ZY, Zhou ZK, Sun H, Li DZ, Peng H (2006) The Areal-Types of Seed Plants and Their Origin and Differentiation. Yunnan Science & Technology Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒, 周浙昆, 孙航, 李德铎, 彭华 (2006) 种子植物分布区类型及其起源和分化. 云南科技出版社, 昆明.]
- Ying JS, Chen ML (2011) Plant Geography of China. Shanghai Science and Technology Press, Shanghai. (in Chinese) [应俊生, 陈梦玲 (2011) 中国植物地理. 上海科学技术出版社, 上海.]
- Zachos JC, Dickens GR, Zeebe RE (2008) An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. *Nature*, 451, 279–283.
- Zheng JY, Yin YH, Li BY (2010) A new scheme for Chinese regionalization in China. *Acta Geographica Sinica*, 65, 3–13. (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, 3–13.]

(责任编辑: 王志恒 责任编辑: 黄祥忠)

附录 Supplementary Material

附录1 罗霄山脉种子植物名录

Appendix 1 Checklist of seed plants in the Luoxiao Mountains
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019262-1.pdf>