

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20170066

云顶山草本植物功能群研究

刘建荣
(山西关帝山国有林管理局)

摘要:植物功能群是植被生态学研究的重要领域之一。通过对植物功能群的研究有助于揭示植物群落的结构和功能,了解植物群落的物种多样性、功能多样性、谱系多样性和演替规律,同时,可为植被恢复和重建提供科学依据。根据野外样方的调查资料,采用 Fisher 精确检验和 Spearman 秩相关系数检验,并结合聚类分析对山西云顶山自然保护区草本植物优势种的植物功能群进行了研究。结果表明:1) Fisher's 精确检验结果表明,有 46 个种对正关联极显著($P < 0.01$),有 5 个种对负关联极显著($P < 0.01$);有 24 种对正关联显著($P < 0.05$),有 10 个种对负关联显著($P < 0.05$);有 996 个种对关联不显著($P > 0.05$)。2) Spearman 秩相关系数检验有 72 个种对正相关极显著($P < 0.01$),有 9 个种对负相关极显著($P < 0.01$);有 33 种对正关联显著($P < 0.05$),有 8 个种对负关联显著($P < 0.05$);有 959 个种对相关不显著($P > 0.05$)。3) 经 Fisher 精确检验关联不显著($P > 0.05$)的种对(996)占总种对的 92.14%,而经 Spearman 秩相关系数检验相关不显著($P > 0.05$)的种对(959)占总种对的 88.71%,这意味着草本植物优势种间的生态位存在较为明显的分化。4) 综合 Fisher 精确检验和 Spearman 秩相关系数和聚类分析的结果,将云顶山自然保护区草本植物划分为 5 个功能群:亚高山草甸植物功能群、中山草丛植物功能群、低山草丛植物功能群、森林和灌丛植物功能群和森林植物功能群。云顶山植物功能群与植物群落类型、生境、植物生活型和生态位等有密切关系。

关键词:云顶山; Fisher 精确检验; Spearman 秩相关系数; 聚类分析; 植物功能群

中图分类号:S759.94; S718.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1522(2017)09-0076-07

LIU Jian-rong. **Plant functional groups of the herbs of plant communities in Yunding Mountain, Shanxi of northern China.** *Journal of Beijing Forestry University* (2017)**39**(9) 76-82 [Ch., 18 ref.] Guandishan State-Owned Forest Administration of Shanxi, Wenshui, Shanxi, 032104, P. R. China.

The plant functional group (PFG) is one of the important fields in vegetation science research, and is a basis for exploring the structure and function of plant community and analyzing the succession and species diversity, functional diversity and phylogenetic diversity of plant community; moreover, it could provide the theoretical basis for vegetation restoration. Based on the dataset investigated from the field, 61 plots and 207 species were recorded in Yunding Nature Reserve, Shanxi of northern China, among which 47 herb species were regarded as dominant species, and the PFG of 47 herb dominant species was studied by Fisher's exact test and Spearman's rank correlation analysis with clustering analysis (median method), respectively in order to achieve the division of the PFG in this mountain. The results indicated that:1) There were 46 species-pairs being highly positive association ($P < 0.01$) and 5 species-pairs being highly negative association ($P < 0.01$), 24 species-pairs being positive association ($P < 0.05$) and 10 species-pairs being highly negative association ($P < 0.05$) and 46 species-pairs being highly positive association ($P < 0.01$), 996 species-pairs being not significant association ($P > 0.05$) by Fisher's exact test. 2) There were 72 species-pairs being highly positive correlation ($P < 0.01$) and 9 species-pairs being highly negative correlation ($P < 0.01$), 33 species-pairs being positive correlation ($P < 0.05$) and 8 species-pairs being highly negative correlation ($P < 0.05$), 959 species-pairs being not significant correlation ($P > 0.05$) by Spearman's rank correlation analysis. 3) The species-pairs being not significant

association (996) accounted for 92.14% in the total species-pairs by Fisher's exact test, and the species-pairs being not significant correlation ($P > 0.05$) (959) accounted for 88.71% in the total by Spearman's rank correlation analysis. It suggested that the niche among those species had obvious differentiation and the sensitivity of the latter was more than the former. 4) Based on the results of species relationship by Fisher and Spearman combining the clustering results, the PFG was divided into 5 groups, including PFG in the subalpine area, PFG in the lower elevation areas, PFG in the herb layers of the forests and shrubs, PFG in the herb layer of the forests and the PFG in the herb communities of the middle elevation areas. Based on the above results, it is suggested that the PFG is closely related with the community type, habitat, life type and niche.

