

辽宁老秃顶子自然保护区植物区系多样性

刘 利¹, 张 梅¹, 韩海荣²

(1 辽东学院, 辽宁丹东 118003; 2 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要:通过野外实地调查,利用植物区系谱、多样性指数、相关分析和聚类模型等方法,对辽宁老秃顶子植物区系多样性进行量化分析,揭示山地生物多样性特点、规律以及与周边植被生态的关系。结果表明:(1)辽宁老秃顶子自然保护区种子植物种类组成丰富,共有野生种子植物 123 科 429 属 1 006 种,且优势科现象明显,单种属和少种属占比较高,表现出一定古老残遗性。(2)老秃顶子自然保护区植物种的区系分布型多样,区系组成复杂,来源较广泛,具有一定古老性,但植物特有现象不明显,以温带性质分布种为主,符合暖温带北部的华北植物区系特点。(3)老秃顶子山与相邻 9 个山地比较,植物区系 Shannon-Wiener 指数差异明显(1.736~2.259),其中庐山和徂徕山的 Shannon-Wiener 指数较高,而白石砬子和长白山的较低;10 个山地的 Simpson 指数差异不显著(0.711 4~0.871 5)。(4)相关性分析显示,10 个不同山地植物区系之间的相似程度显著,相关系数达 0.617~0.995;聚类分析显示,老秃顶子山与千山、凤凰山的植物区系关系较近。本研究结果支持老秃顶子山、千山和凤凰山共同划归华北植物区系的观点,认为把老秃顶子山保护区植物区系划归于华北山地植物亚地区较为合理。

关键词:区系多样性;定量分析;聚类分析;老秃顶子;辽宁

中图分类号: Q948.5

文献标志码: A

Plant Floristic Diversity of Laotudingzi in Liaoning

LIU Li¹, ZHANG Mei¹, HAN Hairong²

(1 Eastern Liaoning University, Dandong, Liaoning 118003, China; 2 The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: This study aimed to uncover montane biodiversity and relations with the surrounding vegetation. Based on plot survey, floristic spectrum, diversity index, correlation and cluster analysis, plant floristic diversity of Laotudingzi were analyzed. The results showed that: (1) The occurrence of 1 006 wild seed plant species demonstrates that Laotudingzi have a high floristic biodiversity. It is notable in dominant family, the single-species and few-species genera of angiosperm are rich and it shows some relict phenomenon. (2) The distribution types of species 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, it fits North China flora from warm temperate. (3) Compared with adjacent mountains, floristic Shannon-Wiener index are obviously different from other 9 mountains, while simpson index are not. Shannon-Wiener index of Lushan and Culaishan are quite high, while Baishilazi and Changbaishan are low. (4) According to the relativity of different mountains flora, 10 mountains correlation is significant at the 0.01 level, and the coefficients are between 0.617 and 0.995. Greater similarity was found among Laotudingzi, Qianshan and Fenghuangshan by cluster analysis, and they are all classified as North China flora. The present date indicated Laotudingzi should belong to subarea of North China montane flora.

收稿日期: 2013-07-01; 修改稿收到日期: 2013-09-06

基金项目: 国家自然科学基金(31170354); 辽东学院科研项目(2013y032)

作者简介: 刘 利(1970—), 男, 博士, 副教授, 主要从事生态学及生物多样性保护研究。E-mail: ddll70@163.com

Key words: floristic diversity; quantitative analysis; cluster analysis; Laotudingzi; liaoning

植物区系研究能够揭示植物物种的地理分布、形成过程及分布格局与气候之间的关系^[1-2]。老秃顶子位于辽东山区中朝边境鸭绿江中下游地区,按照中国植被区划,该区植被属泛北极植物区—中国—日本森林植物亚区,地带性植被为温性落叶阔叶林,虽属中山地带,但具有明显的植物垂直分布,是辽宁四个典型中山带谱之一,较高的山顶海拔多在 1 100~1 300 m,是辽宁海拔最高的区域,是辽东山地中唯一拥有明显植被垂直带谱的中山山体,尚保存有较为完整的原始森林生态系统。近年对本区的研究多关注于植物生态^[3-4]、生物资源^[5-6]等方面,植物区系的多样性研究未见报道。本研究采用定量方法深入分析老秃顶子植物区系多样性,揭示山地生物多样性特点、规律及与周边植被生态的关系,能深刻认识地区植被性质功能,对资源可持续利用、构建和谐的人与自然关系及维护边境区域生态安全等有重要科学价值和现实意义。

