

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2017.20207

蔡锦蓉, 陈云辉, 臧程, 于晶, 郭水良. 基于 125 个地区的中国藓类植物区系的定量分析[J]. 植物科学学报, 2017, 35(2): 207-215
Cai JR, Chen YH, Zang C, Yu J, Guo SL. Quantitative analyses on the moss flora of China based on 125 geographical units[J]. *Plant Science Journal*, 2017, 35(2): 207-215

基于 125 个地区的中国藓类植物区系的定量分析

蔡锦蓉, 陈云辉, 臧程, 于晶, 郭水良*

(上海师范大学生命与环境科学学院, 上海 200234)

摘要: 系统收集了我国 125 个地区的藓类植物区系资料, 统计了种和属在这些地区的分布频度。以藓类种数超过 100 的 73 个地区为研究对象, 以科所含的种数为指标, 应用除趋势对应分析和模糊均值聚类基础上的主坐标排序, 对我国藓类植物区系的区域分化特点进行了定量分析。结果显示, 随着分布频度增加, 种和属数均呈指数式下降, 绝大部分的种和属仅在极少数地区有记录。根据藓类植物的区系组成, 73 个地区可分成 5 组: 第 1 组涉及华东、华中和西南的 12 个地区; 第 2 组包括西北、华北为主的 16 个地区; 第 3 组为人为干扰强烈的长三角等 15 个地区; 第 4 组包括以华南为主的热带、亚热带区域的 19 个山地; 第 5 组包括西北、东北和西南的 11 个温带或高海拔山地。研究结果表明我国藓类区系报道在种类鉴定中可能存在比较普遍的误定现象, 从而造成绝大部分种类局限于狭窄地理区域的假象。

关键词: 藓类植物; 区系分析; 地理分布

中图分类号: Q948.5

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2017)02-0207-09

Quantitative analyses on the moss flora of China based on 125 geographical units

Cai Jin-Rong, Chen Yun-Hui, Zang Cheng, Yu Jing, Guo Shui-Liang*

(College of Life and Environmental Science, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: Floristic data of mosses from 125 geographical units in China were collected from relevant literature. The distribution frequencies of genera and species were calculated. Geographical differentiation of moss flora was analyzed by Fuzzy K-means Clustering and Detrended Correspondence Analysis. Results showed that: (1) Species (or genera) number decreased exponentially with the increase in distribution frequency, namely, most species or genera were recorded from a narrow geographical range. (2) Seventy-three areas with more than 100 moss species could be divided into five groups based on the number of species in the families; group 1 included 12 areas in eastern and southwestern China; group 2 included 16 areas in northwestern and northern China; group 3 included 15 areas in the Yangtze River Delta and other areas intensely disturbed by human activities; group 4 included 19 mountains in tropical and southern subtropical regions of southern China; group 5 included 11 temperate mountains in northeastern and northwestern China or mountains with high altitude in southwestern China. (3) Incorrect specimen identification in previous reports has resulted in the misconception that most moss species are confined to narrow geographical areas.

Key words: Mosses; Floristic analysis; Geographical distribution

收稿日期: 2016-07-01, 退修日期: 2016-09-01。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31370233, 31570208)。

This work was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (31370233, 31570208).

作者简介: 蔡锦蓉(1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向为苔藓植物学(E-mail: caijinrong1006@163.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: gsg@shnu.edu.cn)。

植物分区研究是植物区系、植物地理及植物生态学相结合的综合研究。对中国苔藓植物进行分区研究, 无论对中国植物地理分布特性、地理划分, 还是对苔藓植物在不同植被类型中的指示作用等均可起到积极的指导作用。1958 年, 陈邦杰在对我国各省区苔藓植物初步调查的基础上将苔藓植物区系分为 7 个, 包括岭南区、华中区、华北区、东北区、云贵区、青藏区和蒙新区^[1]。近 40 年来, 学者们对我国苔藓植物进行了大量的调查研究, 明确了我国藓类植物代表类群的地理分布格局, 为全面揭示苔藓植物的区系特征提供了良好的数据积累^[2]。

本文综合统计了我国苔藓植物科、属、种不同分类等级的地理分布频度, 以及主要科、属的分布范围, 研究结果有利于进一步揭示我国苔藓植物的多样性特点, 以及影响代表性苔藓植物科、属分布的气候因素, 进而为我国苔藓植物的多样性保护和开发利用提供基础资料。

1 研究方法

1.1 数据来源

本研究通过参考《中国苔藓植物志》^[3-10] 和相关文献^[11-26], 整理出包括安徽黄山地区在内的 125 个地理单位的藓类植物区系数据。

随着苔藓植物分类学研究的深入, 近年来从苔藓植物名称中发现了大量的异名。为确保各自然地理单位记载种类的科学性, 本文重点参考了《中国生物物种名录》植物卷的苔藓植物部分^[27], 《Moss Flora of China》^[11-18], 以及密苏里植物园主办的 Tropics 网站 (<http://www.tropicos.org/Home.aspx>) 有关苔藓植物的异名信息, 将获得的不同地区苔藓植物名录中涉及到的有关异名归并到相应的类群, 以获得准确的地理分布信息。

