

辽东半岛仙人洞自然保护区植物区系多样性分析

张 梅

(辽东学院 城市建设学院, 辽宁丹东 118003)

摘 要: 物种多样性分析与研究对于全球生物多样性保护具有重要的意义, 运用植物地理学理论, 结合外业调查、多样性指数、相关分析和聚类模型等方法, 对辽宁仙人洞植物区系多样性进行定量分析, 以揭示山地区系生物多样性的特点及规律。结果表明: (1) 本区野生植物种类组成丰富, 共有维管植物 109 科 379 属 803 种, 其中蕨类植物 13 科 17 属 39 种, 裸子植物 5 科 12 属 18 种, 被子植物 91 科 350 属 746 种, 优势科现象明显, 单种属和少种属占比较高, 表现出一定古老残遗性; 种的区系分布型多样, 区系组成复杂, 但特有现象不明显; 温带成分占主体, 表明本区温带植物区系历史起源。(2) 仙人洞与邻近山地相比较, 植物区系 Shannon-Wiener 指数差异明显 (1.736~2.053), 其中仙人洞和徂徕山较高, 白石砬子和长白山较低, 而 Simpson 指数差异并不明显 (0.711 4~0.825 3)。(3) 经相关性分析, 不同山地植物区系之间相似程度显著 ($P < 0.01$), 相关系数达 0.811~0.997, 聚类分析显示仙人洞、凤凰山、千山、五台山及小五台山区系关系较近, 支持仙人洞划归华北植物区系山地植物亚地区较为合适。

关键词: 植物地理; 区系多样性; 聚类分析; 仙人洞; 辽宁

中图分类号: Q948.5

文献标志码: A

Plant Floristic Diversity in Xianrendong Natural Reserve from Liaodong Peninsula

ZHANG Mei

(Urban Construction College, Eastern Liaoning University, Dandong, Liaoning 118003, China)

Abstract: Understanding diversity is a hot topic in global ecology because of its significance to biodiversity conservation. To investigate the plant floristic diversity of Xianrendong in Liaoning Province, we conducted plot survey, floristic spectrum, diversity index, correlation analysis and cluster analysis. The results showed that: (1) It is abundant in species composition in Xianrendong, vascular plant consists of 803 species in 379 genera and 109 families, among which, 39 species were of fern plants, belonging to 13 families and 17 genera, 18 species were of gymnosperm, belonging to 5 families and 12 genera, and 746 species were of angiosperms, belonging to 91 families and 350 genera. It is notable in dominant family, the single-species and few-species genera of angiosperm are rich, which shows some relict phenomenon. The types of distribution are various and complex, the flora is ancient and it has not obvious phenomenon of endemic genera and species; the dominance of temperate elements is obvious and tropical elements are less. This means that it has something in common with tropical flora. (2) Compared with adjacent mountains, floristic Shannon-Wiener index are obvious differences, while Simpson index are not. Shannon-Wiener index of Xianrendong and Culaishan are quite high, Changbaishan and Baishilazi are not. (3) According to the relativity of different mountains flora, their correlation is significant at the 0.01 level, and the coefficients are between 0.811 and 0.997. Cluster analysis showed similarity between Xianrendong and Fenghuangshan, Qianshan, Wutaishan and Xiaowutaishan. The present data indicated that Xianrendong should belong to North China flora. These findings should guide conservation and management efforts to maintain species diversity.