1 研究区自然概况

辽宁老秃顶子国家级自然保护区位于桓仁县与新宾县交界处,124°41′13″~125°5′15″E,41°11′11″~41°21′34″N,总面积 15 217.3 hm²,属长白山脉龙岗支脉向西南的延续,地貌因受中生代华北地壳运动—燕山运动的影响,地层曾发生倾斜和断裂,岩浆侵入地势升高,形成主峰老秃顶子海拔 1 367 m,以其为中心的丫字形山脉向外延伸,山势曲折,沟壑纵横。局部地段又因受第四纪冰川气候影响,形成大面积乱石窖地貌。气候属大陆性季风气候,冷凉湿润,年均气温 6.3℃,年降水量 870~1 060 mm,无霜期 133 d。水平地带性原生型植被为红松、阔叶混交林,垂直地带性质为北温性云冷杉暗针叶林,独有的中山植被垂直分布以北坡表现明显:海拔 950 m 以下为落叶阔叶林;950~1 050 m 为云冷杉和枫桦等共建种组成的混交林;1 050~1 180 m 为云冷杉暗针叶林;1 180~1 250 m 为岳桦林;1 250~1 290 m 为中山灌丛;1 290 m 以上为中山草甸,分布有长白山金莲花(*Trollius japonicus*)、白山耧斗菜(*Aquilegia japonica*)等植物。

2 研究方法

2.1 外业调查与区系分析

通过查阅资料和野外调查,在 2010~2012 年植

物生长季,采用线路调查、定点辐射状调查、特殊地区重点调查相结合进行植物调查和采集,GPS 野外定位,以标志点为中心辐射状线路调查不同生境,范围包括保护区针叶林、阔叶林和针阔叶混交林等,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结果,建立植物多样性数据库。采用植物区系地理方法研究植物种的区系地理成分^[7-8]。

2.2 植物区系谱及多样性指数

植物区系谱反映各种区系成分对其区系总体的贡献,各区系成分所占比率可由 $FER = (FE_i/T) \times 100\%$ 求得;式中 FE_i 为某区系第 i 个区系成分的分类群数(如属或种), $(i=1,2,3,\dots,n)$, T 为某区系各种区系成分分类群总数,即: $T = \sum_{j=1}^M FE_i$ 。采用区系多样性指数作为各区系定量参数^[9]:

Shannon-Wiener 指数: $H = -\sum P_i \ln P_i$

Simpson 指数: $D = \sum_{j=1} N_i(N_i - 1) / (N(N - 1))$

式中, P_i 为属级分布区 i 的相对百分率; N_i 为属级分布区 i 所在区系各个属级分布区的百分率之和; N 为属级分布区 i 的百分率。

2.3 聚类模型及区系相关性

区系相似性是根据聚类分析构建数学模型^[10],求得类间距离矩阵,设有 N 个 M 维样本数据 X_{ij} ; $i=1,2,\dots,N$; $j=1,2,\dots,M$ 。计算样本间的标准欧氏距离的平方, $D_{jk}^2 = \sum_{j=1}^M (X_{ij} - X_{kj})^2 / S_j^2$,其中 S_j^2 为第 j 个变量的方差。把每个样本看成一类,将相距最近的两类合并成一个新类。本研究应用系统聚类中的组间均连法研究植物区系间相似性,通过聚类分析作出树状图。区系相关性分析是计算不同植物区系之间的相关系数,以 99% 的概率保证作为显著性检验指标。所得数据和结果均在 SPSS 18.0 软件中进行并完成。

3 结果与分析

3.1 植物组成的多样性

通过野外调查统计并建立植物区系数据库,保护区共有野生维管植物 1 066 种,其中野生种子植物 1 006 种(包括变种、亚种和变型,不含栽培种),隶属 101 科 401 属。包含裸子植物有 4 科 9 属 23 种,被子植物 97 科 392 属 983 种,单种属和少种属占有比例较大(表 1)。