1.2 数据分析

以 125 个地理单位为基础, 在属和种的水平, 采用 Curve-Expert 1.4 软件, 分别拟合其在 125 个地区的分布频度 (X) 和种 (或属) 数 (Y) 间的关系。

为探讨我国藓类植物的地理分布, 以藓类种数 100 以上的地区为对象, 以各地区分布种数之和在 50 以上的科所含的种数为指标, 应用 PCORD 4.0 软件进行除趋势对应分析, 获得它们在前三个排序轴上的坐标值。在此基础上, 再应用模糊均值聚类

法, 以欧氏距离为相异性测度, 以轮廓宽度值最大的分组数, 在主坐标二维排序图上展示, 根据各地区相应组的成员值评估分组的合理性, 并采用 SPSS 16.0 软件中的单因素方差分析, 探讨各组种和科数组成上的差异性。

2 结果与分析

2.1 中国 125 个地区藓类植物种水平的区系分析

通过文献整理并查阅《中国生物物种名录》和美国密苏里植物园的 Tropicos 网站, 归并了藓类植物的同种异名, 统计结果显示, 125 个地区共记录藓类植物 1773 种 380 属 82 科, 并对其进行了区系统计 (图 1)。

安徽黄山共记录藓类植物 383 种, 是 125 个地区中种数最多的地区。贵州雷公山、四川都江堰、四川贡嘎山、陕西佛坪、四川峨眉山、吉林长白山和云南大围山的藓类植物均超过 300 种, 构成了较为丰富的藓类植物区系。

分布最广的藓类植物分别为真藓 (*Bryum argenteum* Hedw.), 在 88 个地区有记录, 占调查地区总数的 70.4%; 葫芦藓 (*Funaria hygrometrica* Hedw.)、匍灯藓 (*Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T. J. Kop.)、狭叶小羽藓 (*Haplocladium angustifolium* (Hampe & Müll. Hal.) Broth.)、细叶小羽藓 (*Haplocladium microphyllum* (Hedw.) Broth.)、大羽藓 (*Thuidium cymbifolium* Dozy & Molk.)、鳞叶藓 (*Taxiphyllum taxirameum* (Mitt.) M. Fleisch.)、柱蒴绢藓 (*Entodon challengerii* (Paris) Cardot.)、羊角藓 (*Herpetineuron toccoeae* (Sull. & Lesq.) Cardot.)、长柄绢藓 (*Entodon macropodus* (Hedw.) Müll. Hal.)、卷叶湿地藓 (*Hyophila involuta* (Hook.) A. Jaeger.)、小石藓 (*Weissia controversa* Hedw.)、羽枝青藓 (*Brachythecium plumosum* (Hedw.) Schimp.)、狭叶拟合睫藓 (*Pseudosymblespharis angustata* (Mitt.) Hilp.)、波边毛口藓 (*Trichostomum tenuirostre* (Hook. & Taylor) Lindb.) 等也是分布广泛的种, 它们的分布频度在 50% ~ 68% 之间; 卷叶湿地藓和小石藓是丛藓科 (Pottiaceae) 中记录最多的种, 分别在 52.8% 和 52% 的地区都有记录。