收稿日期: 2014-03-17; 修改稿收到日期: 2014-06-04

基金项目: 国家自然科学基金 (31170354); 辽东学院科研项目 (2013y015)

作者简介: 张 梅 (1971—), 女, 硕士, 副教授, 主要从事生态学及生物多样性保护研究。E-mail: ddzm0201@163.com

Key words: phytogeography; floristic diversity; cluster analysis; Xianrendong; Liaoning

生物多样性分布格局及其影响因素一直是生物地理学和生态学研究的核心问题之一^[1-2],中国是世界上唯一从热带、亚热带到温带阔叶森林连续分布的国家,是物种避难中心,也是重要维管植物物种分化和进化中心^[3-4]。辽宁仙人洞自然保护区位于辽东半岛南端,气候属于暖温带-温带交汇区域,植被则属于泛北极植物区-中国-日本森林植物亚区,是东北植物区系与华北植物区系的过渡地带,地带性植被为暖温带落叶阔叶林,尚保存着原生型赤松-栎林等植物群落,保存有大面积百年以上的赤松,为本区以及周边各地提供赤松良种创造了良好条件。近年对本区的研究多关注于植物资源、动物资源等^[5-8],植物区系多样性研究未见报道。本研究采用多种方法分析仙人洞植物区系的多样性,探讨半岛山地生物多样性规律特点及与其他华北山地区系的关系,为该区植物多样性保护和资源开发提供科学参考和基础数据。

1 研究区自然概况

辽宁仙人洞国家级自然保护区位于辽东半岛庄河境内,地处 $124^{\circ}53'24''\sim 124^{\circ}3'30''\text{E}$, $39^{\circ}54'00''\sim 40^{\circ}03'00''\text{N}$,南临黄海,北靠千山,地层属华北地层区辽东分区辽南小区,地貌地形大部分属中切割剥蚀低山,地质构造古老,地貌景观奇特,奇峰怪石林立;属暖温带湿润季风气候区,四季温和,雨热同季,光照和降雨集中,具有一定海洋性气候特点,年均气温 8.7°C ,无霜期 181.9 d,年均日照 2 323.5 h,年均相对湿度 69%,年降水量约为 1 000 mm;土壤以石英岩典型棕壤和棕壤性土棕壤为主,属于东部森林土壤区域,土壤质地多为中壤土。土壤具有较高的肥力水平,有利于林木生长;保护区内森林茂密,主要保护原生型赤松林、栎林等植物群落,赤松林是亚洲天然赤松古树群,国家重点保护野生植物有紫杉(*Taxus cuspidata*)、红松(*Pinus koraiensis*)、野大豆(*Glycine soja*)、三桠钓樟(*Lindera obtusiloba*)、海州常山(*Clerodendrum trichotomum*)等 10 余种亚热带植物在区内有分布。

2 研究方法

2.1 区系成分确定

通过查阅保护区考察报告和林相图基础资料及其它文献^[9-12],进行野外调查。采用线路调查、定点

辐射调查、特殊地区重点调查相结合进行植物采集和调查,GPS 野外定位并以标志点为中心辐射状线路调查不同林型和生境,包括保护区赤松林、蒙古栎林以及松栎混交林等,结合不同地貌和海拔生境对局部隐域生境重点调查。依据野外调查和室内鉴定,建立仙人洞保护区植物分布数据库。利用源数据库中物种的分类地位,参照傅沛云等有关中国东北部种子植物种的分布区类型的界定^[13],对每个种进行区系类型统计标识。统计分析研究区各区系成分比重,以了解其主要区系成分组成。同时,根据源数据中各科、属所包含的植物物种数量,分别获得相对比较重要的科、属组成。

2.2 区系分析

聚类模型以属的地理成分为指标^[14-15],求出分布区类型间距离矩阵,设有 n 个 m 维样本数据 x_{ij} : $i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,m$ 。计算各区系样本间标准欧氏距离: $d_{ik} = [\sum_{j=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2]^{1/2}$,把每个分布区类型作为一类,将距离最近的两类归并为一个新类,采用系统聚类中组间均联法作图。

采用多样性指数来衡量不同山地区系多样性^[13]: Shannon-Wiener 指数: $H = -\sum P_i \ln P_i$, Simpson 指数: $D = \sum_{i=1}^m N_i(N_i - 1) / (N(N - 1))$,式中, P_i 为属分布区 i 的相对比例; N_i 为属分布区 i 所在山地森林的各属分布区的比例之和; N 为属分布区 i 的比例。