Key words Yunding Mountain; Fisher's exact test; Spearman's rank coefficient; clustering analysis; plant functional group

优势种是植物群落类型的主要构建者,决定了植物群落的类型、结构、功能和演替方向,是生态系统生产力的主要贡献者。根据优势种对植物群落的功能群进行划分,是揭示植物群落结构、功能和动态的有效途径,对探索植物群落功能多样性、物种多样性、谱系多样性有一定科学意义。云顶山自然保护区自2002年批准建立以来,对生物多样性开展了卓有成效的保护与管理工作,主要体现在主要保护对象——国家一级保护动物褐马鸡种群数量持续增加,植物生态系统功能继续加强,立木蓄积量不断增加,生态环境持续改善,对维护局域生态系统和环境安全起到了重要作用。本文以野外植被调查的数据为基础,采用Fisher精确检验、Spearman秩相关分析对山西云顶山自然保护区草本植物优势种种间关系进行分析,并结合聚类分析的结果,目的是:1)探讨云顶山自然保护区草本优势植物之间的相互关系;2)分析参保植物功能区的分布与环境的关系,以便揭示不同植物功能群在群落的地位和作用,从而为云顶山自然保护区生物多样性保护和管理提供科学依据。

1 研究区域概况

云顶山自然保护区位于吕梁山脉中段,太原市娄烦县西南部,与山西庞泉沟国家级自然保护区为邻。地理坐标:111°30'33" ~ 111°47'10" E, 37°50'49" ~ 38°02'15" N。其他自然地理概况见文献[1-4],不再赘述。

2 研究方法

2.1 野外调查方法

野外调查方法参照张峰等^[5]和方精云等^[6]提出的方法并结合实际加以修改。在云顶山自然保护区选择具有代表性的区域进行植物群落调查,调查样方共计62个,记录207种种子植物。其中,森林

群落样方31个,每个样方面积10 m × 10 m,并在每个样方内选取4 m × 4 m的灌木样方和1 m × 1 m的草本样方各1个。调查灌丛样方15个,每个样方面积4 m × 4 m,并在每个样方内记录1个1 m × 1 m的草本样方。调查草本群落样方16个,每个面积1 m × 1 m。每个样方调查的信息包括群落总盖度、乔木高度、冠幅和胸径;灌木高度、多度和盖度;草本植物多度、高度和盖度;同时记录相关的环境因子(包括经纬度、海拔、坡向等以及人类干扰情况)。

2.2 数据分析

依据物种在群落中的地位和作用,确定47种草本植物为优势种。确定每种植物的功能性状,包括生长型、生活史、固氮类型、C3/C4型、光耐受性、叶形、花型、传粉方式、果实类型、种子传播方式、开花时间、花期、结果时间、果期14个性状作为功能群数据分析的基础^[7],这样就得到47 × 14的原始数据矩阵。

