

伏牛山南、北坡植物物种多样性及其与主要生态因子的相关性

郝成元, 周 见

(河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000)

摘要: 采用实地调查法对伏牛山南坡 23 个样地和北坡 15 个样地内的乔木、灌木和草本种类数以及乔木的 Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数进行了统计分析和计算;在此基础上,运用典范对应分析(CCA)法筛选出影响南、北坡植物物种多样性的主要生态因子并进行了相关性分析。结果表明:南坡每个样地乔木、灌木和草本种类数的平均值分别为 8.3、8.6 和 9.5,北坡分别为 5.4、7.5 和 11.1;在海拔 1 645 ~ 1 870 m 范围内,南坡样地的乔木、灌木和草本种类数均多于北坡样地。影响伏牛山南、北坡植物物种多样性的主要生态因子均为 9 个,它们之间略有差异但均可分为地形、气象和土壤 3 大类因子。相关性分析结果显示:北坡乔木的种类数、Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数与土壤厚度均呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关,与海拔呈极显著负相关;而南坡乔木的 Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数与土壤有机质含量呈极显著正相关。北坡草本种类数与大气温度以及土壤有机质和碱解氮含量均呈极显著或显著 ($P < 0.05$) 正相关;而南坡草本种类数则与海拔、土壤厚度和土壤有机质含量呈极显著或显著正相关,与坡度、阴阳坡和大气湿度呈显著或极显著负相关。除北坡的灌木种类数与坡向呈显著正相关外,南、北坡灌木种类数与 9 个主要生态因子的相关性均不显著。说明伏牛山南、北坡的乔木多样性主要与土壤厚度和有机质含量等土壤性状因子有关,草本多样性则与局地小气候因子关系密切,而影响灌木多样性变化的主要生态因子并不明确。

关键词: 伏牛山; 植物物种多样性; 生态因子; 典范对应分析(CCA); 相关性

中图分类号: Q948.15; S718.5; X171.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2013)03-0038-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.03.06

Species diversity of south and north slopes of Fu'niu Mountain and its correlation with main ecological factors HAO Chengyuan, ZHOU Jian (College of Surveying and Land Information Engineering, He'nan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2013, 22(3): 38-44

Abstract: By means of investigation method, the statistical analysis and calculation on species number of arbor, shrub and herb in 23 plots on south slope and 15 plots on north slope of Fu'niu Mountain, as well as Margalef and Shannon-Wiener indexes of arbor were carried out. On these bases, the main ecological factors influencing on species diversity of south and north slopes were screened out by canonical correspondence analysis (CCA), and the correlation was also analyzed. The results show that average species number of arbor, shrub and herb per plot on south slope is 8.3, 8.6 and 9.5, respectively, while that on north slope is 5.4, 7.5 and 11.1, respectively. At altitude of 1 645-1 870 m, species number of arbor, shrub and herb in plots on south slope is more than that on north slope. There are nine main ecological factors influencing on species diversity of both slopes of Fu'niu Mountain, which has a slight variance between two slopes but all can be divided into three types of topography, meteorology and soil. Correlation analysis result indicates that species number, Margalef and Shannon-Wiener indexes of arbor on north slope appear extremely significantly positive correlation ($P < 0.01$) with soil thickness, and extremely significantly negative correlation with altitude, while Margalef and Shannon-Wiener indexes

收稿日期: 2013-03-27

基金项目: 国家自然科学基金委员会与神华集团有限责任公司联合资助项目(U1261206)

作者简介: 郝成元(1969—),男,山东曹县人,博士,副教授,主要从事区域环境变迁及自然地理综合研究。

of arbor on south slope appear extremely significantly positive correlation with soil organic matter content. Herb species number on north slope appears extremely significantly or significantly ($P < 0.05$) positive correlation with air temperature, soil organic matter content and available nitrogen content, while that on south slope appears extremely significantly or significantly positive correlation with altitude, soil thickness and organic matter content, and significantly or extremely significantly negative correlation with slope, sunny and shady slope and air humidity. Except shrub species number on north slope appears significantly positive correlation with aspect, that on both slopes has no significant correlation with nine main ecological factors. It means that arbor diversity on south and north slopes of Fu'niu Mountain mainly has correlation with soil property such as soil thickness and organic matter content, etc, while herb diversity has close correlation with local microclimate factors, but main ecological factors influencing on shrub diversity have not been defined yet.