区系相关性是计算不同植物区系之间的相关系数,并以 99% 的概率保证作为显著性检验指标。所得数据和结果均通过运行 SPSS 18.0 软件获得。

3 结果与分析

3.1 植物区系多样性组成

通过外业调查结合资料统计建立植物区系数据库,保护区共有野生维管植物 803 种,其中野生种子植物 764 种(包括变种、亚种和变型,不含栽培种),隶属 96 科 362 属。其中裸子植物有 5 科 12 属 18 种,赤松(*Pinus densiflora*)、油松(*P. tabulaeformis*)、落叶松(*Larix gmelinii*)是构成针叶林的建群种。双子叶植物 81 科 287 属 629 种,单子叶植物 10 科 63 属 117 种(表 1)。

3.1.1 科的多样性组成 本区维管植物含 20 属以上科有菊科(Compositae, 33 属)、禾本科(Gramine-

ae,32)和豆科(Leguminosae,20)3科 85 属,分别占总科、属数的 2.75%和 22.43%,说明优势科在区系组成中具有重要作用;含 10~19 属的科有唇形科(Lamiaceae,18)、伞形科(Umbelliferae,16)、蔷薇科(Rosaceae,16)、百合科(Liliaceae,12)、毛茛科(Ranunculaceae,10)、石竹科(Caryophyllaceae,10)6科 82 属,分别占总科、属数的 5.50%和 21.64%;含 5~9 属的共 8 科 53 属,占总科、属数的 7.34%和 13.98%;只有 1 个属的科属于单属科,表示演化终极的科,属种已经大量消亡,现存的是残遗种类。1 科 1 属的共有 52 科,占总科数的 47.71%(表 2)。

本区含种数大于等于 20 的有菊科(97 种,下同)、禾本科(46)、蔷薇科(44)、豆科(32)、百合科(31)、毛茛科(30)、唇形科(28)、蓼科(Polygonaceae,27)、伞形科(24),共 9 科 359 种,分别占总科、种数的 8.26%和 44.71%;含种数 10~19 种的科有石竹科(18)、堇菜科(Violaceae,18)、莎草科(Cyperaceae,14)、虎耳草科(14)、杨柳科(Salicaceae,14)、玄参科(Scrophulariaceae,14)、十字花科(Brassicaceae,12)、罂粟科(Papaveraceae,11)、景天科(Crassulaceae,10)、木犀科(Oleaceae,10)等共 10 科 135 种,占总科、种数 9.17%和 16.81%;含 5~9 种的 39 科 155 种,分别占总科、种数 35.78%和 19.30%;有 29 科仅含 1 种,占总科数 26.61%,但种数仅占总种数 3.61%(表 3)。

3.1.2 属的多样性组成 区内含 20 种以上的维管植物有蓼属(*Polygonum*,24),含 10~19 种的有堇菜属(*Viola*,18)、苔草属(*Carex*,11)、蒿属(*Artemisia*,17)3 属,含 5~9 种为乌头属(*Aconitum*,9),含 8 种的属有鳞毛蕨属(*Dryopteris*)、杨属(*Populus*)、紫堇属(*Corydalis*)、委陵菜属(*Potentilla*)、蒲公英属(*Taraxacum*)、栎属(*Quercus*)、柳属(*Salix*)、景天属(*Sedum*)各为 7 种;铁线莲属(*Clematis*)、梨属(*Pyrus*)、豌豆属(*Vicia*)、鹅绒藤属(*Cynanchum*)、婆婆纳属(*Veronica*)、沙参属(*Adenophora*)、风毛菊属(*Saussurea*)、百合属(*Lilium*)等 8 属各含 6 种;榆属(*Ulmus*)、大戟属(*Euphorbia*)、千里光属(*Senecio*)等 12 属各含 5 种;含 2~4 种有 130 属 339 种,占总种数 42.22%;单种属有 216 属,占 56.99%(表 4)。单种属和寡种属代表植物进化的两个相反方向:一个是新属建立,种属尚未分化;另一个是古老属演化终极,只有少数残遗种类。既有许多古老的残遗成分,又有一些年轻成分,反映了仙人洞植物区系在进化水平上的多样性,其中桔梗属(*Platycodon*)、鹅肠菜属(*Myosoton*)、防风属(*Saposhnikovia*)等为世界单型属,说明植物区系分类上的孤立性和演化上的原始性。