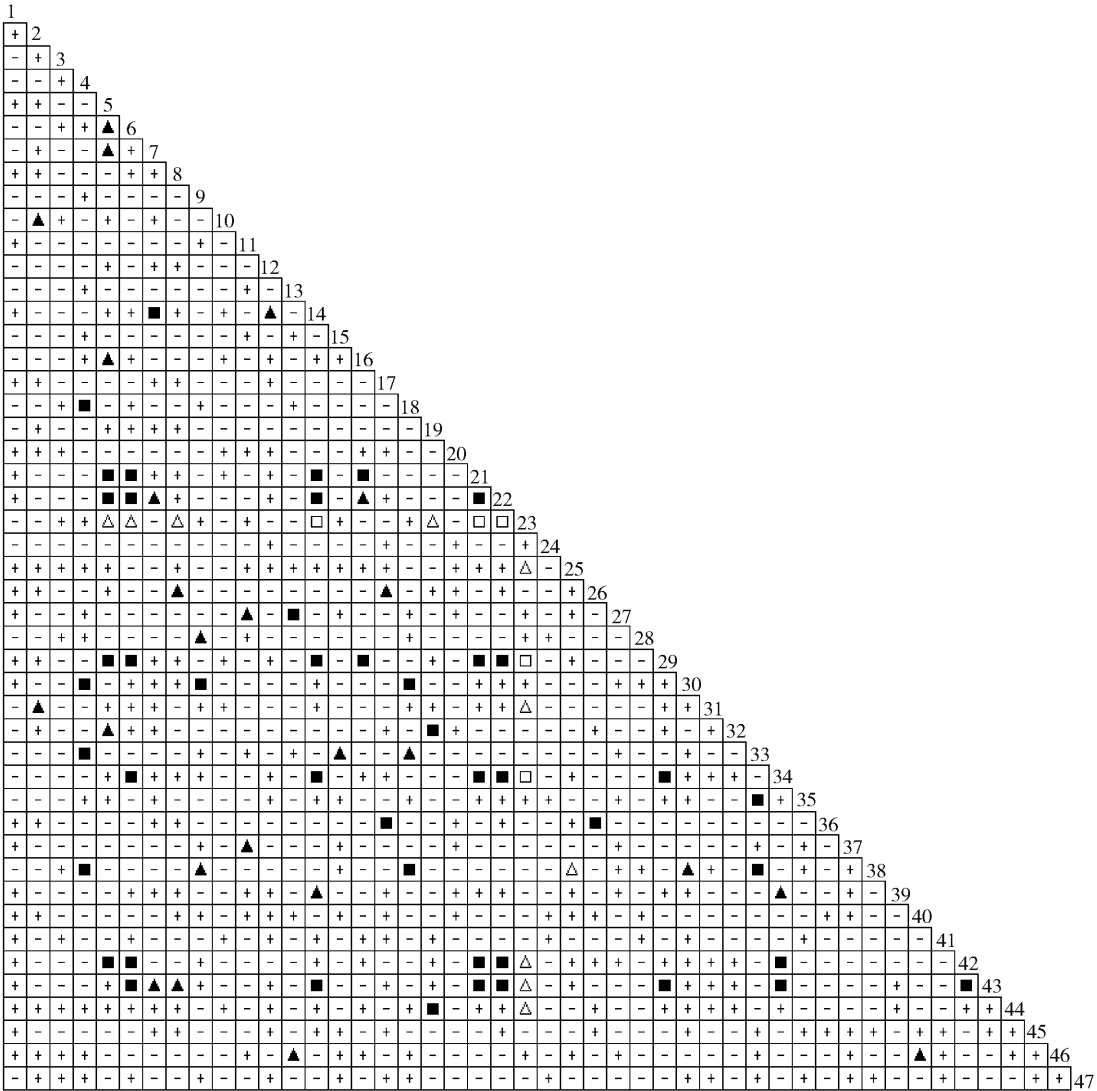
草本植物优势种种间关系分布采用Fisher精确检验和Spearman秩相关分析方法进行分析^[8-15]。

以植物功能性状数据为指标,采用类平均法进行聚类分析^[12,16-17]对草本植物优势种进行划分。

3 结果与分析

3.1 草本植物优势种种间关系 Fisher 精确检验

草本植物优势种种间关系 Fisher 精确检验结果见图1,其中正关联极显著($P < 0.01$)的种对有46对(表1),如多茎委陵菜(*Potentilla multicaulis*)分别与车前(*Plantago depressa*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、细叶薹草(*Carex duriuscula* subsp. *stenophylloides*)、紫羊茅(*Festuca rubra*)之间呈极显著的正关联,这些种皆为中生植物,多为草甸和草丛群落的优势种,具有较为相似的生态习性。披针叶薹草(*Carex lanceolata*)与地榆(*Sanguisorba officinalis*)、紫羊茅、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)等