Key words: Fu'niu Mountain; species diversity; ecological factor; canonical correspondence analysis (CCA); correlation

随着全球环境的不断变化,特别是面对生物多样性加速锐减的现实,生物多样性研究逐渐成为全世界生物科学家们的主要研究内容之一,而生态因子在决定生物多样性格局中的作用也已经成为人们普遍关注的焦点^[1]。

植物种类多样性在不同尺度上影响着生态系统的物质流、能量流和信息流,度量植物种类多样性梯度格局及其与生态因子之间的关系是保护生物学的研究基础,对于研究生态系统的结构、功能、格局和演替非常重要^[2]。其中,海拔梯度是温度、水分和光照等环境要素的综合,因而几乎所有的梯度分析均依据海拔梯度进行^[3-4],且多采用样地调查法,其中样带取样法是最有效的手段之一^[5-6]。然而,山地植物的物种多样性并非严格地随海拔变化而变化,坡度、坡向、大气湿度、土壤有机质含量、土壤酸碱度和土壤电导率等^[7-11]因素也可能作为主要环境梯度因子引导植物物种多样性发生有规律的变化。

伏牛山是中国南、北温度带最重要分界的“秦岭—淮河线”的重要组成部分,但迄今为止尚未见伏牛山植物物种多样性的系统研究报道。马建华^[12]对伏牛山南侧亚热带北界的划分进行了探讨,并对伏牛山中段南坡不同海拔7个土壤剖面进行了野外调查、腐殖质组成分析和性状鉴定,明确了该区域的土壤空间变化梯度和主要影响因子;丁圣彦等^[13]在计算伏牛山和鸡公山2个国家级自然保护区物种相似性系数的基础上,得出“鸡公山植物更趋近于北亚热带植物区系而伏牛山植物既与亚热带关系密切、也与北温带相关”的结论;胡楠等^[14]和范玉龙等^[15]则均采用群落生态学的调查方法,分别通过计算伏牛山南、北坡样地群落优势种的重要值,对伏牛山山地森林生态

系统乔木和草本植物的功能型进行了分类研究。然而,这些研究都仅仅是从某个或某些侧面探讨伏牛山地区的土壤、植被或植物多样性的空间异质程度,并没有从植物物种多样性及其相关因子角度对其南、北坡进行对比研究。

鉴于此,作者从植物物种多样性及其与生态因子之间的关系度量角度出发,探析伏牛山山地效应及其影响下的生境特征与植物物种多样性的分布关系,以揭示山地植被与地理环境因子之间的相互作用关系,以期对秦岭山地自然地过渡性的研究提供必要的补充。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

伏牛山为秦岭山脉的东延余脉,海拔相对高差为1 000~1 700 m,地理坐标为东经110°30'~113°05'、北纬33°10'~34°10';呈西北—东南走向,东西长约300 km,南北宽40~70 km;既位于中国南、北温度带过渡区(暖温带和北亚热带),又处在东、西地形地貌过渡带(第二阶梯和第三阶梯)^[12]。其中,位于南坡的宝天曼国家级自然保护区既是中国列入联合国“人与生物圈计划”的31个自然保护区之一(截至2012年底),也是中国中部地区保存最为完整的自然综合基因库和中国陆地生物多样性的关键地区之一;位于北坡的伏牛山国家级自然保护区是中国长江、黄河和淮河三大水系的分水岭和淮河的水源地,以天然林面积大、植物种类丰富、生态系统稳定而著称,素有“自然博物馆”之称,其最高峰白云山玉皇顶的海拔为2 216 m。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 于 2011 年 5 月 31 日至 6 月 3 日在伏牛山北坡以及 6 月 4 日至 9 日在伏牛山南坡分别进行野外调查和取样等工作;土壤采样应满足采样前 5 d 无有效降水的要求。选取受人类活动影响较小、林木郁闭度相近且具有地貌代表性及样方可操作性强的地点设置样地,海拔每升高 50 m 设置 1 个样地。