3.2 种的区系分布类型多样性

植物种的地理成分能反映较小区域植物区系的性质和特点,根据傅沛云等划分标准,把仙人洞野生

表 1 仙人洞野生维管植物的多样性组成

Table 1 Composition of plant biodiversity of vascular plants in Xianrendong Mountain

类别 Phyto-group	科数 Families	属数 Genus	种数 Species	单属科 Single-genera family	单种属 Single-species genus	少种属(2~4 种) Few-species genus (2~4 species)
蕨类植物 Pteridophytes	13	17	39	9	9	6
裸子植物 Gymnosperms	5	12	18	3	9	3
双子叶植物 Dicotyledons	81	287	629	37	155	106
单子叶植物 Monocotyledons	10	63	117	3	43	15
合计 Total	109	379	803	52	216	130

表 2 仙人洞野生维管植物科内属的组成

Table 2 Genus composition in families of vascular plants in Xianrendong Mountain

科内属数 Genera	科数 Families	占总科数比例 Rate in the flora/%	含属数 Genera	占总属数比例 Rate in the flora/%
≥20	3	2.75	85	22.43
10~19	6	5.50	82	21.64
5~9	8	7.34	53	13.98
2~4	40	36.70	107	28.23
1	52	47.71	52	13.72
合计 Total	109	100	379	100

表 3 仙人洞野生维管植物科内种的组成

Table 3 Species composition in family of vascular plants in Xianrendong Mountain

科内种数 Species	科数 Families	占总科数比例 Rate in the flora/%	含种数 Species	占总种数比例 Rate in the flora/%
≥20	9	8.26	359	44.71
10~19	10	9.17	135	16.81
5~9	39	35.78	155	19.30
2~4	22	20.18	125	15.57
1	29	26.61	29	3.61
合计 Total	109	100	803	100

种子植物 763 种的区系分为 23 个分布类型(表 5)。

本区共有 20 种世界分布类型,大都是一些典型的湿生、水生广布种,还有些随人杂草。如千屈菜(*Lythrum salicaria*)、芦苇(*Phragmites australis*)等。常见的随人杂草有马齿苋(*Portulaca grandiflora*)、龙葵(*Solanum nigrum*)、野稗(*Echinochloa crusgalli*)等。亚寒带-寒带(2~3)性质成分 40 种,占 5.38%(世界分布不计,下同),其中北温带-北极分布型有梅花草(*Parnassia palustris*)、广布野豌豆(*Vicia cracca*)、五福花和砧草(*Galium boreale*)等。西伯利亚分布有东北羊角芹(*Aegopodium alpestre*)、马先蒿(*Pedicularis resupinata*)和小玉竹(*Polygonatum humile*)等。

