

宝天曼自然保护区植物物种多样性与 其主要生境因子相关性

许传阳, 陈志超, 郝成元

(河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000)

摘要:植物物种多样性及其环境因子关系研究一直是自然地理学和生态学的重要研究内容之一。采用实地调查法对伏牛山南坡的宝天曼自然保护区 23 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测算。在此基础上,运用主成分分析法筛选出影响植物物种多样性的主要环境因子并进行相关性分析。主成分分析结果显示,研究区物种多样性变化的主成分不明确。但相关性分析结果表明:3 类环境要素中,土壤性状最强、地形地貌次之、气象要素最弱;15 个环境因子中,土壤有机质与物种多样性相关性最显著;3 种植物生活型中,草本与环境因子最显著,乔木次之,灌木最不明显。

关键词:物种多样性;环境因子;宝天曼自然保护区;主成分分析;相关性

中图分类号:Q948.11

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2014)09-1623-05*

Correlationship between plant species diversity and its main environmental factors in Baotianman Nature Reserve

XU Chuan-yang, CHEN Zhi-chao, HAO Cheng-yuan

(College of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: Research on plant species diversity and its correlation with environmental factors have been one of the important contents in geography and ecology. By means of investigation method, the statistical analysis and calculation on species number of arbor, shrub and herb in 23 plots in Baotianman Nature Reserve on south slope of Fu'niu Mountain, as well as Margalef and Shannon-Wiener indexes of arbor were carried out. On these bases, the main environmental factors influencing on species diversity were screened out by principal component analysis (PCA), and the Pearson correlation was used to analyze the correlation between plant diversity and environmental factors. According to the PCA, the main ingredient was not clear in explaining the spatial variation pattern of vegetation species diversity. However, correlation analysis results showed that the correlation between soil properties and plant diversity was the most strong, followed by topographic elements and meteorological elements. Among the 15 environmental factors, there was the most significant relationship between soil organic matter and plant diversity. For the three plant type, herbage has the most strong correlation with environmental factors, then arbor and shrub.

Key words: plant diversity; environmental factors; Baotianman Nature Reserve; principal component analysis; correlation

Corresponding author: CHEN Zhi-chao E-mail:logczc@163.com

* 收稿日期:2014-05-29 接收日期:2014-08-05

基金项目:国家自然科学基金(41371105)

第一作者:许传阳(1977-),男,山东莒县人,讲师,硕士,主要从事区域环境变迁研究。E-mail:xcy@hpu.edu.cn

通信作者:陈志超(1980-),男,河南新野人,副教授,硕士,主要从事土地生态学研究。E-mail:logczc@163.com

宝天曼自然保护区位于我国南北区域分界“秦岭—淮河”主要组成部分的伏牛山南坡,是我国列入联合国“人与生物圈计划”的31个自然保护区之一(截止到2012年底),也是我国陆地生物多样性的关键地区之一。朱学灵等^[1-2]在宝天曼自然保护区物种多样性及生境多样性全面调查的基础上,重点探讨了物种水平分布和垂直分布规律,得出地形和海拔高度是影响宝天曼自然保护区物种多样性分布格局的主要因素;史作民等^[3-4]在宝天曼自然保护区内设置100个群落样地,应用二元指示种分析和无偏对应分析方法定量了植物群落和环境因子之间的相关性,得出热量和水分是群落空间分布的主要原因;闫东锋等^[5-6]利用宝天曼自然保护区32个野外样地的调查数据,通过代表植被群落、地形和环境的21个指标,采用主成分分析、聚类分析和典范相关分析方法,研究了它们三者之间的定量耦合关系;袁志良等^[7]、郭建荣等^[8]就宝天曼自然保护区树种多样性的维持机制及不同林龄锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)林分土壤物理性质和水源涵养功能差异进行了探讨。但截至目前,宝天曼自然保护区内包括地形地貌、气候气象、土壤性状等多种主要生境因子与其乔木、灌木、草本等物种多样性的相关性对比研究还尚无系统报道。

因此,本研究从植物物种多样性及其与生态因子之间的关系度量出发,探析伏牛山山地效应及其影响下的生境特征与植物种类多样性的分布关系,以期揭示山地植被与地理环境之间的相互作用关系。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