分布最广的前 50 种藓类植物中, 侧蒴藓类 26 种, 顶蒴藓类 24 种, 并以丛藓科最多, 有 7 种; 其

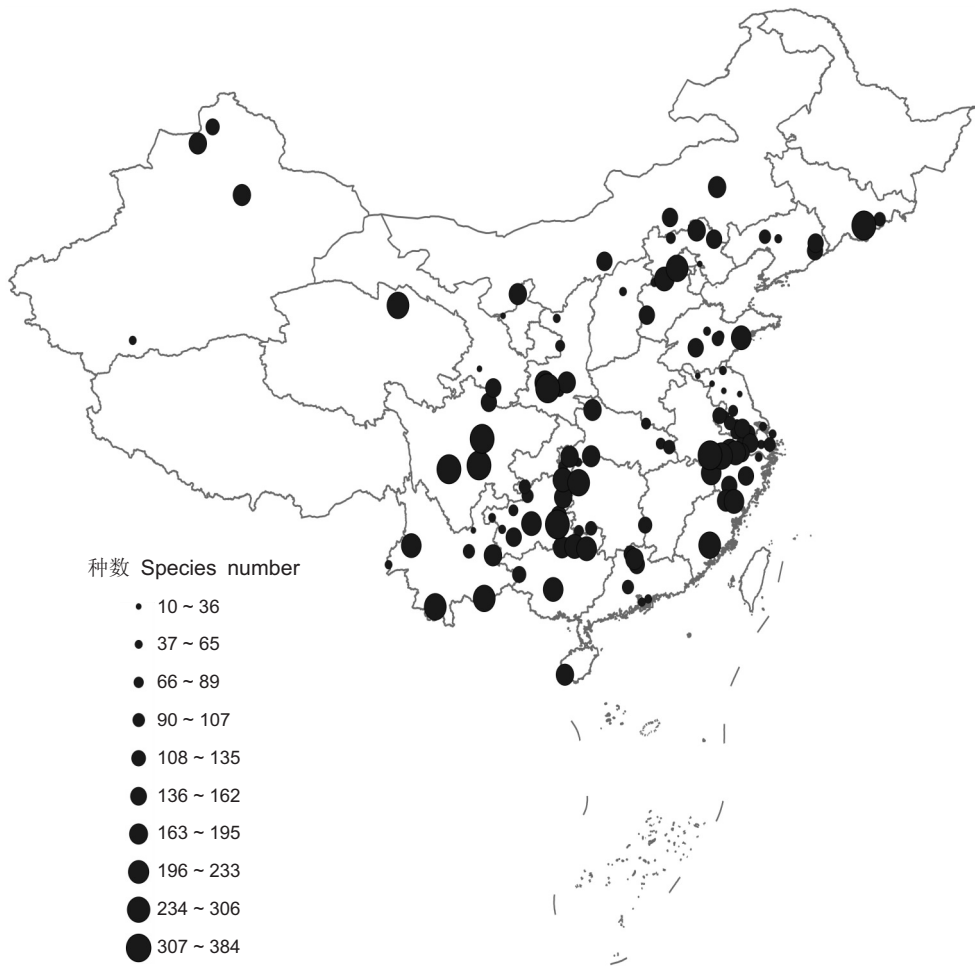


图 1 中国 125 个地区藓类植物物种丰富度
Fig. 1 Moss species abundance in 125 geographical areas of China

次为青藓科 (Brachytheciaceae) 和提灯藓科 (Mniaceae), 均为 6 种; 真藓科 (Bryaceae) 和灰藓科 (Hypnaceae) 为 5 种。

分布频度 (X) 与种数 (Y) 的关系符合 $Y = 385.2431e^{-30.7372X}$ ($r = 0.9733, n = 71, P < 0.001$), 即随着分布频度的增加, 种数呈指数式下降。统计发现, 在 125 个地区中, 大部分种类仅出现在少数地区。1773 种藓类植物中, 347 种仅记录于 1 个地区; 218 种仅记录于 2 个地区; 137 种仅记录于 3 个地区; 相反, 仅 15 种在一半以上地区有记录。

2.2 125 个地区藓类植物属水平上的区系分析

藓类植物属的分布频度分析结果表明, 分布最广的是真藓属 (Bryum), 96.85% 的地区均有记录; 其次是绢藓属 (Entodon)、凤属藓属 (Fissidens)、匍灯藓属 (Plagiomnium) 和青藓属 (Brachythe-

cium), 分别在 91.34%、89.76%、88.98% 和 88.19% 的地区有记录。灰藓属 (Hypnum)、对齿藓属 (Didymodon)、羽藓属 (Thuidium)、毛口藓属 (Trichostomum)、鳞叶藓属 (Taxiphyllum) 分别在 84.25% 至 76.38% 的地区有分布。

属的分布频度 (X) 与属数 (Y) 的关系为: $Y = 37.8307e^{-16.9275X}$ ($r = 0.8794, n = 84, P < 0.001$), 即随着分布频度的增加, 属数呈指数式下降。125 个地区中, 大部分属出现在少数地区。藓类植物 380 个属中, 49 个仅记录于 1 个地区, 19 个仅记录于其中 2 个地区。