北坡白云山样地位于海拔 1 650 ~ 2 158 m 的山体上,选择玉皇顶路线,地理坐标为东经 111°49'38" ~ 111°50'28"、北纬 33°38'25" ~ 33°39'33",土壤类型以棕壤和暗棕壤为主,共设置 15 个样地;南坡宝天曼样地位于海拔 1 078 ~ 1 863 m 的山体上,选择宝天曼顶路线,地理坐标为东经 111°55'10" ~ 111°56'47"、北纬 33°30'01" ~ 33°30'48",土壤类型以棕壤、暗棕壤和棕黄壤为主,共设置 23 个样地。

1.2.2 指标测定方法

1.2.2.1 物种多样性测度方法 乔木层样地面积设定为 10 m×10 m,在每个乔木层样地的中心及四角分别设置面积为 2 m×2 m 的灌木层样方和 1 m×1 m 的草本层样方。统计各样地内乔木层、灌木层和草本层所有植物的种类数,其中灌木层和草本层植物种类数的统计结果为 5 个样地的平均值。计算乔木的物种丰富度[以 Margalef 指数(D)表示]和物种多样性[以 Shannon-Wiener 指数(H)表示];其计算公式分别为: $D = (S - 1) / \ln N$,式中, S 为物种数目, N 为所有物种的个体数之和; $H = -\sum (P_i \ln P_i)$,式中, $P_i = N_i / N$, N_i 为种 i 的个体数, N 为所在样方的所有物种的个体数之和。

1.2.2.2 土壤样品的采集及指标测定 土壤取样厚度为 15 ~ 30 cm,每个草本样地各取 100 g,混合后称取 100 g 作为整个样地的土壤样品。现场测定土壤厚度,将样品带回实验室,测定土壤电导率、pH 值以及有机质、全氮、碱解氮、速效磷、全钾和速效钾含量。其中,土壤电导率使用电导率仪测定(土水质量体积比为 1:5)^{[16]196-200};pH 值测定采用电位法(土水质量体积比 1:2.5)^{[16]62-68};有机质含量测定采用重铬酸钾氧化法^{[17]107-109};全氮含量测定采用半微量凯氏定氮法^{[17]146-150};碱解氮含量测定采用氯化钾浸提-分光光度计法^{[17]156-165};有效磷含量测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法^{[17]175-187};全钾含量测定采用酸溶-火焰光度计法^{[17]188-190};有效钾含量测定采用醋酸铵浸提-

火焰光度计法^{[17]193-196}。

1.2.2.3 气象和地形数据获取 使用 LW-8000 手持式四合一气象仪(台湾路昌电子企业股份有限公司)现场测定风速、大气湿度、光照度和大气温度;并收集或计算样地的海拔、坡向、坡度、坡位、坡形、风向坡和阴阳坡等基础数据。其中,风向坡分为向风坡、侧风坡和背风坡三类,阴阳坡分为阴坡、中性坡和阳坡三类。

1.3 分析方法

分别利用 SPSS 13.0 统计分析软件中的典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)模块对伏牛山南、北坡样地的土壤、气象、地形等 20 个生态因子进行排序,筛选出各自的主要生态因子,然后应用 SPSS 13.0 统计分析软件中的 Pearson 相关性分析模块计算乔木、灌木和草本植物的种类数以及乔木的 Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数与其主要生态因子的相关系数。

2 结果和分析

2.1 伏牛山南、北坡样地植物种类组成分析

伏牛山北坡 15 个样地和南坡 23 个样地植物种类的调查统计结果分别见表 1 和表 2。

由表 1 和表 2 可以看出:伏牛山北坡各样地乔木、灌木和草本植物的种类数分别为 3 ~ 9、5 ~ 11 和 5 ~ 18,而南坡各样地乔木、灌木和草本植物的种类数分别为 4 ~ 12、5 ~ 13 和 4 ~ 19。其中,北坡每个样地乔木、灌木和草本植物种类数的平均值分别为 5.4、7.5 和 11.1;南坡每个样地乔木、灌木和草本植物种类数的平均值分别为 8.3、8.6 和 9.5。比较而言,北坡每个样地的乔木和灌木种类数的平均值均较南坡少,特别是乔木种类数,每个北坡样地比南坡样地少近 3 种;但每个北坡样地的草本种类数的平均值比南坡多 1.6 种。