3.1.1 科的多样性组成 调查统计结果(表 2)显示,研究区种子植物含 20 属以上科有菊科(Compositae,39 属,以下同)、禾本科(Gramineae,27)和豆科(Leguminosae,22)3 科 88 属,分别占总科、属数的 2.97%和 21.95%;含 10~19 属的科有伞形科(Umbelliferae,18)、唇形科(Lamiaceae,18)、蔷薇科(Rosaceae,17)、毛茛科(Ranunculaceae,17)、百合科(Liliaceae,16)、石竹科(Caryophyllaceae,11)、虎耳草科(Saxifragaceae,10)7 科 107 属,分别占总科、属数的 8.91%和 32.42%;含 5~9 属的共 5 科 29 属,占总科、属数的 4.95%和 7.23%;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 46 科,占总科数的 45.54%。

本区含种数≥20 的有菊科(116 种,下同)、蔷薇科(60)、毛茛科(57)、禾本科(54)、百合科(42)、豆科(38)、伞形科(35)、莎草科(Cyperaceae,34)、唇形科(32)、蓼科(Polygonaceae,24)、虎耳草科(27)、杨柳科(Salicaceae,26)、石竹科(25)、堇菜科(Violaceae,

20)、忍冬科(Caprifoliaceae,20),共 15 科 610 种,分别占总科、种数的 14.85%和 60.63%;含种数 10~19 种的科有十字花科(Brassicaceae,18)、松科(Pinaceae,17)、兰科(Orchidaceae,16)等共 14 科 183 种,占总科、种数 13.86%和 18.19%。含 2~9 种的 45 科 186 种,分别占总科数、总种数 44.45 和 18.49%。有 27 科仅含 1 种,占总科数 26.74%,含种数仅占总种数 2.68%(表 3)。

3.1.2 属的多样性组成 本区含 20 种以上的有堇菜属(*Viola*,20)、苔草属(*Carex*,20)、蒿属(*Artemisia*,20),含 10~19 种 11 属,有柳属(*Salix*,19)、蓼属(*Polygonum*,19)、委陵菜属(*Potentilla*,15)、早熟禾属(*Poa*,13)等;含 5~9 种为铁线莲属(*Clematis*)9 种,松属(*Pinus*)、龙胆属(*Gentiana*)、鬼针草属(*Bidens*)各为 8 种,栎属(*Quercus*)、钻天柳属(*Chosenia*)、繁缕属(*Stellaria*)等 8 属各含 7 种,桦属(*Betula*)、银莲花属(*Anemone*)、唐松草属(*Thalictrum*)等 13 属各含 5 种;含 2~4 种有 151 属 390 种,单种属有 202 属,占总属数的 50.37%,4 种以下

表 1 老秃顶子植物区系多样性基本组成

Table 1 Composition of plant biodiversity in Laotudingzi flora

类群 Phyto-group	科数 Family	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	19	31	60	14	10	15
裸子植物 Gymnosperms	4	9	23	2	4	3
被子植物 Angiosperms	97	392	983	42	200	151
合计 Total	120	432	1 066	—	—	—

表 2 老秃顶子野生种子植物科内属的组成

Table 2 Genera from families in Laotudingzi flora

科内属数 Genus	科数 Family	占总科数的比例 Rate in the flora/%	属数 Genus	占总属数的比例 Rate in the flora/%
≥20	3	2.97	88	21.95
10~19	9	8.91	130	32.42
5~9	5	4.95	29	7.23
2~4	38	37.62	108	26.93
1	46	45.54	46	11.47
合计 Total	101	100	401	100

表 3 老秃顶子野生种子植物科内种的组成

Table 3 Species from families in Laotudingzi flora

科内种数 Species	科数 Family	占总科数的比例 Rate in the flora/%	种数 Species	占总种数的比例 Rate in the flora/%
≥20	15	14.85	610	60.63
10~19	14	13.86	183	18.19
2~9	45	44.55	186	18.49
1	27	26.74	27	2.68
合计 Total	101	100	1006	100

的属含种数占总种数 58.85%,可能与本区区系的过渡性有关(表 4)。其中桔梗属(*Platycodon*)、鹅肠菜属(*Myosoton*)、防风属(*Saposhnikovia*)等为世界单型属。

3.2 植物区系的多样性

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^[7]方法可将老秃顶子野生种子植物种的区系分为 22 个分布类型(表 5)。