+. 不显著正关联 Not significantly positive association ($P>0.05$); ▲. 正关联显著 Significantly positive association ($0.01<P\leq0.05$); ■. 正关联极显著 Very significantly positive association($P\leq0.01$); -. 不显著负关联 Not significantly negative association ($P>0.05$); △. 负关联显著 Significantly negative association ($0.01<P\leq0.05$); □. 负关联极显著 Very significantly negative association ($P\leq0.01$); 1. 北乌头 *Aconitum kusnezoffii*; 2. 瓣蕊唐松草 *Thalictrum petaloideum*; 3. 北柴胡 *Bupleurum chinense*; 4. 糙苏 *Phlomis umbrosa*; 5. 多茎委陵菜 *Potentilla multicaulis*; 6. 地榆 *Sanguisorba officinalis*; 7. 东方草莓 *Fragaria orientalis*; 8. 大蓟 *Cirsium leo*; 9. 风毛菊 *Saussurea japonica*; 10. 附地菜 *Trigonotis peduncularis*; 11. 钩腺大戟 *Euphorbia sieboldiana*; 12. 黄花蓬子菜 *Galium verum*; 13. 华北风毛菊 *Saussurea mongolica*; 14. 卷耳 *Cerastium arvense*; 15. 景天三七 *Gynura segetum*; 16. 蓝花棘豆 *Oxytropis coerulea*; 17. 野老鹳草 *Geranium carolinianum*; 18. 藜芦 *Veratrum nigrum*; 19. 毛茛 *Ranunculus japonicus*; 20. 牛尾蒿 *Artemisia subdigitata*; 21. 车前 *Plantago asiatica*; 22. 蒲公英 *Taraxacum mongolicum*; 23. 披针叶薹草 *Carex lanceolata*; 24. 茜草 *Rubia cordifolia*; 25. 山蒿 *Artemisia brachyloba*; 26. 路边青 *Geum aleppicum*; 27. 山马兰 *Kalimeris lautureana*; 28. 山野豌豆 *Vicia amoena*; 29. 细叶薹草 *Carex duriuscula* subsp. *stenophylloides*; 30. 欧洲唐松草 *Thalictrum aquilegifolium*; 31. 田葛缕子 *Carum buriaticum*; 32. 委陵菜 *Potentilla chinensis*; 33. 歪头菜 *Vicia unijuga*; 34. 小秦艽 *Gentiana dahurica*; 35. 小红菊 *Dendranthema chanetii*; 36. 狭叶荨麻 *Urtica angustifolia*; 37. 小玉竹 *Polygonatum humile*; 38. 显脉拉拉藤 *Galium kinuta*; 39. 野罂粟 *Papaver nudicarule*; 40. 野青茅 *Deyeuxia arundinacea*; 41. 羊红膾 *Pimpinella thellungiana*; 42. 紫羊茅 *Festuca rubra*; 43. 珠芽蓼 *Polygonum viviparum*; 44. 早熟禾 *Poa annua*; 45. 早开堇菜 *Viola prionantha*; 46. 展枝唐松草 *Thalictrum squarrosum*; 47. 紫苞鸢尾 *Iris ruthenica*. 下同。The same below.

图 1 47 种草本植物优势种 Fisher 精确检验半矩阵
Fig. 1 Semi-matrix for 47 herb dominant species by Fisher's exact test

呈极显著负关联($P<0.01$),是因为披针薹草多为低山草丛、林下和灌丛草本层的优势种,而地榆、紫羊茅、珠芽蓼为亚高山草甸的建群成分,它们之间生态习性与分布生境的差异是导致种间关系为负关联性的主要原因。

3.2 草本植物优势种种间关系 Spearman 秩相关系数检验

草本植物优势种种间关系 Spearman 秩相关系数检验结果见图 2,其中极显著正关联($P<0.01$)的种对有 72 对(表 1)。仍以多茎委陵菜为例,其分别

与蓝花棘豆(*Oxytropis coerulea*)、车前、蒲公英、山野豌豆(*Vicia amoena*)、细叶藁草、紫羊茅之间呈极显著的正相关($P < 0.01$),比 Fisher 精确检验的结果多2个种对,分别是多茎委陵菜-蓝花棘豆和多茎委陵菜-山野豌豆。披针叶藁草与地榆、紫羊茅、珠