宝天曼自然保护区位于伏牛山(110°30′—113°05′E、33°10′—34°10′N)南坡,≥10℃积温4 815~4 907℃·d,年均降水量931 mm,曼顶海拔1 863 m,林木茂密,物种繁多,森林覆盖率达95.8%,其核心区天然林依然保持着过渡带山地生态系统的地带性原始状态,自下而上的森林植被构成了常绿阔叶树种的落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针叶与落叶阔叶混交林、亚高山灌丛草甸4个较为完整清晰的垂直带^[9]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 本研究选择宝天曼曼顶路线,在海拔1 078 m~1 863 m范围内,海拔每升高50 m

设置一个样地,在人类活动影响弱、林木郁闭度相近、地形较为平坦的地点,共设置23个样地,于2011年6月4日至9日进行野外植物样方调查和土壤取样(表1)。

1.2.2 指标测定

1) 物种多样性

乔木层样地面积大小为10 m×10 m,其中心及四角分别设2 m×2 m的灌木层样方和1 m×1 m的草本层样方。直接统计每个样地乔木层物种数,而样地内灌木层和草本层种类数则为5个样方的平均值。本研究中的乔木物种丰富度以Margalef指数(D)表示,物种多样性以Shannon-Wiener指数(H)表示。

$$D = (S - 1) / \ln N;$$

$$H = - \sum (P_i \ln P_i).$$

式中, S 为物种数, N 为所有物种的个体数之和; $P_i = N_i / N$, N_i 为种 i 的个体数。

2) 土壤样品采集及性状测定

每个样地取土层深度范围在15—30 cm,主要目的是减小包括土壤上部枯枝落叶不均、人为活动强度差异等外界因素对检测结果的影响。为了土壤样品采集的合理性和统一性,本研究以每个样地中的5个草本层样方区域作为土壤样品采集地,每个草本层样地各取100 g,混合后取其中100 g作为此样地的土壤样品。现场测定土层厚度,实验室测定电导率、pH值、有机质、全氮、碱解氮、速效磷、全钾和速效钾等8个指标。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),pH值测定采用电位法(土水质量比1:2.5),有机质、全氮、碱解氮、速效磷、全钾、速效钾的含量测定方法分别为重铬酸钾氧化法、半微量凯氏定氮法、氯化钾浸提—分光光度计法、碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法、酸溶—火焰光度计法和醋酸铵浸提—火焰光度计法^[10-11]。

3) 气象和地形数据获取

使用LM-8000手持式四合一气象仪现场测定风速和大气湿度2个因子;收集或计算样地的海拔、坡向、风向坡和阴阳坡4个因子。其中,坡位分为坡麓、下、中、上、山顶5种,坡形有阶梯、复合、凹、平直、凸5类,风向坡则分为向风坡、侧风坡和背风坡3种,阴阳坡则有阴坡、中性坡和阳坡3类。

1.2.3 数据处理及统计 先利用SPSS 19.0对23个样方内的15个环境因子进行主成分分析,抽提出

表 1 宝天曼自然保护区 23 个样地概况

Table 1 The survey of 23 plots of Baotianman Nature Reserve

样本编号 Serial number	海拔 Altitude/m	纬度 Latitude/°N	经度 Longitude/°E	乔木数 Arbor number	灌木数 Shrub number	草本数 Herb number
1	1 863	33.500 3	111.946 1	6	12	8
2	1 830	33.501 7	111.946 4	9	6	19
3	1 800	33.501 9	111.945 3	9	11	11
4	1 775	33.503 9	111.944 7	8	5	13
5	1 752	33.505 0	111.943 6	6	8	15
6	1 745	33.507 5	111.942 5	12	8	8
7	1 715	33.508 3	111.941 1	8	9	15
8	1 685	33.510 0	111.938 9	11	6	12
9	1 645	33.511 9	111.939 2	8	10	12
10	1 595	33.511 4	111.935 8	10	8	12
11	1 546	33.511 9	111.934 7	11	6	5
12	1 510	33.511 9	111.933 9	9	9	12
13	1 485	33.512 8	111.933 9	8	10	7
14	1 445	33.513 3	111.933 9	12	9	4
15	1 406	33.512 8	111.932 5	10	12	4
16	1 369	33.511 7	111.931 4	7	9	5
17	1 355	33.511 1	111.926 9	7	6	11
18	1 301	33.508 9	111.925 6	5	5	6
19	1 234	33.508 1	111.924 4	6	8	5
20	1 227	33.507 5	111.923 9	8	11	8
21	1 187	33.503 6	111.922 5	9	8	9
22	1 144	33.501 9	111.919 4	4	8	8
23	1 078	33.500 8	111.921 9	9	13	9