由表 1 和表 2 还可见:在海拔 1 645 ~ 1 870 m 的样地中,北坡 7 个样地的乔木、灌木、草本植物种类数的平均值分别为 6.1、7.9 和 10.7;南坡 9 个样地的乔木、灌木和草本植物种类数的平均值分别为 8.6、8.3 和 12.6。说明在同一海拔高度上,北坡乔木、灌木和草本植物的种类数均比南坡少,特别是乔木和草本种类数,平均少 2 种。

表1 伏牛山北坡15个样地植物种类数的统计结果

Table 1 Statistical result of species number in fifteen plots on north slope of Fu'niu Mountain

样地编号 No. of plot	海拔/m Altitude	纬度 Latitude	经度 Longitude	土壤类型 Soil type	种类数 Species number		
					乔木 Arbor	灌木 Shrub	草本 Herb
N1	2 158	N33°38'25"	E111°49'38"	草甸土 Meadow soil	3	9	7
N2	2 118	N33°38'31"	E111°49'43"	暗棕壤 Dark brown soil	5	9	9
N3	2 092	N33°38'34"	E111°49'46"	暗棕壤 Dark brown soil	4	6	11
N4	2 024	N33°38'38"	E111°49'58"	暗棕壤 Dark brown soil	4	7	9
N5	2 016	N33°38'43"	E111°50'04"	暗棕壤 Dark brown soil	5	7	17
N6	1 990	N33°38'47"	E111°50'09"	暗棕壤 Dark brown soil	6	7	18
N7	1 980	N33°38'54"	E111°50'18"	棕壤 Brown soil	6	7	10
N8	1 920	N33°38'59"	E111°50'18"	棕壤 Brown soil	5	6	10
N9	1 870	N33°39'11"	E111°50'14"	棕壤 Brown soil	7	9	10
N10	1 810	N33°39'18"	E111°50'20"	棕壤 Brown soil	6	11	11
N11	1 782	N33°39'29"	E111°50'27"	棕壤 Brown soil	4	7	5
N12	1 750	N33°39'33"	E111°50'28"	棕壤 Brown soil	5	7	6
N13	1 720	N33°39'32"	E111°50'23"	棕壤 Brown soil	9	6	16
N14	1 674	N33°39'31"	E111°50'17"	棕壤 Brown soil	5	5	11
N15	1 650	N33°39'30"	E111°50'13"	棕黄壤 Brown yellow soil	7	10	16
平均值 Average					5.4	7.5	11.1

表2 伏牛山南坡23个样地植物种类数的统计结果

Table 2 Statistical result of species number in twenty-three plots on south slope of Fu'niu Mountain

样地编号 No. of plot	海拔/m Altitude	纬度 Latitude	经度 Longitude	土壤类型 Soil type	种类数 Species number		
					乔木 Arbor	灌木 Shrub	草本 Herb
S1	1 863	N33°30'01"	E111°56'46"	暗棕壤 Dark brown soil	6	12	8
S2	1 830	N33°30'06"	E111°56'47"	暗棕壤 Dark brown soil	9	6	19
S3	1 800	N33°30'07"	E111°56'43"	暗棕壤 Dark brown soil	9	11	11
S4	1 775	N33°30'27"	E111°56'33"	暗棕壤 Dark brown soil	8	5	13
S5	1 752	N33°30'14"	E111°56'41"	暗棕壤 Dark brown soil	6	8	15
S6	1 745	N33°30'18"	E111°56'37"	暗棕壤 Dark brown soil	12	8	8
S7	1 715	N33°30'30"	E111°56'28"	棕壤 Brown soil	8	9	15
S8	1 685	N33°30'36"	E111°56'20"	棕壤 Brown soil	11	6	12
S9	1 645	N33°30'43"	E111°56'21"	棕壤 Brown soil	8	10	12
S10	1 595	N33°30'41"	E111°56'09"	棕壤 Brown soil	10	8	12
S11	1 546	N33°30'43"	E111°56'05"	棕壤 Brown soil	11	6	5
S12	1 510	N33°30'43"	E111°56'02"	棕壤 Brown soil	9	9	12
S13	1 485	N33°30'46"	E111°56'02"	棕壤 Brown soil	8	10	7
S14	1 445	N33°30'48"	E111°56'02"	棕壤 Brown soil	12	9	4
S15	1 406	N33°30'46"	E111°55'57"	棕壤 Brown soil	10	12	4
S16	1 369	N33°30'42"	E111°55'53"	棕壤 Brown soil	7	9	5
S17	1 355	N33°30'40"	E111°55'37"	棕黄壤 Brown yellow soil	7	6	11
S18	1 301	N33°30'32"	E111°55'32"	棕黄壤 Brown yellow soil	5	5	6
S19	1 234	N33°30'29"	E111°55'28"	棕黄壤 Brown yellow soil	6	8	5
S20	1 227	N33°30'27"	E111°55'26"	棕黄壤 Brown yellow soil	8	11	8
S21	1 187	N33°30'13"	E111°55'21"	棕黄壤 Brown yellow soil	9	8	9
S22	1 144	N33°30'07"	E111°55'10"	棕黄壤 Brown yellow soil	4	8	8
S23	1 078	N33°30'03"	E111°55'19"	黄棕壤 Yellow brown soil	9	13	9
平均值 Average					8.3	8.6	9.5