本区共有 21 种世界分布类型种,大都是一些典型的湿生、水生广布种,如千屈菜(*Lythrum salicar-*

ia)、灯心草(*Jnucus effusus*)等。常见的随人杂草有大花马齿苋(*Portulaca grandiflora*)、茵草(*Beckmannia syzigachne*)和野稗(*Echinochloa crusgalli*)等。亚寒带-寒带性质成分 79 种,占 8.03%(世界分布不计,下同),其中北温带-北极分布型有梅花草(*Parnassia palustris*)、野芝麻(*Lamium album*)和砧草(*Galium boreale*)等。西伯利亚分布有粉枝柳(*S. rorida*)、狭叶荨麻(*Urtica angustifolia*)、圆叶鹿蹄草(*P. rotundifolia*)和小玉竹(*Polygonatum humile*)等。

表 4 老秃顶子野生种子植物属内种的组成
Table 4 Species from genus in Laotudingzi flora

属内种数 Species	属数 Genus	占总属数的比例 Rate in the flora/%	种数 Species	占总种数的比例 Rate in the flora/%
≥20	3	0.75	60	5.96
10~19	11	2.74	146	14.51
5~9	34	8.48	208	20.68
2~4	151	37.66	390	38.77
1	202	50.37	202	20.08
合计 Total	401	100	1 006	100

表 5 老秃顶子种子植物种的分布区类型
Table 5 Areal-type of species of seed plants in Laotudingzi 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	21	—
2. 北温带-北极分布 N. Temp.-Arctic	29	2.95
3. 西伯利亚分布 Siberia	50	5.08
4. 北温带分布 North Temp	61	6.19
5. 旧世界温带分布 Old World Temp	66	6.70
6. 亚洲-北美分布 Asia-N. Amer	16	1.62
7. 温带亚洲分布 Temp. Asia	73	7.41
8. 东亚分布 E. Asia	77	7.82
10. 中国-日本分布 Sino-Japan	246	24.98
11. 中国东部分布 E. China	41	4.16
12. 东北-华北分布 N. E. China-N. China	86	8.73
13. 华北-朝鲜分布 N. China-Korea	4	0.41
14. 东北分布 N. E. China	147	15.92
15. 华北分布 N. China	39	3.95
17. 中亚分布 C. Asia	2	0.20
18. 阿尔泰-蒙古-达乌里分布	1	0.10
19. 达乌里-蒙古分布 Dahuria-Mongolia	5	0.51
22. 北温带-热带分布 N. Temp-Trop	37	3.77
23. 泛热带分布 Pantropic	2	0.20
24. 热带亚洲、非洲、南美洲分布	1	0.10
25. 旧世界热带分布 Old World Tropic	1	0.10
26. 热带亚洲-热带大洋洲分布 Trop. Asia-Trop. Africa	1	0.10

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.

本区种分布区类型以温带性质为主,共计 864 种,占野生植物总种数 87.70%,其中所含中国-日本分布型(246 种,下同)种数最多,占总种数 24.98%,如杜松(*Juniperus rigida*)、栓皮春榆(*Ulmus japonica*)、毛榛子(*C. mandshurica*)、五味子(*Schisandra chinensis*)等;其次是东北分布(147)占 15.92%,有兴安落叶松(*L. gmelini*)、青楷槭(*A. tegmentosum*)和林大戟(*E. lucorum*)等。东北-华北分布(86)占 8.73%,东亚分布(77)占 7.82%,温带亚洲分布(73)占 7.41%,北温带分布(61)占 6.19%,旧世界温带分布(66)占 6.70%,华北分布(39)占 3.95%,有油松、槲栎(*Quercus aliena*)、玉铃花(*Styrax obassia*)、天女木兰(*Magnolia sieboldii*)等。其余成分较少,比例在 0.10%~3.77%之间。本区热带分布类型仅占 4.27%,如蛇莓(*Duchesnea indica*)、水蜈蚣(*Kyllinga brevifolia*)和石胡荽(*Centipeda minima*)等。本区自然地理、气候环境对植物有一定程度南北兼容,但缺乏特有植物的孕育条件。