主要环境因子,然后对物种多样性与其主要环境因子进行 Pearson 相关分析。

2 结果与分析

2.1 环境因子的主成分分析

前 4 个主成分的累积贡献率仅为 76.304%,主成分不明确,直到第 5 个主成分,累积贡献率才高于 80%,为 82.760%(表 2)。其中,第Ⅰ主成分贡献率仅为 38.561%,海拔、湿度、电导率、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、全氮因子负荷系数较大,碱解氮负荷系数最大,为 0.924,可以认为第Ⅰ主成分承载了大部分因子的负荷系数;第Ⅱ主成分中,风向坡、土壤厚度、风速和全钾的负荷系数较高,第Ⅱ主成分这是 4 个因子的负荷系数;第Ⅲ主成分中,坡向(0.767)和阴阳坡(0.689)负荷系数较高,因此第Ⅲ主成分是地形地貌的负荷系数;第Ⅳ、第Ⅴ主成分是土壤性状的负荷系数。总体来看,第Ⅰ主成分承载了 8 个因子的负荷系数,第Ⅱ主成分承载了 4 个,基本上前两个主成分就承载了 15 个因子中的 12 个因子的负荷系数,但前两个主成分的累积贡献率仅仅

56.585%,对生境的解释性不强。分析主成分不突出的原因,一方面是因为环境因子间相关性较强,另一方面可能是设置的样地面积为 10 m² 比较小。

2.2 物种多样性与环境因子之间的相关性分析

经过对 15 个环境因子的 Pearson 相关性分析,从 23 个样地的 15 个环境因子中筛选出 8 个主要环境因子,包括 3 个地形地貌(海拔、坡向、阴阳坡)、3 个土壤性状(土壤厚度、有机质、速效钾)和 2 个气象要素(风速、大气湿度),然后对这 8 个因子与样地植物物种多样性指数进行相关性分析(表 3)。

分析其相关性可知,首先,宝天曼植物物种多样性与海拔、坡向、阴阳坡为主的地形地貌相关性较强。乔木物种丰富度 Margalef 指数、多样性 Shannon-Wiener 指数与坡向均呈显著负相关,相关系数分别为-0.606($P<0.01$)和-0.511($P<0.05$);草本种类数则与海拔极显著正相关($P<0.01$),与阴阳坡显著负相关,相关系数分别为 0.713 和-0.473;而灌木种类数与地形地貌无显著相关性。其次,研究区植物物种多样性与土壤厚度、土壤有机质、土壤速效钾关系较为密切。其中乔木种类数

表 2 15 个环境因子的主成分分析结果
Table 2 Principal component analysis result of 15 environmental factors

