

北京山区森林景观格局与环境关系的 CCA 研究

周彬¹, 余新晓¹, 陈丽华¹, 张振明², 贺淑霞³

(1. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室 北京林业大学, 北京 100083;

2. 北京林业大学 自然保护区学院, 北京 100083; 3. 中国林业科学研究院 华北林业中心, 北京 100091)

摘要: 根据北京山区森林资源调查二类数据, 在 ArcGIS 的支持下, 采用网格样方的采样方法, 进行典范对应分析(CCA), 对北京山区的森林景观格局与环境因子关系进行了分析研究。结果表明, 在北京山区, 坡向、坡位和土壤厚度与森林景观类型的空间分布相关性较低, 森林景观类型的空间格局更多地受到海拔和坡度的影响, 海拔是控制森林景观类型空间分布的主要因素, 其次是坡度; 森林景观在总体上表现为人工林分布在低海拔地区, 天然林分布在高海拔地区, 这与景观类型在 CCA 排序图上的分布一致。

关键词: 北京山区; 森林景观; 典范对应分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0148-05

中图分类号: S718.51, P901

Relationships Between Forest Landscape and Environmental Factors in Beijing Mountainous Areas Based on CCA

ZHOU Bin¹, YU Xin-xiao¹, CHEN Li-hua¹, ZHANG Zhen-ming², HE Shu-xia³

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of

the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Forestry Centre of North China, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: According to the survey data of forest resources in Beijing mountainous areas by CCA analysis, the relationships between distribution of forest landscape patterns and environment factors were analyzed with the help of ArcGIS. Results showed that in Beijing mountainous areas, exposure, position, and soil thickness were not the dominant factors controlling landscape pattern. The first impact factor of the landscape distribution pattern was elevation and the second was slope. Distribution of plantation was in low altitude, while the distribution of natural forest was in high altitude. This was the same as the distribution of the landscape type in the CCA diagram.

Keywords: Beijing mountainous area; forest landscape; canonical correspondence analysis

森林景观是以森林生态系统为主体所构成的景观, 对其研究的目的在于揭示森林景观结构与立地因子相互影响的基本规律, 并通过科学的规划设计对景观实施生态保护、恢复、建设和管理^[1]。森林景观格局及其变化是环境变迁、生态过程及人类干扰长期作用的结果, 与森林景观的抗干扰能力、恢复能力、稳定性、生物多样性等有着密切联系, 并将直接影响森林景观的多效益发挥和可持续利用。

从区域尺度上来研究森林景观类型, 可以看到森林群落的异质性表现明显^[2-3]。从形成原因上来说, 造成这些分异的原因是地带性气候的差异。而在景

观尺度上, 非地带性的环境因子主导着植被的格局。尤其在山区, 环境因子中最主要的是地形地貌的变化^[4-5]。作为生境条件的一种综合指示, 地形特征是一个多维变量, 包括海拔、坡向、坡度等。地形因素控制了太阳辐射和降水的空间再分配, 影响着局部生境温度、湿度、土壤发育过程及其强度, 进而影响区域森林景观格局的组成、结构及动态变化, 并呈现出强烈的垂直地带性^[6-10]。

以往对植被群落与环境关系的研究主要集中在环境对群落整体的影响, 而对群落中不同层次、不同生态适应型的植物对环境异质性响应程度的差异, 以

收稿日期: 2010-04-20

修回日期: 2010-05-31

资助项目: 林业公益性行业科技专项经费项目“典型区域森林生态系统健康维护与经营技术研究”(20080422)

作者简介: 周彬(1986—), 男(壮族), 广西省柳州市人, 硕士研究生, 主要从事水土保持及森林生态方面的研究。E-mail: zhoubin_shb@bjfu.edu.cn.

通信作者: 余新晓(1961—), 男(汉族), 甘肃省平凉市人, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持及森林水文方面的研究。E-mail: yuxinxiao111@126.com.