芽蓼、细叶藁草等负相关极显著($P < 0.01$),是因为披针叶藁草生态和生物学习性、分布生境(特别是海拔)以及在群落中的地位和作用与其他种有明显的分化。

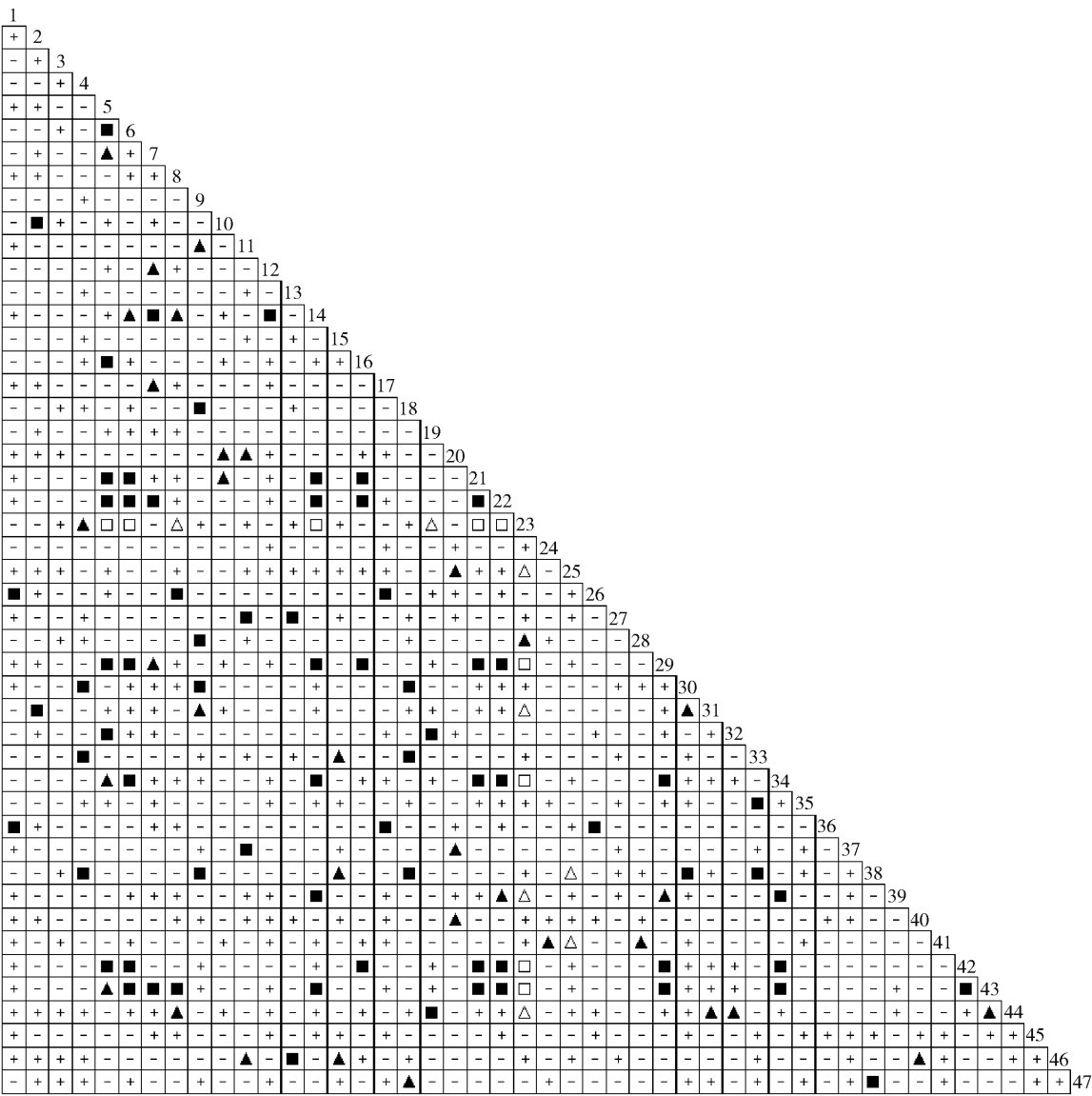


图2 47种草本植物优势种的Spearman秩相关分析半矩阵图

Fig. 2 Semi-matrix for 47 herb dominant species by Spearman's rank correlation analysis

3.3 Fisher精确检验和Spearman秩相关检验结果的种对数

云顶山自然保护区草本植物优势种种间 Fisher 精确检验和 Spearman 秩相关检验结果的种对数结果见表1。从表1可以看出:经 Spearman 秩相关检验的极显著($P < 0.01$)种对数(81个种对)和显著相关($P < 0.05$)种对数(41个种对)要明显多于 Fisher 精确检验的极显著($P < 0.01$)种对数(51个种对)和显著相关($P < 0.05$)的种对数(34个种对),而不显著($P > 0.05$)的种对数则相反。

3.4 优势种聚类分析

根据聚类分析结果,云顶山自然保护区草本植物优势种可以划分为5组,分别是:

第Ⅰ组,包括蒲公英、细叶藁草、车前、紫羊茅、卷耳(*Cerastium arvense*)、小秦艽(*Gentiana dahurica*)、地榆、蓝花棘豆、珠芽蓼和多茎委陵菜。

第Ⅱ组,包括委陵菜(*Potentilla chinensis*)、毛茛(*Ranunculus japonicus*)、珠芽蓼、田葛缕子(*Carum buriaticum*)、附地菜(*Trigonotis peduncularis*)和瓣蕊唐松草(*Thalictrum petaloideum*)。

表 1 草本植物优势种种间分析结果的种对数统计

Tab. 1 Species-pairs of interspecific relationship analysis of 47 herb species based on Fisher's exact test and Spearman's rank correlation analysis