特征向量 Eigen vector	主成分 Principal component				
	I	II	III	IV	V
海拔 Altitude	0.810	−0.388	−0.024	0.060	0.054
坡向 Aspect	−0.475	0.138	0.767	0.206	0.092
风向坡 Windward or leeward slope	0.134	0.776	−0.316	0.201	−0.167
阴阳坡 Shady or sunny slope	−0.515	−0.001	0.689	0.159	−0.195
土壤厚度 Soil thickness	0.367	−0.659	0.137	0.478	0.175
大气湿度 Air humidity	−0.729	0.247	0.045	0.037	0.370
风速 Wind speed	−0.211	−0.786	−0.065	−0.200	0.468
土壤 pH 值 Soil pH	0.402	−0.104	−0.232	0.823	−0.066
电导率 Soil electric conductivity	0.856	0.258	0.180	0.073	0.114
有机质 Soil organic matter	0.770	−0.049	−0.032	−0.286	−0.276
碱解氮 Soil alkali-hydrolyzable nitrogen	0.924	0.052	0.253	−0.051	0.034
速效磷 Soil available phosphorus	0.701	0.315	0.446	−0.194	0.209
速效钾 Soil available potassium	0.520	0.326	−0.280	−0.015	0.495
全氮 Soil total nitrogen	0.874	0.108	0.355	0.043	0.001
全钾 Soil total potassium	−0.199	0.720	−0.019	0.158	0.348
贡献率 Contribution ratio/%	38.561	18.024	11.631	8.088	6.456
累积贡献率 Cumulative contribution ratio/%	38.561	56.585	68.216	76.304	82.760

表 3 宝天曼自然保护区样地植物物种多样性与其主要环境因子的相关系数
Table 3 Correlation coefficient between species diversity and main environmental factors on Baotianman Nature Reserve

指标 Indicator	NA	NS	NH	D	H	AL	As	SS	ST	OMC	APC	Ws	AH
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						
SS	−0.105	0.050	−0.473 *	−0.402	−0.337	−0.396	0.741 **	1.000					
ST	0.159	−0.334	0.464 *	0.349	0.073	0.590 **	−0.085	−0.142	1.000				
OMC	0.463 *	0.059	0.430 *	0.597 **	0.537 **	0.698 **	−0.581 **	−0.377	0.273	1.000			
APC	0.026	0.026	0.131 *	0.138	−0.049	0.172	0.305	0.026	−0.136	0.450 *	1.000		
Ws	−0.053	0.395	−0.196 *	−0.177	0.061	−0.177	−0.152	−0.262	−0.415 *	0.068	0.373	1.000	
AH	−0.212	0.009	−0.539 **	−0.402	−0.202	−0.844 *	0.422 *	0.299	−0.410	−0.737 **	−0.243	0.058	1.000

注:NA 为乔木种类数,NS 为灌木种类数,NH 为草本种类数,D 为乔木物种丰富度 Margalef 指数,H 为乔木物种多样性 Shannon-Wiener 指数,AL 为海拔,As 为坡向,SS 为阴阳坡,ST 为土壤厚度,OMC 为土壤有机质含量,APC 为土壤速效钾含量,Ws 为风速,AH 为大气湿度。* 表示显著相关($P<0.05$),** 表示极显著相关($P<0.01$)。

Note:NA,Number of arbor species; NS,Number of shrub species; NH,Number of herb species; D,Margalef index of arbor; H,Shannon—Wiener index of arbor; AL,Altitude; As,Aspect; SS,Shady or sunny slope; ST,Soil thickness; OMC,Organic matter content in soil; APC,A—available phosphorus content in soil; Ws,Wind speed; AH,Air humidity.* and ** indicate correlation significance at 0.05 and 0.01 level, respectively.

及其丰富度 Margalef 指数、多样性 Shannon-Wiener 指数分别与土壤有机质呈显著正相关、极显著正相关、极显著正相关,其相关性系数分别为 0.463、0.597、0.537;草本种类数与土壤厚度、有机质和速效钾均为显著正相关,相关系数分别为 0.464、0.430 和 0.131;但灌木种类数与土壤性状相关性不明显。其三,23 个样地的物种多样性与风速和大气湿度为主的气象要素相关性最差,仅有草本种类数与风速

和大气湿度呈显著负相关,其他均没有显著相关性。

研究区 23 个样地的乔木种类只与土壤有机质呈显著正相关,其 Margalef 指数与坡向、土壤有机质均呈极显著相关,Shannon-Wiener 指数则与土壤有机质有极显著关系;草本种类除与海拔和大气湿度呈极显著外,还与阴阳坡、土壤厚度、土壤有机质、土壤速效钾、风速均显著相关;而灌木种类数与所有环境因子均无显著相关性。