3.3 植物区系谱多样性及相似性

以老秃顶子与其临近地区共 10 个山地比较植物区系谱、区系多样性、相关性及探讨相互关系

[10-11]。不同山地植物区系谱的相似程度规律性比较明显(图 1)。

长白山、白石砬子等热带成分($F_2 \sim F_7$)相对比例较低,而温带属($F_8 \sim F_{14}$)的比例相对较高,纬度较低的庐山和五台山则与此相反。本区山地植物属的分布区包含有 15 个分布区类型,地理成分来源广泛,北温带分布成分(F_8)明显高于其他地区,具有明显的温带属性。

区系多样性指数表征研究区种子植物属数的多少,也反映物种多样性组成及属间均匀程度。相邻植物区系多样性指数略有不同,Shannon-Wiener 指数差异明显(1.736~2.259),其中庐山、徂徕山和泰山的指数值较高,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 4~0.871 5)(图 2)。由图 3 聚类图可知:当欧式距离取 14 时,老秃顶子及其相邻植物区系可分为 3 组(老秃顶子、凤凰山、千山、五台山、小五台山、泰山和徂徕山为一组;长白山和白石砬子为一组,庐山独为一组),也即:东北植物区系、华北植物区系和华东植物区系。当欧氏距离取 5 时,可分为 5 组(凤凰山、千山和老秃顶子先聚一起,再与五台山和小五台山聚为一组;泰山和徂徕山为一组;长白山、白石砬子、庐山各为一组),

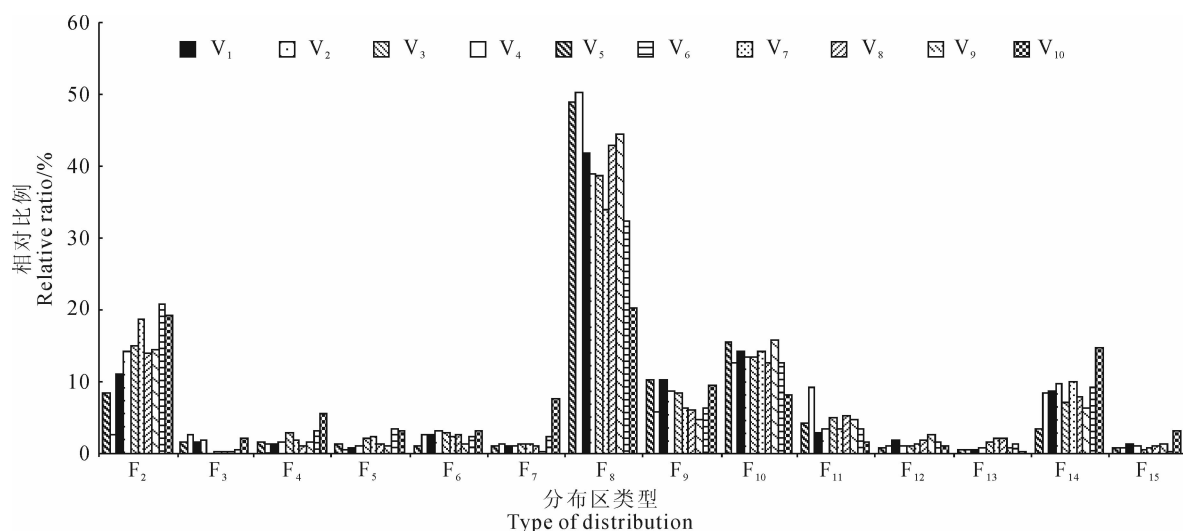


图 1 老秃顶子与邻近植物区系谱的比较

$F_2 \sim F_{15}$ 分别表示泛热带分布、热带亚洲至热带美洲间断分布、旧世界热带分布、热带亚洲至热带大洋洲分布、热带亚洲至热带非洲分布、热带亚洲分布、北温带分布、东亚和北美间断分布、旧世界温带分布、温带亚洲分布、地中海、西亚至中亚分布、中亚分布、东亚分布及中国特有属的数量占总属数的百分比; V_1 . 老秃顶子; V_2 . 凤凰山; V_3 . 千山; V_4 . 白石砬子; V_5 . 长白山; V_6 . 徂徕山; V_7 . 泰山; V_8 . 小五台山; V_9 . 五台山; V_{10} . 庐山; 下同