本区种分布区类型以温带性质(4~19)为主,共计 652 种,占总种数 87.74%,其中以中国-日本分布型(207 种,下同)种数最多,占本区野生植物总种数的 27.86%,如软枣子(*Actinidia arguta*)、狗枣子(*A. kolomikta*)、葛枣子(*A. polygama*)及悬钩子(*Rubus crataegifolius*)等是重要的小浆果资源;其次是东北分布(86)占 11.57%,有鸭绿乌头(*A. jaluense*)、朝鲜老鹳草(*Geranium koreanum*)和朝鲜虎耳草(*Saxifrag fortunei*)等是重要的药用及花卉资源;东北-华北分布(68)占 9.15%,东亚分布(63)占 8.48%,旧世界温带分布(46)占 6.19%;温带亚洲分布(45)占 6.06%,北温带分布(41)占 5.52%,华北分布有辽东乌头(*A. liaotungense*)、元宝槭(*A. truncatum*)、鸭葱(*S. mongolica*)等;其余成分则较少,所占比例为 0.15%~5.27%之间。本区热带分布类型(22~27)仅占 6.86%,如菖蒲(*Acorus calamus*)、香薷(*Elsholtzia ciliata*)、鸭跖草(*Commelina communis*)、莽苳(*Mosla grosseserrata*)等。保护区还有一些重要物种银杏(*Ginkgo biloba*)、东北红豆杉、野大豆、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、黄檗(*Phellodendron amurense*)、钻天柳(*Chosenia arbutifolia*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、翠柏(*Calocedrus macrolepis*)等属于国家重点 I、II 级保护植物;水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)是杉科水杉属唯一现存种,中国特产的孑遗珍贵树种,列为第一批中国国家 I 级保护植物的稀有种类;鹅掌楸(*Liriodendron chinensis*)为中国特有的珍稀植物,国家二级保护植物;独根草(*Oresitrophe rupifraga*)为国家三级保护濒危种;圆柏(*Sabina chinensis*)、百蕊草(*Thesium chinense*)、文冠果(*Xanthoceras sorbifolia*)、山茴香(*Garlesia sinensis*)等均为中国特有植物。

3.3 仙人洞与其它山地区系多样性及相关性

从临近地区选取 10 个山地用属级分布型数据,分析比较植物区系多样性及相关性。区系多样性指

表 5 仙人洞野生种子植物种的分布区类型

Table 5 Areal-type of species of seed plants in Xianrendong Mountain

分布区类型 Type of distribution	种数 Species	占总种数比例 Rate in the flora/%
1. 世界分布 Cosmopolitan	20	—
2. 北温带-北极分布 N. Temp. - Artic	15	2.02
3. 西伯利亚分布 Siberia	25	3.36
4. 北温带分布 North Temp.	41	5.52
5. 旧世界温带分布 Old World Temp.	46	6.19
6. 亚洲-北美分布 Asia-N. Amer.	11	1.48
7. 温带亚洲分布 Temp. Asia	45	6.06
8. 东亚分布 E. Asia	63	8.48
9. 俄罗斯远东区-日本分布 Far East Russia-Japan	3	0.40
10. 中国-日本分布 Sino-Japan	207	27.86
11. 中国东部分布 E. China	50	6.73
12. 东北-华北分布 N. E. China-N. China	68	9.15
13. 华北-朝鲜分布 N. China-Korea	10	1.35
14. 东北分布 N. E. China	86	11.57
15. 华北分布 N. China	13	1.75
16. 大兴安岭分布 Da Xing'anling	1	0.13
17. 中亚分布 C. Asia	1	0.13
18. 阿尔泰-蒙古-达乌里分布 Altai-Mongolia-Dahuria	1	0.13
19. 达乌里-蒙古分布 Dahuria-Mongolia	6	0.81
22. 北温带-热带分布 N. Temp-Trop.	42	5.65
24. 热带亚洲、非洲、南美洲分布 Trop. Asia, Africa -Trop. Amer.	3	0.40
26. 热带亚洲-热带大洋洲分布 Trop. Asia-Trop. Australasia	4	0.54
27. 热带亚洲-热带非洲分布 Trop. Asia-Trop. Africa	2	0.27

注:*. 计算各类型百分比,不包括世界分布型;下同。

Note: *. Calculate rate of flora distribution, cosmopolitan excluded; The same as below.