2.2 伏牛山南、北坡植物物种多样性与主要生态因子的相关性分析

2.2.1 北坡植物物种多样性与主要生态因子的相关性分析 采用 SPSS 13.0 统计分析软件中的 CCA 模块对影响伏牛山北坡植物物种多样性的生态因子进行排序,共筛选出 9 个主要的生态因子,包括海拔、坡位和坡向 3 个地形因子;大气温度和大气湿度 2 个气象因子;土壤厚度以及土壤有机质、碱解氮和速效磷含量 4 个土壤性状因子。

对伏牛山北坡 15 个样地的物种多样性(包括乔木、灌木和草本植物的种类数以及乔木的 Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数)指标与上述 9 个主要生态因子的 Pearson 相关性分析结果见表 3。

由表 3 可知:伏牛山北坡 15 个样地的乔木种类数与土壤厚度呈极显著正相关($P < 0.01$),与海拔呈显著负相关($P < 0.05$),与坡向、大气温度和土壤速效磷含量均呈显著正相关;灌木种类数仅与坡向呈显著正相关,与其他生态因子均无显著相关性;草本种类数与大气温度呈极显著正相关,与土壤有机质含量和碱解氮含量均呈显著正相关;乔木的 Margalef 指数与海拔呈极显著负相关,与土壤厚度和速效磷含量均呈极显著正相关,与坡向和大气湿度均呈显著正相关,与坡位呈显著负相关;乔木的 Shannon-Wiener 指数与海拔和土壤厚度分别呈极显著的负相关和正相关,而与坡位呈显著负相关,与大气温度和土壤速效磷含量均呈显著正相关。

表 3 伏牛山北坡样地植物物种多样性与主要生态因子的相关系数¹⁾

Table 3 Correlation coefficient between species diversity and main ecological factors on north slope plots of Fu'niu Mountain¹⁾

指标 Index	不同指标间的相关系数 Correlation coefficient among different indexes													
	NA	NS	NH	D	H	Al	SP	As	AT	AH	ST	OMC	ANC	APC
NA	1.000													
NS	0.258	1.000												
NH	0.404	-0.118	1.000											
D	0.858**	-0.008	0.286	1.000										
H	0.901**	0.097	0.279	0.890**	1.000									
Al	-0.542*	0.099	0.067	-0.689**	-0.701**	1.000								
SP	-0.357	0.287	-0.169	-0.566*	-0.529*	0.819**	1.000							
As	0.603*	0.553*	0.049	0.544*	0.414	-0.297	-0.220	1.000						
AT	0.641*	-0.094	0.667**	0.490	0.569*	-0.557*	-0.573*	0.251	1.000					
AH	0.150	-0.332	-0.271	0.530*	0.368	-0.694**	-0.673**	0.176	0.092	1.000				
ST	0.761**	-0.253	0.493	0.689**	0.744**	-0.315	-0.324	0.188	0.528*	0.025	1.000			
OMC	0.190	0.347	0.638*	-0.041	-0.033	0.537*	0.367	0.140	0.070	-0.668**	0.231	1.000		
ANC	0.279	0.017	0.540*	0.437	0.176	-0.174	-0.415	0.396	0.303	0.134	0.163	0.294	1.000	
APC	0.553*	0.170	0.242	0.724**	0.629*	-0.656**	-0.712**	0.529*	0.381	0.472	0.320	0.031	0.690**	1.000