Fig. 1 Floristic spectrum of Laotudingzi and its adjacent mountains

$F_2 \sim F_{15}$ represent for rate in the flora of Pantropic, Trop. Asia & Trop. Amer. Disjuncted, Old World Tropics, Trop. Asia & Trop. Australasia, Trop. Asia to Trop. Africa, Trop. Asia, North Temperate, East Asia and North America disjuncted, Old World Temperate, Temperate Asia, Mediterranean, W. Asia to C. Asia, C. Asia, E. Asia, Endemic to China; V_1 . Laotudingzi; V_2 . Fenghuangshan; V_3 . Qianshan; V_4 . Baishilazi; V_5 . Changbaishan; V_6 . Culaishan; V_7 . Taishan; V_8 . Xiaowutaishan; V_9 . Wutaishan; V_{10} . Lushan; The same as below

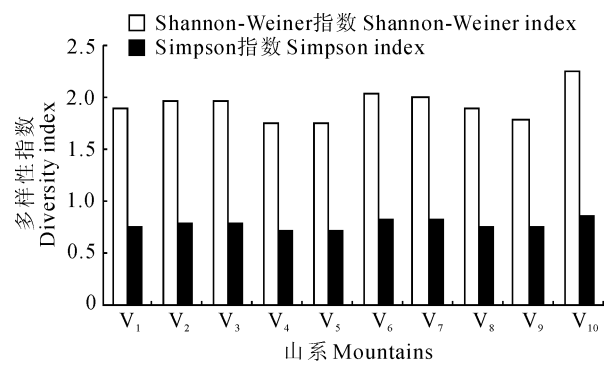


图 2 老秃顶子与邻近植物区系多样性指数
Fig. 2 Floristic diversity index of Laotudingzi
and its adjacent mountains

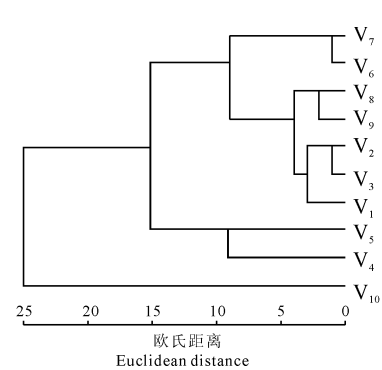


图 3 老秃顶子及邻近植物区系聚类分析
Fig. 3 Cluster analysis of Laotudingzi
and its adjacent mountains

表 6 老秃顶子与邻近植物区系的相关性矩阵

Table 6 Floristic correlation matrix of Laotudingzi and its adjacent mountains

	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉	V ₁₀
V ₂	0.994 **	1								
V ₃	0.987 **	0.994 **	1							
V ₄	0.959 **	0.939 **	0.934 **	1						
V ₅	0.987 **	0.970 **	0.974 **	0.972 **	1					
V ₆	0.933 **	0.963 **	0.969 **	0.835 **	0.896 **	1				
V ₇	0.956 **	0.980 **	0.982 **	0.870 **	0.920 **	0.994 **	1			
V ₈	0.988 **	0.991 **	0.993 **	0.957 **	0.977 **	0.954 **	0.971 **	1		
V ₉	0.983 **	0.985 **	0.990 **	0.950 **	0.977 **	0.952 **	0.970 **	0.995 **	1	
V ₁₀	0.769 **	0.817 **	0.802 **	0.617 *	0.685 **	0.890 **	0.865 **	0.770 **	0.751 **	1

注: ** 和 * 分别代表在 0.01 和 0.05 水平上显著相关(双侧)。
Note: ** and * stand for correlation significance at level 0.01 and 0.05 (2-tailed), respectively.

老秃顶子、凤凰山、千山和五台山、小五台山聚为一组属华北植物区系,泰山和徂徕山为山东丘陵亚地区,而白石砬子与长白山位于东北植物区系南北两地,就其种类组成而言比较接近,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。相关分析结果(表 6)表明,老秃顶子山及其相邻 10 个植物区系间相似程度较高(相关系数 0.617~0.995),其中老秃顶子与凤凰山、千山、小五台山相关性较大,与徂徕山、泰山、庐山相关性较小。