及环境因子在植物群落分布格局形成过程中贡献大小的差异研究很少。因此,要对复杂多变的森林景观进行深入的认识和有效的管理,就需要对森林景观的空间格局进行科学的分析。

本研究在GIS的支持下,通过提取北京山地区森林景观分布图,并采用典范对应分析(CCA)方法量化分析不同地形因子对北京山区森林景观格局的影响。从立地条件和林分空间结构角度,为北京山区森林生态系统的健康经营提供科学依据。

1 研究区概况

北京市位于华北平原,地理坐标为东经 $115^{\circ}25'$ — $117^{\circ}30'$,北纬 $39^{\circ}28'$ — $41^{\circ}05'$ 。西部属太行山脉,北部和东部属燕山山脉,自西、北、东三面环抱北京市,是重要的生态屏障。山区外露的基岩,包括从新生代到太古代的绝大部分岩层和不同时期的火成岩,地质构造比较复杂,平原部分,大多被第四纪沉积物所覆盖。北京市地貌类型复杂,植物多样,气候垂直差异性明显。多年平均降水量600 mm,属暖温带半湿润大陆性季风气候。山区面积 $1.04 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全市国土总面积的62%。北京山区主要优势树种有油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、桦树(*Betula alleghansis*)、栎类(*Quercus* spp.)、山杨(*Populus davidiana*)和其它阔叶树等。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理方法

本研究采用北京市“十五”森林资源二类调查小班区划矢量图及二类调查小班数据库,应用ArcGIS 9.3软件,以小班号字段联合小班区划图和小班数据库,得到北京山区不同森林类型的分布状况。

2.2 北京山区森林景观区划

森林景观类型是北京山区森林在景观尺度上可分辨的相对同质单位,是研究森林景观空间格局的基础^[11]。根据北京山区土地利用区划结果和研究需要,对北京山区森林景观类型作了进一步的划分,具体步骤是根据所选取的1:5万森林分布图的分辨率,选择以景观基质层特征为主,即重点考虑森林优势树种,并结合地类、起源进行森林景观类型划分,将北京山区的森林景观划分为下列18种森林景观类型。具体的分类结果见表1。

2.3 CCA分析法

植被与环境关系主要采用多元线性回归、相关分析、因子分析、协方差分析和地统计学分析方法等多

种统计方法,但当变量数据较多时,直线相关等分析受到了限制,如植被分布沿着环境梯度更多的是呈单峰型分布;而且对于山区,由于地形地貌变化幅度大,利用地统计学研究植被的空间变异将产生较大的误差。数量生态学中的典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)方法,要求变量的非直线分布很好地解决了这个问题。典范对应分析,是基于对应分析发展而来的一种排序方法,将对应分析与多元回归分析相结合,每一步计算均与环境因子进行回归,又称多元直接梯度分析^[1]。CCA是为分析植被和环境的关系而设计的方法,它们在植物群落与环境分析中无疑具有优越性。

表1 北京山区森林景观区划结果

森林类型	优势树种	小斑 数/个	面积/ hm ²	面积所占 比例/%	
针 叶 纯 林	天然	油松 P ₀₁	344	4 372	0.91
		侧柏 P ₀₂	912	22 257	4.64
	人工	油松 P ₀₃	4 733	56 568	11.80
		落叶松 P ₀₄	458	7 116	1.48
		侧柏 P ₀₅	3 241	44 893	9.37
阔 叶 纯 林	天然	柞树 P ₀₆	3 356	96 899	20.22
		桦树 P ₀₇	320	11 145	2.33
		山杨 P ₀₈	522	11 413	2.38
		其它阔叶 P ₀₉	958	21 235	4.43
		柞树 P ₁₀	633	11 358	2.37
	人工	刺槐 P ₁₁	1 045	11 655	2.43
		杨树 P ₁₂	1 934	9 540	1.99
		其它阔叶 P ₁₃	503	4 893	1.02
		经济林 P ₁₄	9 170	108 472	22.64
混 交 林	天然	针叶 P ₁₅	159	3 884	0.81
		阔叶 P ₁₆	542	12 985	2.71
	人工	针叶 P ₁₇	2 070	31 793	6.63
		阔叶 P ₁₈	568	8 732	1.82

CCA的基本思路是在对应分析的迭代过程中,每次得到的样方排序坐标值均与环境因子进行多元线性回归。CCA要求两个数据矩阵,一个是植被数据矩阵,一个是环境数据矩阵。首先计算出一组样方排序值和种类排序值,然后将样方排序值与环境因子用回归分析方法结合起来,这样得到的样方排序值即反映了样方种类组成及生态重要值对群落的作用,同时也反映了环境因子的影响,再用样方排序值加权平均求种类排序值,使种类排序坐标值也与环境因子相联系^[12]。CCA排序法最大的优点在于它是基于单峰模型的排序方法,样方排序与对象排序对应分析,而且在排序过程中结合多个环境因子,因此可以把样方、对象与环境因子的排序结果表示在同一排序图上。CCA