¹⁾ NA: 乔木种类数 Number of arbor species; NS: 灌木种类数 Number of shrub species; NH: 草本种类数 Number of herb species; D: 乔木的 Margalef 指数 Margalef index of arbor; H: 乔木的 Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index of arbor; Al: 海拔 Altitude; SP: 坡位 Slope position; As: 坡向 Aspect; AT: 大气温度 Air temperature; AH: 大气湿度 Air humidity; ST: 土壤厚度 Soil thickness; OMC: 土壤有机质含量 Organic matter content in soil; ANC: 土壤碱解氮含量 Available nitrogen content in soil; APC: 土壤速效磷含量 Available phosphorus content in soil. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

2.2.2 南坡植物物种多样性与主要生态因子的相关性分析 采用 SPSS 13.0 统计分析软件中的 CCA 模块对影响伏牛山南坡植物物种多样性的生态因子进行排序,共筛选出 9 个主要的生态因子,包括海拔、坡向、坡度和阴阳坡 4 个地形因子;风速和大气湿度 2 个气象因子;土壤厚度以及土壤有机质和速效钾含量 3 个土壤性状因子。

对伏牛山南坡 23 个样地物种多样性(包括乔木、灌木和草本植物的种类数以及乔木的 Margalef 指数

和 Shannon-Wiener 指数)指标与上述 9 个主要生态因子的 Pearson 相关性分析结果见表 4。

由表 4 可知:乔木种类数仅与土壤有机质含量呈显著正相关($P < 0.05$);灌木种类数与 9 个主要生态因子的相关性均不显著;而草本种类数除与海拔和大气湿度分别呈极显著正相关和负相关($P < 0.01$)外,还与坡度和阴阳坡呈显著负相关,与土壤厚度和有机质含量呈显著正相关。另外,乔木的 Margalef 指数与土壤有机质含量和坡向分别呈极显著正相关和负相

表4 伏牛山南坡样地植物物种多样性与主要生态因子的相关系数¹⁾Table 4 Correlation coefficient between species diversity and main ecological factors on south slope plots of Fu' niu Mountain¹⁾

指标 Index	不同指标间的相关系数 Correlation coefficient among different indexes													
	NA	NS	NH	D	H	Al	As	Sl	WS	SASS	ST	AH	OMC	APC
NA	1.000													
NS	0.249	1.000												
NH	0.110	-0.396	1.000											
D	0.779**	-0.028	0.335	1.000										
H	0.749**	0.284	0.349	0.738**	1.000									
Al	0.146	-0.277	0.713**	0.399	0.282	1.000								
As	-0.395	0.108	-0.335	-0.606**	-0.511*	-0.429*	1.000							
Sl	0.014	0.340	-0.513*	-0.015	0.084	-0.228	-0.015	1.000						
WS	-0.053	0.395	-0.196	-0.177	0.061	-0.177	-0.152	0.111	1.000					
SASS	-0.105	0.050	-0.473*	-0.402	-0.337	-0.396	0.741**	0.002	-0.262	1.000				
ST	0.159	-0.334	0.464*	0.349	0.073	0.590**	-0.085	-0.218	-0.415*	-0.142	1.000			
AH	-0.212	0.009	-0.539**	-0.402	-0.202	-0.844**	0.422*	0.275	0.058	0.299	-0.410	1.000		
OMC	0.463*	0.059	0.430*	0.597**	0.537**	0.698**	-0.581**	-0.173	0.068	-0.377	0.273	-0.737**	1.000	
APC	0.026	0.131	0.138	-0.049	0.172	0.305	-0.321	0.026	0.373	-0.338	-0.136	-0.243	0.450*	1.000

¹⁾ NA: 乔木种类数 Number of arbor species; NS: 灌木种类数 Number of shrub species; NH: 草本种类数 Number of herb species; D: 乔木的 Margalef 指数 Margalef index of arbor; H: 乔木的 Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index of arbor; Al: 海拔 Altitude; As: 坡向 Aspect; Sl: 坡度 Slope; WS: 风速 Wind speed; SASS: 阴阳坡 Sunny and shady slope; ST: 土壤厚度 Soil thickness; AH: 大气湿度 Air humidity; OMC: 土壤有机质含量 Organic matter content in soil; APC: 土壤速效钾含量 Available potassium content in soil. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