表 4 仙人洞野生维管植物属内种的组成

Table 4 Species composition in genera of vascular plants in Xianrendong Mountain

类型 Type	含属数 Genera	占总属数比例 Rate in the flora/%	含种数 Species	占总种数比例 Rate in the flora/%
≥20	1	0.26	24	2.99
10~19	3	0.79	46	5.73
5~9	29	7.65	178	22.17
2~4	130	34.30	339	42.22
1	216	56.99	216	26.90
合计 Total	379	100	803	100

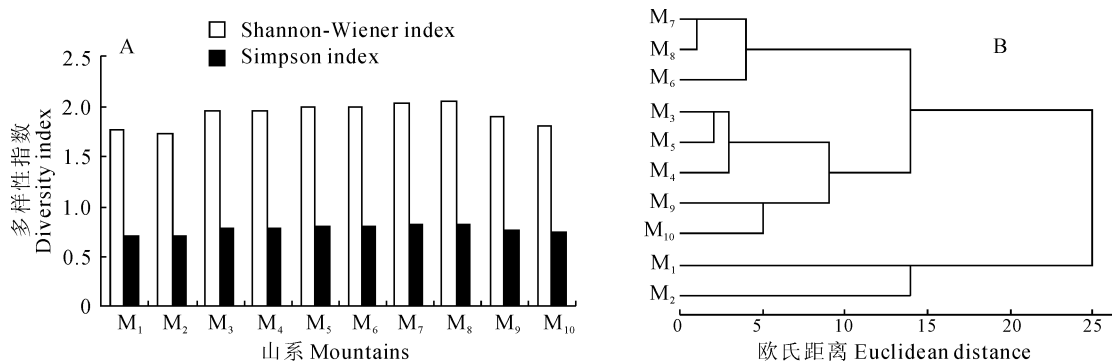


图 1 仙人洞与其它山地区系的多样性指数(A)及聚类树状图(B)
M₁. 长白山;M₂. 白石砬子;M₃. 凤凰山;M₄. 千山;M₅. 仙人洞;M₆. 泰山;M₇. 徂徕山;M₈. 蒙山;M₉. 五台山;M₁₀. 小五台山
Fig. 1 Floristic diversity index(A) and cluster analysis (B)of Xianrendong and others mountains
M₁. Changbaishan; M₂. Baishilazi; M₃. Fenghuangshan; M₄. Qianshan; M₅. Xianrendong; M₆. Taishan;
M₇. Culaishan; M₈. Mengshan; M₉. Wutaishan; M₁₀. Xiaowutaishan

表 6 仙人洞与邻近植物区系的相关性矩阵
Table 6 Floristic correlation matrix of Xianrendong and others mountains

	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀
M ₂	0.972 **	1								
M ₃	0.970 **	0.939 **	1							
M ₄	0.974 **	0.934 **	0.994 **	1						
M ₅	0.969 **	0.936 **	0.997 **	0.996 **	1					
M ₆	0.920 **	0.870 **	0.980 **	0.982 **	0.981 **	1				
M ₇	0.896 **	0.835 **	0.963 **	0.969 **	0.966 **	0.994 **	1			
M ₈	0.878 **	0.811 **	0.955 **	0.960 **	0.960 **	0.990 **	0.998 **	1		
M ₉	0.977 **	0.950 **	0.985 **	0.990 **	0.984 **	0.970 **	0.952 **	0.936 **	1	
M ₁₀	0.977 **	0.957 **	0.991 **	0.993 **	0.989 **	0.971 **	0.954 **	0.939 **	0.995 **	1

注: ** .代表在 0.01 水平上显著相关(双侧)。
Note: ** . Correlation significance at 0.01 level(2-tailed).