被广泛采用,不仅因为它们结合环境因素,给出客观结果,而且因为它们有国际通用软件 CANOCO。

本研究使用 CANOCO for Windows 4.5 分析软件 and 与此相关的 CANODRAW 作图软件对研究区景观数据进行分析。

2.4 网格取样

由于形成的研究区森林景观图层的斑块数量过大,给分类研究带来很多不便,因此,须对研究区进行空间“网格”取样^[1]。

(1) 网格图层的建立。在 ArcGIS 下,采用 Create Fishnet 工具增加网格(网格边长为 500 m),得到研究区网格图层。并用北京山区森林景观的地区边

界图层进行切割(clip),删除边界线外的网格和不完整的网格。

(2) 网格取样。对切割后的网格图层进行统一编号,形成研究区样方属性数据库,本研究共抽取 4 241 个样方。

(3) 环境因子取值。由于网格取样将不同小班纳入同一网格,则同一网格内含有不同的环境因子值。为了便于计算,对环境因子进行分级,并以网格样方内小班面积比例作为权重,对网格样方中各森林景观的环境因子值加权平均,从而得到网格样方的环境因子值。环境因子分级及样方的环境因子值分别如表 2—3 所示。

表 2 环境因子分级

因子级别	1	2	3	4	5	6	7
坡向	南	西南、东南	西、东	西北、东北	北		
坡度/(°)	≤5	5~15	15~25	25~35	35~45	>45	
坡位	脊	上坡位	中坡位	下坡位	坡谷	平地	
海拔/m	≤300	300~600	600~900	900~1 200	1 200~1 500	1 500~1 800	>1 800
土壤厚度/cm	≤10	10~20	20~30	30~40	>40		

表 3 各样方环境因子属性

编号	坡向	坡度	坡位	海拔	土壤厚度
1	4	4	5	1	2
2	5	3	6	1	3
3	4	3	5	1	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
4 239	4	4	5	4	4
4 240	3	4	5	4	4
4 241	3	4	5	5	4

(4) 样方多度。以网格样方内森林景观类型的组成数量作为该样方的多度,如表 4 所示。

3 结果分析

3.1 森林景观总体特征

北京山区共有 $1.03 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中森林总面积 $4.79 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占总面积的 46.48%。北京山区森林景观类型以经济林,天然柞树林,人工油松林和人工侧柏林居多,共 $3.06 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占森林总面积的 64.03%。北京山区的混交林主要为人工针叶混交林,总面积 $3.20 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占森林总面积的 6.63%。

北京山区各森林景观类型中经济林面积最大 $1.08 \times 10^5 \text{ hm}^2$,天然混交针叶林面积最小 $4.00 \times 10^3 \text{ hm}^2$,面积差为 $1.04 \times 10^5 \text{ hm}^2$,各森林景观类型的总面积分布极不均衡。各森林景观类型的面积大小依次为:经济林>天然柞树林>人工油松林>人工侧柏

林>人工混交针叶林>天然侧柏林>天然其它阔叶林>天然混交阔叶林>人工刺槐林>天然山杨林>人工柞树林>天然桦树林>人工杨树林>人工混交阔叶林>人工落叶松林>人工其它阔叶林>天然油松林>天然混交针叶林。各森林景观类型面积差异明显,呈现出森林的破碎化状态。各森林景观类型面积占整个景观类型面积的比例能够从一定意义上给出每个森林景观类型对整个森林景观的相对贡献率。各类森林景观在整个森林景观中所占的比例的大小顺序与森林景观类型面积相同,经济林类型最大为 0.23,接近整个景观面积的 1/5 以上,天然柞树林次之占 0.2,两者值和为 0.43,接近整个景观面积的 1/2,由此可见,北京山区的主导森林景观类型为经济林类型和天然柞树林。人工油松林所占比例为 0.12,说明其也是北京山区一类重要的森林景观类型。其它森林景观类型所占的比例相对很小,均小于 0.1,天然油松林、天然混交针叶林、人工其它阔叶林和天然混交针叶林这 4 种类型最小,仅为 0.01。对北京山区森林景观总体特征的研究将有助于揭示环境因子对森林景观格局的影响,并可指导森林经营工作。