分析方法 Analysis method	关联/相关极显著种对数 Species-pairs of association/ correlation being high significant($P < 0. 01$)		关联/相关显著种对数 Species-pairs of association/ correlation being significant ($0. 01 < P < 0. 05$)		关联/相关种对数 Species-pairs of association/ correlation being not significant($P > 0. 05$)		合计 Total
	正关联/相关	负关联/相关	正关联/相关	负关联/相关	正关联/相关	负关联/相关	
	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	
	association/ correlation	association/ correlation	association/ correlation	association/ correlation	association/ correlation	association/ correlation	
Fisher 精确检验 Fiser's exact test	46	5	24	10	351	645	1 081
Spearman 秩相关分析 Spearman rank correlation	72	9	33	8	317	642	1 081

第Ⅲ组,包括山马兰(*Kalimeris lautureana*)、华北风毛菊(*Saussurea mongolica*)、展枝唐松草(*Thalictrum squarrosum*)、野青茅(*Deyeuxia arundinacea*)、山蒿(*Artemisia brachyloba*)、牛尾蒿(*A. subdigitata*)、小玉竹(*Polygonatum humile*)和钩腺大戟(*Euphorbia sieboldiana*)。

第Ⅳ组,包括欧洲唐松草(*Thalictrum aquilegifolium*)、藜芦(*Veratrum nigrum*)、显脉拉拉藤(*Galium kinuta*)、风毛菊(*Saussurea japonica*)、小红菊(*Dendranthema chaneltii*)、披针叶藁草、歪头菜(*Vicia unijuga*)、糙苏(*Phlomis umbrosa*)、紫苞鸢尾(*Iris ruthenica*)、早开堇菜(*Viola prionantha*)、景天三七(*Gynura segetum*)、羊红膻(*Pimpinella thellungiana*)、茜草(*Rubia cordifolia*)、山野豌豆和北柴胡(*Bupleurum chinense*)。

第Ⅴ组,包括野罂粟(*Papaver nudicarule*)、大蓟(*Cirsium leo*)、黄花蓬子菜(*Galium verum*)、野老鹳草(*Geranium carolinianum*)、东方草莓(*Fragaria orientalis*)、狭叶荨麻(*Urtica angustifolia*)、路边青(*Geum aleppicum*)和北乌头(*Aconitum kusnezoffii*)。

3.5 植物功能群的划分

依据草本植物种间关系和聚类分析的结果^[16-19],结合不同草本植物的概念性状,将云顶山自然保护区进行植物功能群划分如下:

1) 亚高山草甸植物功能群,包括蒲公英、细叶藁草、车前、珠芽蓼、卷耳、小秦艽、地榆、紫羊茅、多茎委陵菜等,多分布于海拔 2 000 ~ 2 659 m 的区域,多为亚高山和山地草甸的优势种或常见种。

2) 中山草丛植物功能群,包括紫苞鸢尾、早开堇菜、景天三七、羊红膻、山野豌豆、茜草、北柴胡,多为阳生植物和草丛的优势成分,海拔 1 600 ~ 2 000 m。

3) 低山草丛植物功能群,包含铁杆蒿、早熟禾、

山蒿、茜草、委陵菜、毛茛、田葛缕子、大蓟、瓣蕊唐松草等,广泛分布于人类活动干扰较为明显的的低山、灌丛草丛和撂荒地(海拔 1 200 ~ 1 400 m)。

4) 森林和灌丛植物功能群,包括路边青、野青茅、牛尾蒿、华北风毛菊、小玉竹、野罂粟、黄花蓬子菜、野老鹳草、山马兰、东方草莓、狭叶荨麻、北乌头,为喜光的阳生植物,主要分布于林缘和灌丛。

5) 森林植物功能群,包含藜芦、欧洲唐松草、小红菊、歪头菜、披针叶藁草、糙苏等,多为耐荫植物,是林下草本层和草丛的常见种。

由上述结果可以看出:各植物功能群内的物种间都呈现出显著的正关联或正相关,聚类分析结果表明这些种具有较高的相似性,主要是由于同一草本植物功能群的各个种间具有相近或者相似的生态和生物学习性,具有较为相近的资源利用方式,相似的分布生境以及在群落中的相似地位。

4 讨论与结论

4.1 种间关系分析结果的比较

Fisher 精确检验关联不显著($P > 0. 05$)的种对(996)占总种对的 92. 14%,而经 Spearman 秩相关关系检验相关不显著($P > 0. 05$)的种对(959) 占总种对的 88. 71%。两种方法的检验结果意味着云顶山植物功能群的各种植物之间联系不够密切,它们的生态位可能存在较为明显的分化,这主要是由于植物功能群的生境异质性性较大,既有来自云顶山亚高山区域的植物功能群,也有来自人类活动干扰较为明显的低山植物功能群。