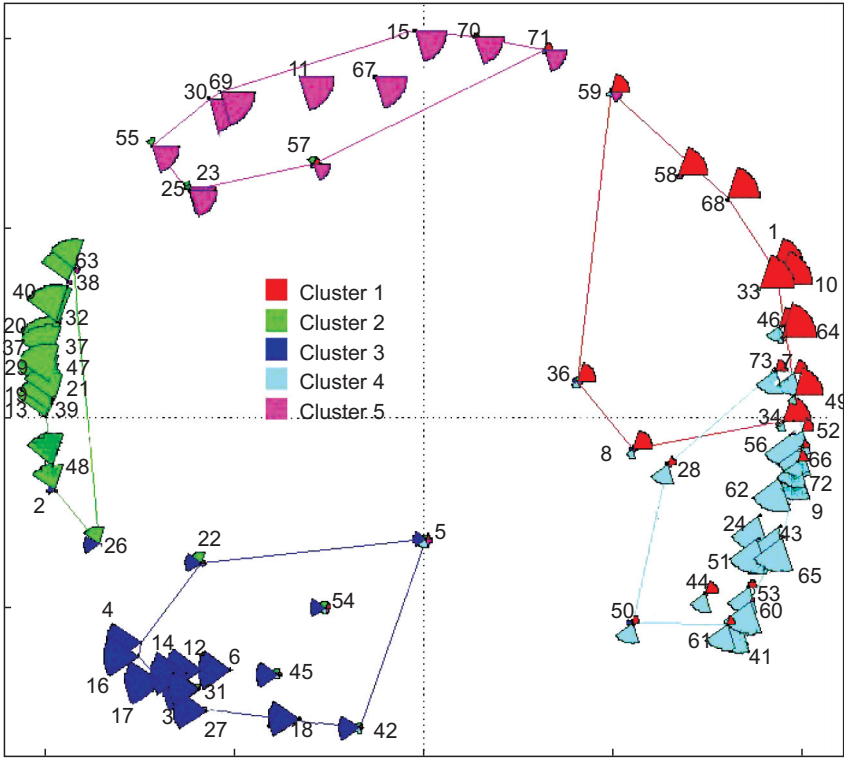
2.3 中国藓类植物地理分布差异性分析

统计发现, 藓类植物种数在 100 以上的地区共有 73 个 (表 1), 各地区分布种数之和在 50 以上的科有 62 科。基于 62 科在 73 个地区的种数进行数据分析, 将 73 个地区分成 5 组最为合理 (图 2)。

表 1 基于 62 个科的种数对 73 个地区进行的模糊均值聚类分组

Table 1 Division of 73 areas based on number of species in 62 families using fuzzy means clustering

第 1 组 Group 1		第 2 组 Group 2		第 3 组 Group 3		第 4 组 Group 4		第 5 组 Group 5	
序号 No.	地区 Areas	序号 No.	地区 Areas	序号 No.	地区 Areas	序号 No.	地区 Areas	序号 No.	地区 Areas
1	重庆四面山	2	辽宁医巫闾山	3	江苏宜兴	7	江西井冈山	11	新疆喀纳斯
8	广西中越边境石灰岩区	13	河北临城小天池	4	江苏镇江	9	广东南岭	15	四川王朗
10	浙江凤阳山	19	内蒙浑善达克沙地	5	湖北三角山	24	广东石门台	23	辽宁白石砬子
33	贵州梵净山	20	内蒙大青山	6	江苏南京	28	浙江大盘山	25	辽宁老秃顶子
34	广西九万山	21	内蒙七老图山	12	江苏苏州	41	湖北星斗山	30	甘肃白龙江流域
36	湖北后河	26	山东泰山	14	江苏无锡	43	海南尖峰岭	55	陕西太白山
46	浙江百山祖	29	山西庞泉沟	16	浙江金华山	44	广东粤北石灰岩地区	57	云南澜沧江峡谷
49	浙江古田山	32	陕西翠华山	17	杭嘉湖平原	50	广西十万大山	67	吉林长白山
58	四川金佛山	35	新疆博格达山	18	杭州市区	51	广西花坪	69	陕西佛坪
59	浙江天目山	37	河北滦河上游地区	22	贵州黄果树	52	浙江乌岩林	70	四川贡嘎山
64	浙江九龙山	38	内蒙赛罕乌拉	27	贵州烂泥沟金矿区	53	重庆西阳	71	四川都江堰
68	四川峨眉山	39	宁夏贺兰山	31	贵州黔灵山	56	广西猫儿山		
		40	新疆三工河流域	42	云南罗平	60	云南纳板河		
		47	河北燕山	45	贵州马岭河峡谷	61	湖南西北区		
		48	河北云蒙山	54	贵州香纸沟	62	浙江清凉峰		
		63	甘肃祁连山			65	福建戴云山		
						66	云南大围山		
						72	贵州雷公山		
						73	安徽黄山		



图中数字对应表 1 中地名。
Numbers in the figure correspond to places in Table 1.

图 2 基于蕨类植物 62 科在 73 个地区种数的模糊均值聚类

Fig. 2 Fuzzy means clustering based on species number of 62 families in 73 areas

73 个地区共分为 5 组, 根据平均成员值的大小, 值越大属于该组的合理性越高, 第 2 组划分的合理性相对较强, 属于该组的平均成员值达到 0.90, 而其他 4 组隶属于相应组的平均成员值在 0.70 ~ 0.75 之间, 且这 4 组不同地区划分的合理性差异较大(图 3)。

第 1 组以西南、华中和华东地区为主, 代表性的地区有四川峨眉山(68)、浙江遂昌九龙山(64)、浙江凤阳山(10)、贵州梵净山(33)和重庆四面山(1)。第 1 组在 5 个组中藓类丰富度中等, 平均藓类种数为 194 种。其中热带类群蔓藓科(Meteoriaceae)、平藓科(Neckeraceae)和锦藓科(Sematophyllaceae)物种丰富; 温带类群柳叶藓科(Amblystegiaceae)、青藓科的种数相对较少; 丛藓科、真藓科、羽藓科(Thuidiaceae)种数相对较少。

第 2 组以西北和华北地区为主, 平均藓类种数为 170 种, 其中丛藓科、真藓科、紫萁藓科(Grimmiaceae)、柳叶藓科、牛毛藓科(Ditrichaceae)、金灰藓科(Pylaisiaceae)、葫芦藓科(Funariaceae)和提灯藓科种数丰富。而热带类群如蔓藓科、白发藓科(Leucobryaceae)、平藓科、凤尾藓科(Fissidentaceae)种数明显较少。另外, 金发藓科(Polytrichaceae)和塔藓科(Hylocomiaceae)的种数也明显较少。