关;乔木的 Shannon-Wiener 指数与土壤有机质含量呈极显著正相关,与坡向则呈显著负相关。

3 讨论和结论

在伏牛山海拔 1 645 ~ 1 870 m 的样地内,北坡每个样地的乔木、灌木和草本植物种类数平均值均低于南坡。这可能是因为伏牛山地区为中国北亚热带和暖温带的分界区域,南坡的宝天曼位于东南季风迎风坡,降雨量和光照充足、大气湿度大且土壤肥沃,所以植物种类丰富;北坡的白云山则属暖温带,相对而言其降雨量、光照、大气湿度和土壤肥力均较差,因此植物物种多样性较小。这一研究结果与胡玉佳等^[18]及唐志尧等^[19]的研究结果基本一致。

本研究结果表明:伏牛山各样地的地形因子(尤其是海拔)和土壤性状因子均能够影响伏牛山南、北坡植被的分布格局,并且土壤有机质含量和土壤厚度与乔木的 Shannon-Wiener 指数密切相关,这一研究结论与刘世梁等^[20]和任国学等^[21]的研究结果一致。由于受外界土壤及大环境的地形因素影响较小,林下草本种类多样性主要与局地小生境气象因子的相关性较大,如气温和湿度等^[22-23];而本研究中灌木种类多样性变化规律不明显,可能是大环境条件控制与小生境直接影响综合作用的结果^[23-25]。

总的来说,伏牛山南、北坡样地植物物种多样性特征主要有以下 3 点:①伏牛山南坡样地的物种多样性比北坡样地更丰富,特别是在海拔 1 645 ~ 1 870 m 的样地上这一分布规律更加显著。②北坡样地的乔木种类数、乔木的 Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数均与土壤厚度呈极显著正相关,与海拔呈极显著负相关;而南坡样地的乔木 Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数均与土壤有机质含量呈极显著正相关。③伏牛山南、北坡样地的乔木多样性主要与土壤厚度和有机质含量等土壤性状因子有关,草本多样性则与大气温度和大气湿度等局地小气候因子关系密切,影响灌木多样性变化的主要生态因子尚不明确。

致谢: 本研究的野外工作得到河南师范大学生命科学学院李发启教授全程指导,并得到河南伏牛山国家级自然保护区白云山管理局张培敏高级工程师和焦建峰工程师的鼎力支持,以及河南宝天曼国家级自然保护区管理局朱学灵高级工程师和李荣岑工程师的无私援助,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 方精云,沈泽昊,崔海亭. 试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 10-19.
- [2] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001: 353-360.
- [3] JANKOWSKI T, WEYHENMEYER G A. The role of spatial scale and area in determining richness-altitude gradients in Swedish lake