Fisher 精确检验与 Spearman 秩相关分析结果的种对数进行比较可以发现,Spearman 秩相关分析结果相关显著($P < 0. 05$)和极显著($P < 0. 01$)的种对数都高于 Fisher 精确检验结果,这说明 Spearman 检

验比 Fisher 精确检验更为灵敏,与前人研究结论类似^[6,12,14-16]。

4.2 植物功能群与植被类型的关系

云顶山自然保护区草本植物功能群明显表现出与群落类型相关的特点。如耐荫植物糙苏、小红菊、披针叶藁草等分布于森林群落,这是由于森林群落乔木层和灌木层盖度较高,特别是华北落叶松林郁闭度局部可达0.9,导致林下光照条件较差,草本层只适于光饱和点和补偿点较低的耐荫植物生存。如细叶藁草、珠芽蓼、紫羊茅等为亚高山草甸的优势种,而早开堇菜、景天三七、山野豌豆、茜草、北柴胡为低中山草丛的优势成分,虽然它们大多属于阳生植物,但由于分布的群落类型差异明显(包括群落分布、结构、分布等),促使这些种在生态位和生态习性等方面表现出明显的分化^[17-18],因而导致这些植物分属于明显不同的植物功能群。

4.3 植物功能群与环境因子的关系

从云顶山自然保护区草本植物功能群的划分结果可以看出:不同植物功能群间物种的相关性不显著,原因可能是由于不同的植物功能群对生境异质性的响应不同所决定;同时,也是不同生境不同环境因子对各个植物功能群长期选择的结果。各个植物功能群表现出与环境因子关系密切的特征。如决定细叶藁草、珠芽蓼亚高山草甸植物功能群分布的主导生态因子主要为海拔(海拔较高)和热量(热量条件较差),而影响田葛缕子、铁杆蒿、早熟禾等低山山地草丛植物功能群分布的主导生态因子主要是人类活动干扰^[13]和热量条件^[14-15]。

4.4 植物功能群与物种生态位的关系

不同种间的相关性较小,也与各植物功能群物种的生态位分化和生态位幅度、生态位重叠关系密切。生态位幅度越窄,与其他种生态位重叠的可能性越小,种间关系就可能表现出负关联或负相关。如糙苏、藜芦、小红菊对光资源的生态位较窄,适于林下分布,而牛尾蒿、华北风毛菊、山马兰、野老鹳草、路边青对光资源的生态位较宽,因此它们不仅分布于森林群落,而且也分布于灌丛群落。细别无所求藁草、珠芽蓼、卷耳、小秦艽、地榆、紫羊茅为旱中生植物,适于在云顶山顶部的分布,而披针叶藁草、小红菊、小玉竹、山马兰、狭叶荨麻、多茎委陵菜、野老鹳草为中生植物,适于林下和灌丛分布,二者之间表现出明显的分异规律。

参 考 文 献

[1] 上官铁梁, 张峰. 云顶山虎榛子灌丛群落学特征及生物量 [J]. 山西大学学报(自然科学版), 1989, 12(3):347-352.
SHANGGUAN T L, ZHANG F. On synecological features and

biomass of *Oxtriposis davidiana* bush-wood in Yunding Mountain, Shanxi Province [J]. Journal of Shanxi University(Nature Science Edition), 1989,12(3):347-352.

[2] 上官铁梁, 张峰. 云顶山植被及其垂直分布研究[J]. 山地研究, 1991, 9(1):19-26.
SHANGGUAN T L, ZHANG F. Investigation onvegetation and vertical distribution in the Yunding Mountain in Shanxi Province [J]. Mountain Research, 1991, 9(1):19-26.

[3] 刘明光, 刘莹, 张峰, 等. 云顶山自然保护区植物群落的分类与排序[J]. 林业资源管理, 2011(4): 82-88.
LIU M G, LIU Y, ZHANG F, et al. Classification and ordination of plant communities in Yundingshan Nature Reserve, Shanxi [J]. Forestry Resources and Management, 2011(4):82-88.

[4] 刘莹, 张峰, 梁小明, 等. 山西云顶山自然保护区野生种子植物区系研究[J] 植物科学学报, 2012,30(1): 31-39.
LIU Y, ZHANG F, LIANG X M, et al. Flora of wild seed plants in Yundingshan Nature Reserve in Shanxi [J]. Plant Science Journal, 2012,30(1): 31-39.