第 3 组包括长三角和其他受人为干扰强烈的地区。大部分地区面积较大(例如杭嘉湖平原), 但藓类物种丰富度较低, 为 143 种。这一组中, 丛藓科、真藓科、凤尾藓科、珠藓科(Bartramiaceae)、薄罗藓科(Leskeaceae)、牛舌藓科(Anomodontaceae)、牛毛藓科和葫芦藓科种数较为丰富。按成员值分析, 江苏宜兴(3)、镇江(4)、南京(6)、苏州(12)、无锡(14)、浙江金华山(16)、杭嘉湖平原(17)、杭州市区(19)、贵州黄果树(27)和贵州烂泥沟金矿区(31)是本组中比较典型的地区。

第 4 组包括的地区基本处于热带至亚热带气候区域, 第 4 组与第 1 组地区在藓类构成上比较接近, 一些山地上藓类组成过渡特征明显。按成员值分析, 广东南岭(9)、广东石门台(24)、海南尖峰岭(43)、浙江岛屿岩岭(51)、广西猫儿山(56)、云南纳板河(60)、浙江清凉峰(62)和福

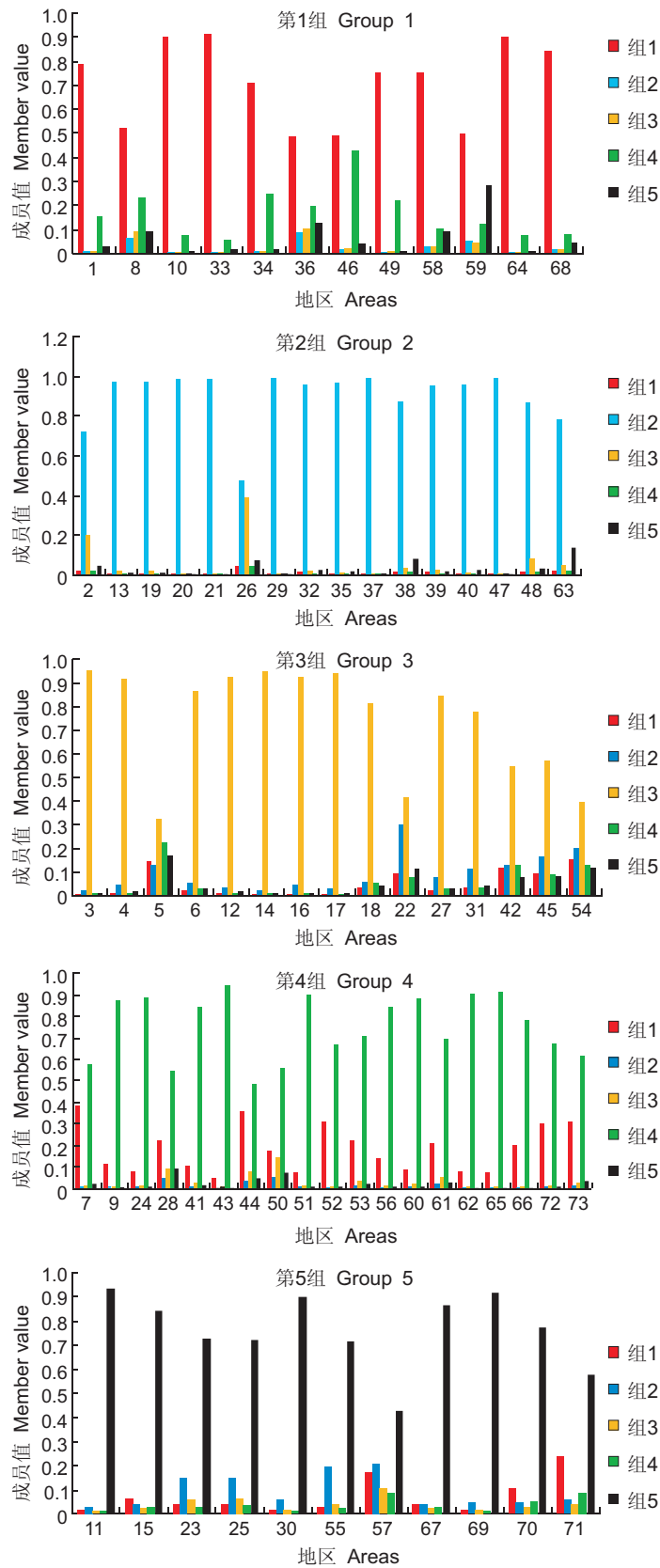
建戴云山(65)是本组中比较典型的山地, 其余山地与第 1 组有相似之处, 模糊均值聚类图也显示了这一特点。该组中, 热带科如蔓藓科、毛锦藓科(Pylaisiadelphaceae)、平藓科、凤尾藓科、白发藓科所占的比例较大; 而温带科的比例明显较小, 有紫萁藓科、柳叶藓科、丛藓科等。第 4 组与第 1 组虽然在藓类构成上相近, 但是在羽藓科、毛锦藓科、凤尾藓科、白发藓科这类热带科的种数构成上存在明显差异, 第 4 组数量明显多于第 1 组, 特别是在广东南岭(9)、石门台(24)、海南尖峰岭(43)、乌岩岭(52)、猫儿山(56)和云南纳板河(60)等山地。