数可以表征研究区种子植物属级多样性及属间的均匀程度。相邻植物区系 Shannon-Wiener 指数差异明显(1.736~2.053),其中徂徕山和仙人洞较高,白石砬子和长白山较低;而各区系 Simpson 指数差异并不显著(0.711 4~0.825 3)(图 1,A)。聚类分析中当欧式距离取 15 时,仙人洞及其周边植物区系可分为 2 组(仙人洞、凤凰山、千山、五台山、小五台山、泰山、徂徕山和蒙山为一组;长白山和白石砬子为一组),也即东北植物区系和华北植物区系。当欧式距离取 14 时,可分为 4 组(蒙山和徂徕山先聚合,再与泰山为一组;而仙人洞先与凤凰山相聚,再与千山聚合,最后与五台山和小五台山聚为一组;长白山、白石砬子各为一组),仙人洞、凤凰山、千山和五台山、小五台山聚为一组属华北植物区系,泰山、徂徕山和蒙山为山东丘陵亚地区也属华北植物区系,而白石砬子与长白山位于长白植物区系南北两地,以上聚合过程总体反映了东北、华北和华东植物区系从北到南相似性变化的纬度分布格局(图 1,B)。相关分

析表明不同山地植物区系的相似程度规律性比较明显(图 1),相关系数为 0.811~0.997,仙人洞与凤凰山、千山相关性较大,而与蒙山、泰山、徂徕山相关性较小(表 6)。

4 结论及讨论

辽东半岛是东北地区生物多样性较为丰富的地区之一,本研究数量化分析了仙人洞植物区系的多样性,本区共有维管植物 109 科 379 属 803 种,区系成分较为丰富多样,区系联系广泛。区系以被子植物、双子叶植物为主;植物组成优势科现象明显,而本区单(寡)种属达 91.29%,表征本区植被的古老残遗性。单(寡)种属代表着植物古老属的终结和新属的建立两个相反的方向,反映植物类群的演化阶段和过程,说明本区有适合古老残遗属的保存和新建属迁移定居与分化的生态环境^[16]。科、属组成表现出明显优势性,较少的大科含有较多的属种,较少的小科含有较少的属种;种的地理成分共有 23 种类

型,以温带性质为主,占 93.70%,温带种占 6.30%,植物特有现象不明显,符合暖温带北部的华北植物区系的特点^[17]。

多样性指数反映各区系属级类型组成的多样性及属间的均匀程度。本研究中,仙人洞等区系间 Simpson 多样性指数差异并不明显(0.711 4~0.825 3),而 Shannon-Wiener 多样性指数差异明显(1.736~2.053),其中泰山、徂徕山和蒙山较高,白石砬子和长白山较低;不同山地植物区系之间相似程度显著($P<0.01$),相关系数在 0.811~0.997 之间,仙人洞与凤凰山、千山相关性较大,与蒙山和徂

徕山相关性较小;白石砬子与泰山、徂徕山、蒙山相关性较小。本区与其他植物区系间的相似性规律明显,随着纬度的降低,温带属成分逐渐降低,而热带属成分则逐渐升高,可见,纬度是影响不同地域区系分布的重要因素^[18-19]。纬度变化中影响各山地水、能量分布可能是决定区系地理分布格局的直接原因^[20]。本文以辽东和山东半岛及华北山地区系为例,证明了仙人洞与凤凰山、千山、五台山、小五台山的相似性,并支持仙人洞及以上山地同属华北植物区系^[21],这可能与本区地质历史环境形成与华北地貌形成有一定的关系。

参考文献:

- [1] GASTON K J. Global patterns in biodiversity[J]. *Nature*, 2000, **405**(6 783): 220—227.
- [2] LE ROUX P C, LENOIR J, PELLISSIER L, *et al.* Horizontal, but not vertical, biotic interactions affect fine-scale plant distribution patterns in a low-energy system[J]. *Ecology*, 2013, **94**(3): 671—682.
- [3] AXELROD D I, AL-SHEHBAZ I, RAVEN P H. History of the modern flora of China[M]//ZHANG A, WU S. Floristic characteristics and diversity of East Asian plants. Beijing: China Higher Education Press, 1998: 43—55.
- [4] QIAN H. A comparison of the taxonomic richness of temperate plants in East Asia and North America. American[J]. *Journal of Botany*, 2002, **89**: 1 818—1 825.
- [5] LI L(李 乐), WAN D M(万冬梅), LIU H(刘 鹤), *et al.* Nest site selection and reproductive success of *Parus varius* in man-made nest boxes[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2011, **31**(24): 7 492—7 499(in Chinese).
- [6] ZHANG X M(张晓明), WANG Y T(王月婷), *et al.* Study on the diversity of medicinal vascular plants in Xianrendong National Nature Reserve[J]. *Jilin Normal University Journal*(Nat. Sci. Ed.) (吉林师范大学学报·自然科学版), 2013, **1**: 27(in Chinese).
- [7] 刘子成. 利用 3S 技术评价辽宁仙人洞国家级保护区金雕潜在悬崖巢址适宜度[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2012.
- [8] ZHANG H Q(张恒庆), GAO S(高 嵩), *et al.* Analysis of genetic diversity of *Pinus koraiensis* plantation in Zhuanghe with technique of ISSR[J]. *Journal of Liaoning Normal University*(Nat. Sci. Ed.) (辽宁师范大学学报·自然科学版), 2009, **32**(3): 348—350(in Chinese).
- [9] LIU Q R(刘全儒), ZHANG CH(张 潮), KANG M Y(康慕谊). A study on the flora of spermatophyte in Xiaowutai Mountains[J]. *Bulletin of Botanical Research*(植物研究), 2004, **24**(4): 499—506(in Chinese).
- [10] RU W M(茹文明), ZHANG F(张 峰). Analysis of seed flora of Wutai Mount in Shanxi[J]. *Bulletin of Botanical Research*(本植物研究), 2000, **20**(1): 36—47.
- [11] ZHAO Z T(赵遵田), WANG X H(王锡华), LI J D(李京东), *et al.* Study on the seed flora of Mengshan in Shandong Province[J]. *Shandong Science*(山东科学), 2005, **18**(4): 42—51.
- [12] 王振杰. 河北山地高等植物区系研究[D]. 石家庄: 河北师范大学 2006.
- [13] 傅沛云, 曹 伟. 中国东北部种子植物种的分布区类型[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2003.
- [14] LIU L(刘 利), ZHANG M(张 梅), KANG F F(康峰峰). A comparison of the floras of Bashilazi Reserve and Adjacent Mountains[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2013, **33**(3): 707—712(in Chinese).
- [15] ZHOU SH Q(周世强), GU X D(古晓东), HUANG J Y(黄金燕). Quantitative analysis of the floristic characteristics of giant pandas habitats in different mountains[J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*(四川林业科技), 2006, **27**(1): 14—18.
- [16] KUANG B G(旷柏根), XIA J L(夏江林), ZHAO CH(赵 成), *et al.* Analysis on feature of single-species genera of seed plant flora in Nanyue Hengshan[J]. *Hunan Forestry Science & Technology*(湖南林业科技), 2012, **39**(4): 10—15(in Chinese).
- [17] WANG H SH(王荷生). The evolution and sources of North China Flora[J]. *Acta Geographica Sinica*(地理学报), 1999, **54**(3): 213—223(in Chinese).
- [18] YAN SH X(闫双喜), YAN L J(闫丽君), ZHANG ZH X(张志翔). Spermatophyte flora of Boshan Mountain in Henan Province[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*(浙江农林大学学报), 2011, **28**(3): 391—399(in Chinese).
- [19] VISSER V, CLAYTON W D, SIMPSON D A, *et al.* Mechanisms driving an unusual latitudinal diversity gradient for grasses[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2014, **23**(1): 61—75.
- [20] QIAN H, WANG S, LI Y, *et al.* Disentangling the relative effects of ambient energy, water availability, and energy-water balance on pteridophyte species richness at a landscape scale in China[J]. *Plant Ecology*, 2012, **213**(5): 749—756.
- [21] LU F J(鲁法军), DU X Y(杜晓艳), QU CH Y(曲畅游), *et al.* Further discussion on the Shandong and Liaodong Peninsula floras[J]. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 2005, **29**(3): 516—518(in Chinese).