3 讨论和结论

植物物种多样性及其环境因子主成分和相关分析结果表明,地形、土壤和气象是影响植物群落变化的主要环境因子。相关研究表明:在中小尺度空间格局内,土壤养分是影响植物群落分化的限制性要素,而地形要素次之^[12-13];地形地貌可以通过制约光照、温度、水分,从而对植被的分布产生影响^[14-15]。特别在水热较为充足的山地南坡,草本物种多样性

空间变化与土壤性状、地形地貌相关性较强^[15-16]。本研究中灌木物种数与气象要素、地形地貌和土壤性状均没有显著相关性,可能与研究区中的森林植被普遍没有发育成熟空间表现不均有关^[17-18]。

总之,地处伏牛山南坡的宝天曼植物物种多样性与其主要生境因子之间的关系特征:1)宝天曼植物物种多样性变化的环境因子主成分不明确,即主成分生境的解释性不强;2)研究区植物物种多样性与土壤性状相关性最强,与地形地貌关系密切,与气象要素无显著相关性;3)在所有环境因子中,土壤有机质与研究区物种多样性相关明显,特别是乔木和草本;4)3种植物生活型相比较而言,草本植物与环境因子关系最显著,乔木次之,灌木最不明显。

致谢: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技术指导,得到河南宝天曼国家级自然保护区朱学灵高级工程师和李荣岑工程师的鼎力支持,在此一并感谢!

参考文献

- [1] 朱学灵,张孟仁,段伟,庞毅.内乡宝天曼自然保护区生物多样性空间特征研究[J].河南林业科技,1999,19(2):10-12.
- [2] 朱学灵,姚忠臣.宝天曼自然保护区山野菜物种多样性的海拔梯度分布格局[J].河南科技大学学报(自然科学版),2009,30(2):65-69.
- [3] 史作民,刘世荣,程瑞梅,蒋有序.河南宝天曼植物群落数量分类与排序[J].林业科学,2000,36(6):20-27.
- [4] 史作民,程瑞梅,刘世荣,蒋有序,陈宝金.宝天曼植物群落物种多样性研究[J].林业科学,2002,38(6):17-23.
- [5] 闫东锋,杨喜田.宝天曼木本植物群落数量排序与环境解释[J].生态环境学报,2010,19(12):2826-2831.
- [6] 闫东锋,杨喜田.宝天曼栎类天然群落环境解释的多元分析[J].中国水土保持科学,2011,9(2):100-105.
- [7] 袁志良,庄静静,朱学灵,叶丛云,叶永忠.宝天曼锐齿槲栎—华山松林样地物种组成及空间分布格局[J].河南农业大学学报,2011,45(4):411-418.
- [8] 郭建荣,庄静静,朱学灵,叶永忠.不同林龄对宝天曼自然保护区锐齿槲栎林土壤物理性质及其水源涵养功能差异性的影响[J].河南农业大学学报,2012,46(5):549-552.
- [9] 丁圣彦,卢讯令.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):63-64.
- [10] 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,1978:62-68,196-200.
- [11] 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,1999:12,85-87,107-109,146-150.
- [12] 娄安如.天山中段山地植被的生态梯度分析及环境解释[J].植物生态学报,1998,22(4):364-372.
- [13] 彭闪江,黄忠良,徐国良,欧阳学军,张池.生境异质性对鼎湖山植物群落多样性的影响[J].广西植物,2003,23(5):391-398.
- [14] 张谧,熊高明,陈志刚,樊大勇,谢宗强.神农架米心水青冈—曼青冈群落的地形异质性及其生态影响[J].生态学报,2004,24(12):2686-2692.
- [15] 沈泽昊,胡志伟,赵俊,王会.安徽牯牛降的植物多样性垂直分布特征——兼论山顶效应的影响[J].山地学报,2007,25(2):160-168.
- [16] 杨再鸿,杨小波,余雪标,李跃烈,吴庆书.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.
- [17] 杜丽侠,邢韶华.北京八达岭地区灌木群落空间分布格局与土壤环境因子的关系分析[J].西北植物学报,2009,29(3):601-607.
- [18] 杨立学,孙跃志.不同林龄胡桃楸林下植物多样性的差异[J].生态学杂志,2013,32(4):807-812.

(责任编辑 张瑾)