第 5 组包括西北、东北和西南的高海拔山地。这些地理单元植被保护完好, 如长白山、太白山等地区, 藓类物种丰富度在 5 组中最高, 为 229 种。该组中, 一些温带类群, 如曲尾藓科(Dicranaceae)、紫萁藓科、柳叶藓科、棉藓科(Plagiotheciaceae)、提灯藓科、青藓科种数较为丰富。而锦藓科、葫芦藓科、凤尾藓科和白发藓科相对较少。按成员值分析, 新疆喀纳斯(11)、四川王朗(15)、甘肃白龙江流域(30)、吉林长白山(67)和陕西佛坪(69)是本组中比较典型的区域。

2.4 不同科藓类植物地理分布的差异性分析

通过计算藓类植物各科包含的种数在 73 个地区的变异系数, 分析变异系数(Y)与各地区平均种数(X), 得到如下关系: $Y = 1.3598X^{-0.0036}$ ($r = 0.8588$, $n = 61$, $P < 0.001$)。分析结果表明随着各科物种数的增加, 它们在不同地区分布的均匀度逐渐提高, 而对于种数较少的科, 其不同地区的变异程度更为强烈(图 4)。

羽藓科、提灯藓科、真藓科等是种数较大的科, 平均种数分别为 7.16、12.36 和 11.37 种, 它们在不同地区的变异系数比较相近, 约为 0.48、0.49 和 0.49。青藓科和丛藓科种数较大, 分别为 19.08 和 22.12 种, 变异系数约为 0.56 和 0.58。蔓藓科的平均种数为 8.53, 其变异系数为 1.04, 而羽藓科的平均种数为 7.16, 但其变异系数仅为 0.48。相反, 一些种数较少的科, 如硬叶藓科(Stereophyllaceae)、花叶藓科(Calymperaceae)、刺果藓科(Symphyodontaceae)等, 它们在不同地区种数的变异程度较高, 变异系数分别达到 4.27、3.11 和 3.06。



图中数字对应表 1 中地名。
Notes Numbers in the figure correspond to places in Table 1.

图 3 藓类植物各地区隶属于相应分组合理性的成员值

Fig. 3 Member values of areas corresponding to relevant groups revealing division rationality

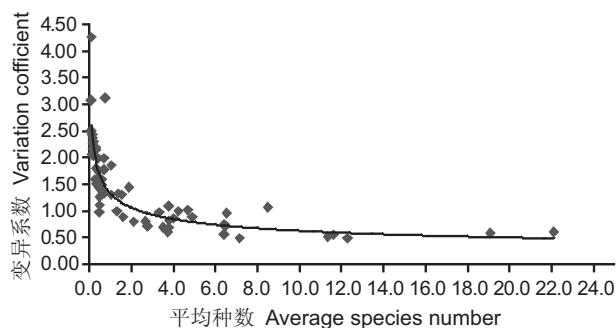


图4 各地区平均种数与变异系数的关系

Fig. 4 Relationship between average species number and variation coefficients

3 讨论

本研究对我国藓类植物73个地区的定量划分与陈邦杰^[1]的研究结果有一定相似性。例如组1相当于华中地区,组2相当于华北-蒙新地区,组4相当于岭南地区。但本研究的地理分区与前人的研究也存在一些差异,例如组3位于人为干扰强烈的区域,此类生境不限于某一气候带,而是在地理距离较远的不同气候带表现出类似的区系特点,例如顶蒴藓类丰富,以丛藓科、真藓科为主等特点。其次,一些距离遥远的山地,却具有相似的区系特点,例如东北地区的长白山、西北地区的新疆喀纳斯、西南地区的四川王朗等,原因一方面与众多苔藓植物具有远距离传播的机制有关,另一方面也因这些山地海拔较高,生境多样,从而造成温带类群分布较多,使它们的藓类植物区系具有趋同的特征。

由于缺乏分类和地理学背景资料,很多苔藓植物被描述为地区特有种。但是,随着苔藓植物分类学研究的深入,已经发现某些特有种具有广阔的地理分布。因此,苔藓植物多数为洲际分布的类群^[28,29]。这些洲际间断分布的物种,多数分布广泛。本研究统计结果显示,我国境内大多数藓类植物仅在某一地区或少数地区报道,表现出“间断”或“特有”的现象。存在这种分布式样的原因可能是不同苔藓植物往往与某种特殊的小生境相关联,虽然气候条件相近,但在微生境上存在差异,从而造成气候地理背景相近的地区藓类组成上存在差异^[30,31]。其次,调查的125个地区从热带到温带、从湿润到干旱气候带,气候类型的差异也会造成地区间苔藓植物组成的差异。此外,研究地区中山地