3.2 森林景观格局与环境要素的关系

分别以表 3—4 为 CANOCO 环境数据源(environment. dta)和景观类型数据源(class. dta),构成种类数据矩阵,应用 CCA 分析方法对 18 种森林景观类型进行 CCA 分析,得到 CCA 排序图(图 1)。

表 4 森林景观类型多度

编号	P ₀₁	P ₀₂	P ₀₃	P ₀₄	P ₀₅	P ₀₆	P ₀₇	P ₀₈	P ₀₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈
1	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
4 239	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
4 240	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
4 241	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0

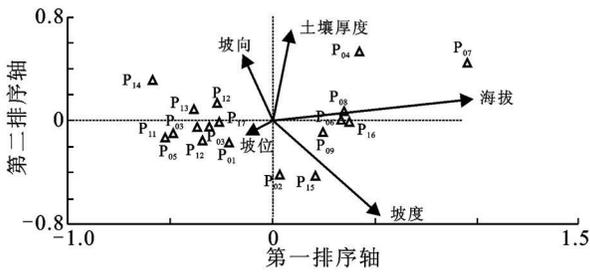


图 1 环境因子与景观类型 CCA 二维排序图

因为 CCA 排序轴同时结合了森林景观类型与环境因子, 因此, 森林景观类型和环境因子的关系很清楚。这可以从 CCA 二维排序图(图 1)上看起来。图中箭头代表各个环境因子, 所指的方向表示该环境因子的变化趋势, 连线的长短表示样方与该环境因子关系的大小。箭头所处象限, 代表着环境因子与排序轴间的正负相关性, 与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关性的大小; 箭头连线的长度代表着环境因子与排序轴相关性的大小, 箭头连线在排序轴中的斜率表示环境因子与排序轴相关性的大小。景观类型点之间的距离代表不同景观类型的空间分布差异, 从景观类型点到环境因子箭头的投影点的位置次序可以代表这些景观类型在该环境因子最适值的排序。

环境因子对森林景观类型分布的影响与环境关系的排序结果见图 1。图中前两个排序轴的特征值分别是 0.645 和 0.158, 景观类型和环境因子排序轴的相关系数为 0.853 和 0.487, 说明排序图第一轴能够很好地反映森林景观类型分布的相关信息。由表 5 可知, 在 CCA 排序图中, 与第一轴的关系, 海拔与森林景观类型分布为正相关, 且相关性最大, 相关系数为 0.834 7; 其次是坡度, 坡向、坡位和土壤厚度。这说明影响研究区景观分布的主要因子是海拔。根据森林资源调查二类数据统计可知, 森林景观类型在海拔上的分布: 经济林和人工侧柏林主要分布在海拔 300 m 以下, 所占比重分别为 62.45% 和 55.02%; 天然油松林、人工杨树林、人工柞树林、天然侧柏林、人工刺槐林、人工其它阔叶林、人工混交阔叶林、人工油

松林和人工混交针叶林都主要分布在海拔 300 ~ 600 m, 它们所占比重分别为 61.82%, 55.85%, 53.47%, 50.25%, 49.44%, 42.84%, 42.68%, 42.33% 和 36.41%; 而人工落叶松林主要分布在海拔 900 ~ 1 200 m, 所占比重为 44.61%; 天然其它阔叶林、天然柞树林、天然山杨林、天然混交针叶林、天然混交阔叶林主要分布在海拔 600 ~ 900 m, 所占比重为 52.10%, 47.61%, 46.02%, 43.41%, 37.69%。天然桦树林主要分布在 1 200 ~ 1 500 m, 所占比重为 41.05%。这与森林景观类型点在 CCA 排序图上沿海拔箭头方向分布趋势基本吻合。

第二排序轴则反映的是坡度对森林景观类型分布的变化情况, 而其它的环境因子不是影响森林景观类型格局的主要因子。根据森林二类调查数据知, 随着坡度的增加, 各森林景观类型数量先增加后减少。其中, 天然林主要分布在 25° ~ 35° 上, 人工林主要分布在 15° ~ 25° 上。而在 CCA 排序图中, 大部分森林景观类型集中分布在坡度箭头的起始点附近, 即坡度中值(15° ~ 25°)附近, 这与实际情况相符合(表 5)。