4 结论及讨论

综上所述,通过多种方法数量化研究了老秃顶子植物区系的多样性,本区共有野生种子植物 1 006 种,123 科,429 属,经分析得出以下结论:老秃顶子自然保护区野生植物种类组成丰富多样,植物组成优势科现象明显,单种属和少种属占据比率较高,表现出一定古老残遗性,反映出本区存在着有利于古老残遗植物属的保存和新建属迁移定居与分化的生态环境^[12]。科、属组成表现出明显优势性,较少的

大科含有较多的属种,较多的小科含有较少的属种。本区以温带性质分布种为主,种的地理成分多样而丰富,植物特有现象不明显,符合暖温带北部的华北植物区系特点。

区系多样性指数反映组成植物种类的多样性及植物属间的均匀程度。各山地植物区系 Shannon-Wiener 多样性指数差异明显(1.736~2.259),其中庐山、徂徕山和泰山较高,白石砬子和长白山较低;而各山地区系 Simpson 多样性指数差异并不显著(0.711 4~0.871 5)。不同山地植物区系之间相似程度显著($P<0.01$),相关系数在 0.617~0.995 之间,老秃顶子山与凤凰山、千山、小五台山相关性较大,与徂徕山、泰山、庐山相关性较小,这和基于种的相似系数的研究结果类似^[11],而白石砬子和凤凰山、千山相关性较小,而与长白山的相关性则较大。通过老秃顶子和邻近山地聚类分析探讨植物区系间的相似性,显示不同气候带植物区系谱的相似程度有明显地规律性,随着纬度的降低,温带属成分依次降低,而热带属成分依次升高^[13]。认为老秃顶子划

归华北植物区系比较合理,本研究以辽东、山东半岛以及华北代表山地区系为例,进一步证明了老秃顶子、凤凰山、千山与五台山、小五台山的相似性,并支

持老秃顶子、千山和凤凰山共同划归华北植物区系的观点^[14],这可能与本区地貌地质形成与华北的地貌形成有关。

参考文献:

- [1] ISABEL S. Historical Biogeography: Evolution in time and space[J]. *Evolution; Education and Outreach*, 2012, **5**(4): 555—568.
- [2] BADGLEY C, FOX D L. Ecological biogeography of North American mammals: species density and ecological structure in relation to environmental gradients[J]. *Journal of Biogeography*, 2000, **27**(6): 1 437—1 467.
- [3] WU J(武 晶), ZHANG H(张 华), ZHU Y P(祝业平), *et al.* Elevational patterns of plant species diversity in tree layer on the northern slope of Mt. Laotudingzi, Liaoning Province[J]. *Journal of Shanxi Teachers University*(山西师范大学学报·自然科学版), 2009, **23**(1): 82—87(in Chinese).
- [4] JU W P(鞠文鹏), ZHANG L J(张丽杰), ZHOU Q(周 强). Area distribution and protection of rare or endangered plant from Laotudingzi National Nature Reserve[J]. *Liaoning Forestry Science and Technology*(辽宁林业科技), 2012, **5**: 43—44, 50(in Chinese).
- [5] LI L(李 乐), LIU H(刘 鹤), WAN D M(万冬梅). Studies on macrofungi diversity of Laotudingzi National Nature Reserve in Liaoning Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2010, **29**(12): 2 408—2 413(in Chinese).
- [6] ZHANG CH T(张春田), ZHAO ZH(赵 喆), WANG SH D(王诗迪), *et al.* Faunistic investigation of tachinidae in Liaoning Laotudingzi National Nature Reserve of China[J]. *Chinese Bulletin of Entomology*(应用昆虫学报), 2011, **48**(5): 1 479—1 488(in Chinese).
- [7] 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.
- [8] 吴征镒, 周浙昆, 孙 航, 等. 种子植物分布区类型及其起源和分化[M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 2006: 1—45.
- [9] 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(in Chinese).
- [10] 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): 612—707(in Chinese).
- [11] ZHU L T(朱立涛), WEN G(文 光), WANG SH E(王善娥), *et al.* A comparison of the floras of Qian Mountain and Adjacent Mountains[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*(热带与亚热带植物学报), 2007, **15**(1): 77—81(in Chinese).
- [12] CHEN CH D(陈昌笃). The Dujiangyan region pivot sector of assemblage, differentiation and maintenance of biodiversity in northern part of Hengduan Mountain[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2000, **20**(1): 28—34(in Chinese).
- [13] 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).
- [14] 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).