较多,它们具有相近的气候条件和生境,如安徽黄山、浙江西天目山和清凉峰,但这些地区的Jaccard共有种数最高值仅为0.33。又如浙江百山祖与乌岩岭、九龙山、清凉峰、古田山、凤阳山的种类相似系数最高值仅为0.28,与相邻近的凤阳山共有种相似系数仅为0.22。在人为干扰强烈的环境条件下,藓类植物共有种相似系数较低,如南京与镇江的相似系数为0.33,与常州、杭嘉湖平原、苏州、杭州市区、宜兴、湖州、扬州、南通等地共有种相似系数在0.29~0.21之间。统计125个地区间平均种类组成相似系数约为0.10,即不同地区间约有90%的种类不同。造成这种现状的原因,并不完全归因于气候与微生境的差异,也可能与调查工作的细致程度、种类鉴定误差有关。

以科所含种数对73个藓类丰富地区进行划分的结果表明,我国不同地区藓类植物存在明显的地理差异,可以分成5个基本类型。根据模糊均值聚类分析结果,确定了每类中代表性的地理单元。例如第1组中的四川峨眉山、浙江遂昌的九龙山、凤阳山、贵州梵净山等;第2组中的河北临城小天池、内蒙浑善达克沙地、大青山、七老图山、山西庞泉沟、陕西翠华山、新疆博格达山、宁夏贺兰山等;第3组的江苏宜兴、镇江、南京、苏州、无锡、杭州等;第4组的广东南岭、石门台、海南尖峰岭、浙江岛屿岩岭、广西猫儿山和云南纳板河等;第5组的新疆喀纳斯、四川王朗、甘肃白龙江流域、吉林长白山和陕西佛坪等,它们是开展藓类植物多样性和生态研究的理想区域。

各科在不同地理单元种数组成上的变异系数一定程度上反映了它们对气候的适应程度,变异系数越大,体现其对气候、生境适应的特殊性越明显。变异系数小的类群,往往对气候条件要求不严格,常不偏向于某类气候条件,如羽藓科、提灯藓科和真藓科,它们的地理分布变异系数最高值仅为0.49。同样是大型科,如蔓藓科,其变异系数为1.04,这可能与该科是典型的热带分布类群有关。

虽然各科在种数上的地理分布变异系数差异极大,而且总体上变异系数越大的类群,对气候生境的要求越特殊,但应用这一系数反映藓类植物对气候和生境要求的特殊性时,还需要考虑该科的种数。随着科所含种数的增加,其不同地理单元分布的变异系数急剧下降,数据结构可对变异系数造

成影响,因此需在相近的种数范围内进行比较。如蔓藓科与羽藓科,平均种数分别为 8.53 和 7.16,根据种数与地理分布变异系数的关系,羽藓科的变异系数应比蔓藓科更大,但实际上羽藓科仅为 0.48,远小于蔓藓科的 1.04,这与羽藓科植物分布的气候倾向性远小于蔓藓科有关。

影响某一地区藓类植物丰富度的因素众多,包括面积、生境复杂程度、地理气候特点等。由于不同的鉴定者对物种的认识、观念不一致,也会在一定程度上影响物种鉴定的结果,从而影响物种的丰富度。

参考文献:

- [1] 陈邦杰. 中国苔藓植物生态群落和地理分布的初步报告[J]. 植物分类学报, 1958, 7(4): 271–293.
Chen BJ. Preliminary report of the cenological and geographical study of Chinese moss flora [J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1958, 7(4): 271–293.
- [2] 刘莹, 刘永英, 牛俊英, 张安世, 夏虹, 许会才, 王育水. 苔藓植物资源应用价值及展望[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(28): 9000–9001.
Liu Y, Liu YY, Niu JY, Zhang AS, Xia H, Xu HC, Wang YS. Application value of Bryophyta resources and its prospect [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(28): 9000–9001.
- [3] 高谦. 中国苔藓志: 第 1 卷[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
Gao Q. *Flora Bryophytarum Sinicorum*: Vol. 1 [M]. Beijing: Science Press, 1994.
- [4] 高谦. 中国苔藓志: 第 2 卷[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
Gao Q. *Flora Bryophytarum Sinicorum*: Vol. 2 [M]. Beijing: Science Press, 1996.
- [5] 黎兴江. 中国苔藓志: 第 3 卷[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Li XJ. *Flora Bryophytarum Sinicorum*: Vol. 3 [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [6] 黎兴江. 中国苔藓志: 第 4 卷[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
Li XJ. *Flora Bryophytarum Sinicorum*: Vol. 4 [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [7] 吴鹏程, 贾渝. 中国苔藓志: 第 5 卷[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
Wu PC, Jia Y. *Flora Bryophytarum Sinicorum*: Vol. 5 [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [8] 吴鹏程. 中国苔藓志: 第 6 卷[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
Wu PC. *Flora Bryophytarum Sinicorum*: Vol. 6 [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [9] 胡人亮, 王幼芳. 中国苔藓志: 第 7 卷[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
Hu RL, Wang YF. *Flora Bryophytarum Sinicorum*: Vol. 7 [M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [10] 吴鹏程, 贾渝. 中国苔藓志: 第 8 卷[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
Wu PC, Jia Y. *Flora Bryophytarum Sinicorum*: Vol. 8 [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [11] Gao C, Crosby MR, He S. Moss Flora of China: Vol. 1. Sphagnaceae–Leucobryaceae[M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden, 1999.
- [12] Li XJ, Crosby MR, He S. Moss Flora of China: Vol. 2. Fissidentaceae–Ptychomitriaceae [M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden, 2001.
- [13] Li XJ, Crosby MR, He S. Moss Flora of China: Vol. 3. Grimmiaceae–Tetraphidaceae[M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden, 2003.
- [14] Li XJ, Crosby MR, He S. Moss Flora of China: Vol. 4. Bryaceae–Timmiaceae [M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden, 2007.
- [15] Wu PC, Jia Y, Crosby MR, He S. Moss Flora of China: Vol. 5. Erpodiaceae–Climaciaceae [M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden, 2011.
- [16] Wu PC, Crosby MR, He S. Moss Flora of China: Vol. 6. Hookeriaceae–Thuidiaceae [M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden, 2002.
- [17] Hu RL, Wang YF, Crosby MR, He S. Moss Flora of China: Vol. 7. Amblystegiaceae–Plagiotheciaceae [M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden, 2008.
- [18] Wu PC, Crosby MR, He S. Moss Flora of China: Vol. 8. Sematophyllaceae–Polytrichaceae [M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden, 2005.
- [19] 巨斌. 中国藓类植物部分类群地理分布格局及其分布区预测的研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2014.
Ju B. On geographical distribution patterns and potential region prediction of partial moss taxa in China[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2014.
- [20] 毛俐慧. 澜沧江峡谷(云龙–德钦段)藓类区系研究[D]. 浙江: 浙江师范大学, 2010.
Mao LH. Flora of mosses in Lancangjiang river valley (Yunlong–Deqin Section), Yunnan province, China[D]. Zhejiang: Zhejiang Normal University, 2010.
- [21] 吴文英. 福建戴云山国家级自然保护区藓类植物区系研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2012.
Wu WY. Study on the moss flora of the Daiyunshan National Nature Reserve, Fujian province [D]. Shanghai: East China Normal University, 2012.
- [22] 左勤, 刘倩, 王幼芳. 广西猫儿山自然保护区藓类植物区系研究[J]. 广西植物, 2010, 30(6): 850–858.
Zuo Q, Liu Q, Wang YF. Study on moss flora of Maoershan Nature Reserve, Guangxi [J]. *Guihaia*, 2010, 30(6): 850–858.
- [23] 唐艳雪. 广西十万大山自然保护区苔藓植物区系及地理分布

- 研究[D]. 上海：上海师范大学，2014.
- Tang YX. Studies on flora and geographic distribution of bryophytes in Shiwandashan Natural Reserve, Guangxi province, China[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2014.
- [24] 麻亚鸿. 基于最大熵模型(MaxEnt)和地理信息系统(ArcGis)预测藓类植物的地理分布范围——以广西花坪自然保护区为例[D]. 上海：上海师范大学，2013.
- Ma YH. Applying MaxEnt and ArcGis to predict mosses geographic distribution range—A case study of Huaping Nature Reserve, Guangxi[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2013.
- [25] 刘敏. 秦岭鸡窝子地区藓类植物区系及生态分布格局研究[D]. 西安：西北大学，2011.
- Liu M. Studies on the flora and ecological distribution pattern of moss in the Jiwozi area of Qinling mountain[D]. Xi'an: Northwest University, 2011.
- [26] 李祖凰. 四川省贡嘎山藓类植物区系地理与群落研究[D]. 上海：上海师范大学，2012.
- Li ZH. Studies on the moss flora, geographic distribution and communities in Gongga, Sichuan province, China [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2012.
- [27] 贾渝, 何思. 中国生物物种名录：第 1 卷. 植物：苔藓植物[M]. 北京：科学出版社，2013.
- Jia Y, He S. Species Catalogue of China: Vol. 1. Plants: Bryophytes[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [28] Cao T, Vitt DH. North American-east Asian similarities in the genus *Ptychomitrium* (Bryopsida) [J]. *Bryologist*, 1994, 97: 34-41.
- [29] Shaw KL. The genealogical view of speciation[J]. *J Evolution Biol*, 2001, 14(6): 880-882.
- [30] 任昭杰, 李林, 钟蓓, 郭萌萌, 付旭, 赵遵田. 山东昆嵛山苔藓植物多样性及区系特征[J]. 植物科学学报, 2014, 32(4): 340-354.
- Ren ZJ, Li L, Zhong B, Guo MM, Fu X, Zhao ZT. Bryophyte diversity and floristic characteristics of mountain Kunyu, Shandong, China [J]. *Plant Science Journal*, 2014, 32(4): 340-354.
- [31] 刘艳, 田尚, 皮春燕. 重庆市主城区苔藓植物区系研究[J]. 植物科学学报, 2015, 33(2): 176-185.
- Liu Y, Tian S, Pi CY. Study on the Bryoflora in nine districts of Chongqing city[J]. *Plant Science Journal*, 2015, 33(2): 176-185.

(责任编辑：周 媛)