- phytoplankton communities[J]. *Oikos*, 2006, 115(3): 433-442.
- [4] 张昌顺, 谢高地, 陈 龙, 等. 地形和乔木结构对热带北缘与南亚热带过渡带林下植被分布的影响[J]. *资源学报*, 2012, 34(7): 1232-1239.
- [5] 沈泽昊. 山地森林样带植被-环境关系的多尺度研究[J]. *生态学报*, 2002, 22(4): 461-470.
- [6] 方精云. 探索中国山地植物多样性的分布规律[J]. *生物多样性*, 2004, 12(1): 1-4.
- [7] STERNBERG M, MAXIM S. Influence of slope aspect on Mediterranean woody formations: Comparison of a semiarid and an arid site in Israel[J]. *Ecological Research*, 2001, 16(2): 335-345.
- [8] DEGÓRSKI M. Pedodiversity as a part of geodiversity in creation of landscape structure[M] // BRANDT J, VEJRE H. Multifunctional Landscapes: Vol. II. Monitoring, Diversity and Management. Boston: WIT Press, 2003: 105-121.
- [9] ELGERSMA A M, DHILLION S S. Geographical variability of relationships between forest communities and soil nutrients along a temperature-fertility gradient in Norway [J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, 158: 155-168.
- [10] PÄRTEL M, HELM A, INGERPUU N, et al. Conservation of Northern European plant diversity: The correspondence with soil pH[J]. *Biological Conservation*, 2004, 120(4): 525-531.
- [11] SOLON J, DEGÓRSKI M, ROO-ZIELIŃSKA E. Vegetation response to a topographical-soil gradient[J]. *Catena*, 2007, 71(2): 309-320.
- [12] 马建华. 试论伏牛山南坡土壤垂直分异规律: 兼论亚热带北界的划分[J]. *地理学报*, 2004, 59(6): 998-1011.
- [13] 丁圣彦, 卢训令. 伏牛山和鸡公山自然保护区植物区系比较[J]. *地理研究*, 2006, 25(1): 62-70.
- [14] 胡 楠, 范玉龙, 丁圣彦, 等. 伏牛山自然保护区森林生态系统乔木植物功能型分类[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(5): 1104-1115.
- [15] 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型的分类[J]. *生态学报*, 2008, 28(7): 3092-3101.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [18] 胡玉佳, 汪永华, 丁小球, 等. 海南岛五指山不同坡向的植物物种多样性比较[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2003, 42(2): 86-89.
- [19] 唐志尧, 方精云, 张 玲. 秦岭大白山木本植物物种多样性的梯度格局及环境解释[J]. *生物多样性*, 2004, 12(1): 115-122.
- [20] 刘世梁, 马克明, 傅伯杰, 等. 北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究[J]. *植物生态学报*, 2003, 27(4): 496-502.
- [21] 任国学, 刘金福, 徐道炜, 等. 戴云山国家级自然保护区黄山松群落类型与物种多样性分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2011, 20(3): 82-88.
- [22] 杨再鸿, 杨小波, 余雪标, 等. 海南桉树林林下植物多样性特点的简单相关分析[J]. *浙江林学院学报*, 2007, 24(6): 725-730.
- [23] 南海龙, 韩海荣, 马钦彦, 等. 太岳山针阔混交林林隙草本和灌木物种多样性研究[J]. *北京林业大学学报*, 2006, 28(2): 52-56.
- [24] 张忠义, 韩艳英, 段绍光, 等. 宝天曼栎类天然林物种多样性海拔分布研究[J]. *河南科学*, 2005, 23(6): 819-822.
- [25] 郑敬刚, 张有福, 王 云, 等. 太行山中段植被分布特征及其多样性研究[J]. *河南科学*, 2009, 27(3): 292-294.

(责任编辑: 佟金凤)

(上接第37页 Continued from page 37)

- [7] 李建鹏, 洪 伟, 林 哈, 等. 主成分分析和投影寻踪法在雷公藤优树选择中的应用[J]. *西南林学院学报*, 2009, 29(3): 26-30.
- [8] 洪 伟, 唐佳栋, 吴承祯, 等. 泰宁雷公藤根系分布规律[J]. *福建林学院学报*, 2007, 27(2): 97-100.
- [9] 杨细明, 洪 伟, 吴承祯, 等. 雷公藤无性系苗木光合生理特性研究[J]. *福建林学院学报*, 2008, 28(1): 14-18.
- [10] 吴承祯, 洪 伟, 杨细明, 等. 雷公藤无性系光合特性与内源植物激素关系的研究[J]. *江西农业大学学报*, 2010, 32(5): 968-973.
- [11] 范文洁. 雷公藤种源地理遗传变异规律研究[D]. 福州: 福建农林大学林学院, 2010: 23-30.
- [12] 杨细明. 雷公藤速生无性系的早期选择[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(9): 17-18, 24.
- [13] 叶协锋, 刘国顺, 凌爱芬, 等. 烤烟巨豆三烯酮含量与土壤理化性状的典型相关分析[J]. *生态学报*, 2009, 29(8): 4223-4230.
- [14] 李跃林, 彭少麟, 李志辉, 等. 桉树人工林地土壤酶活性与微量元素含量的关系[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 345-348.
- [15] 林江波, 潘大仁, 潘世明, 等. 果蔗叶片生理生化指标与品质性状的典范相关分析[J]. *热带亚热带植物学报*, 2008, 16(3): 230-235.
- [16] 许自成, 陈 伟, 肖汉乾, 等. 烤烟硝酸盐含量与土壤养分的关系[J]. *生态学报*, 2006, 26(6): 1889-1895.
- [17] TAKAISHI Y, WARIISHI N, TATEISHI H, et al. Triterpenoid inhibitors of interleukin-1 secretion and tumour-promotion from *Tripterygium wilfordii* var. *regelii* [J]. *Phytochemistry*, 1997, 45(5): 969-974.

(责任编辑: 张明霞)