[5] 张峰,上官铁梁. 山西翅果油树群落种间关系的数量分析[J]. 植物生态学报,2000,24(3):351-355.
ZHANG F, SHANGGUAN T L. Numerical analysis of interspecific relationships in an *Elaeagnus mollis* community in Shanxi [J]. Acta Phytocologica Sinica,2000,24(3):351-355.

[6] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.
FANG J Y, WANG X P, SHEN Z H, et al. Methods and protocols for plant community inventory [J]. Biodiversity Science, 2009, 17(6): 533-548.

[7] 孟婷婷,倪健,王国宏. 植物功能性状与环境 and 生态系统功能[J]. 植物生态学报,2007, 31(1):150-165.
MENG T T, NI J, WANG G H. Plant functional traits, environments and ecosystem functioning [J]. Journal of Plant Ecology(Chinese Version),2007, 31(1):150-165.

[8] 姜炎彬, 张扬建. 西藏天然草地植物功能群分布的初步研究 [J]. 植物科学学报, 2016, 34(2): 220-229.
JIANG Y B,ZHANG Y J. Distribution of plant functional groups in the natural grasslands of Xizang, China [J]. Plant Science Journal,2016,34(2): 220-229.

[9] 范玉龙, 胡楠, 丁圣彦, 等. 伏牛山自然保护区森林生态系统草本植物功能群的分类 [J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3092-3101.
FAN Y L, HU N, DING S Y, et al. The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in forest ecosystem at Funiu Mountain National Natural Reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3092-3101.

[10] 张桂萍,张峰,茹文明. 旅游干扰对历山亚高山草甸优势种群种间相关性的影响 [J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2868-2874.
ZHANG G P, ZHANG F, RU W M. The effect of traveling on the interspecific relationship of dominant populations of subalpine meadow in Shunwangping, Shanxi [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 2868-2874.

[11] 郭屹立, 卢训令, 丁圣彦. 伊洛河河岸带生态系统草本植物功

能群划分[J]. 生态学报, 2012, 32(14): 4434-4442.

GUO Y L, LU X L, DING S Y. The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River[J]. Acta Ecologica Sinica,2012, 32(14): 4434-4442.

[12] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社,2004.

ZHANG J T. Numerical ecology [M]. Beijing: Science Press, 2004.

[13] 朱宏光, 温远光, 梁宏温, 等. 广西桉树林取代马尾松林对植物多样性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(6): 149-153.

ZHU H G, WEN Y G, LIANG H W, et al. Effects of eucalypt plantation replacing Masson pine forest on plant species diversity in Guangxi, southern China [J]. Journal of Beijing Forestry University , 2009, 31(6):149-153.

[14] 高平, 张贵平, 吴琼, 等. 山西崂山自然保护区侧柏群落优势种群种间关系分析[J]. 植物研究, 2010,30(6): 731-736.

GAO P, ZHANG G P, WU Q, et al. Analysis of interspecific relationships among the dominant populations of *Platycladus orientalis* communities in Yanshan Nature Reserve in Shanxi[J]. Bulletin of Botanical Research,2010,30(6): 731-736.

[15] GUTIÉRRE-GIRÓN A, GAVILÁN R G. Spatial patterns and interspecific realtions analysis help to better understand species distribution patters in a Mediterranean high mountain grassland [J]. Plant Ecology, 2010, 210(1): 137-151.

[16] 焦磊,张峰. 汾河连伯滩湿地植被生态种组[J]. 林业科学, 2011, 47(4): 7-12.

JIAO L, ZHANG F. 2011. Ecological species group of wetland vegetation of Lianbotan in Fenhe River, Shanxi [J]. Scientia Silvae Sinica, 2011,47(4):7-12 .

[17] 秦晓娟,高璐,邓永利,等. 山西平陆黄河湿地植物功能群划分[J]. 山西大学学报(自然科学版),2014, 37(3): 454-460.

QIN X J,GAO L, DENG Y L, et al, Plant functional groups in the wetland of Pinglu Section of Yellow River, Shanxi[J]. Journal of Shanxi University (Nature Science Edition), 2014, 37(3): 454-460.

[18] SU S, LIU J, HE Z, et al. Ecological species groups and interspecific association of dominant tree species in Daiyun Mountain National Nature Reserve [J]. Journal of Mountain Science, 2015, 12(3): 637-646.

(责任编辑 赵 勃 范 娟
责任编辑委 臧润国)