表 5 环境因子与 CCA 前两个排序轴的相关系数

环境因子	排序轴	
	1	2
坡向	-0.123 9	0.256 2
坡度	0.454 5	-0.366 0
坡位	-0.119 0	-0.063 8
海拔	0.834 7	0.084 4
土壤厚度	0.077 4	0.345 3

3.3 森林景观格局分布的主导因素确定

依据以上结果分析表明, 沿第一轴, CCA 能很明显地把森林景观类型与环境因子的相关关系大小区分开, 由此可知, 北京山区森林景观格局分布的主导因素是海拔, 北京山区森林景观在总体上表现为人工林分布在低海拔地区, 天然林分布在高海拔地区。另一个重要的环境因子是坡度, 且随着坡度的增加, 各

森林景观类型数量先增加后减少,原因在于人们都会选择在低海拔较平坦的地区进行植树造林。

4 结论

(1) 北京山区森林格局是树种与环境相互适应、相互作用的结果,它不仅与树种的生物学特性和种群间竞争排斥有关,而且与树种的生境(海拔、坡度等)有密切关系。

(2) 典范对应分析(CCA)同时综合了森林景观类型分布和环境因子,不但能够分析森林景观类型的空间分布格局差异,还能够区分出不同的环境因子对森林景观类型分布的影响程度。CCA分析结果表明,不同的环境因子对森林景观分布的影响程度不同,其中海拔的影响最大,其次依次为坡度、坡向、坡位和土壤厚度对森林景观分布的影响较弱,这主要是由于北京山区脆弱的生态环境造成的。

(3) 利用典范对应分析(CCA),综合研究北京山区森林景观类型分布和环境因子之间的关系,但仅局限在本研究的尺度上,然而在其它地区森林景观类型分布和环境因子之间的关系有待于进一步的研究。典范对应分析(CCA)能够对不同环境因子对森林景观类型分布的影响程度进行排序,提供了一种量化环境因素和森林景观分布之间关系的方法,但每个环境因子导致森林景观分布的具体权重大小有待于进一步探讨。

[参 考 文 献]

[1] 郭晋平. 森林景观生态研究[M]. 北京: 北京大学出版

社, 2001.

- [2] 沈泽昊, 张新时, 金义兴. 地形对亚热带山地景观尺度植被格局影响的梯度分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(4): 430-435.
- [3] 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.
- [4] Jongman R H G, Ter Braak C J F, van Tongeren O F R. Data analysis in community and landscape ecology[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- [5] Pinder J E, Kroh G C, White J D, et al. The relationships between vegetation types and topography in Lassen Volcanic National Park[J]. Plant Ecol., 1997, 131: 17-29.
- [6] Turner M G, Gardner R H. Quantitative methods in landscape ecology[M]. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [7] 郭冻, 夏北成, 刘蔚秋. 地形因子对森林景观格局多尺度效应分析[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 900-904.
- [8] 郭晋平, 薛俊杰, 李志强. 森林景观恢复过程中景观要素斑块规模的动态分析[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 218-223.
- [9] 郭晋平, 张芸香. 森林景观恢复过程中景观要素空间分布格局及其动态研究[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2021-2029.
- [10] Ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. Ecology, 1986, 67: 1167-1179.
- [11] 李明阳. 浙江临安森林景观生态动态变化分析[D]. 南京: 南京林业大学, 2000.
- [12] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量研究方法[J]. 山地学报, 2000, 18(4): 346-352.

(上接第147页)

- [8] 孙卫岳, 郑海龙, 黄颖蕾, 等. 生态护坡技术试验与研究[C] // 全国城市水利学术研讨会论文集. 上海: 中国水利学会城市水利专业委员会, 2003: 187-192.
- [9] 赵进勇, 孙东亚, 董哲仁. 生态型护岸工程的设计要点[C] // 水利部国际合作与科技司. 河流生态修复技术研讨会论文集. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 101-106.
- [10] Hemphill R W, Bramley M E. Protection of river and canal banks: A guide to selection and design[M]. London: CIRIA, 1989.
- [11] 杨芸. 论多自然型河流治理法对河流生态环境的影响[J]. 四川环境, 1998, 18(1): 19-24.
- [12] 日本土木学会. 滨水景观设计[M]. 孙逸增, 译. 大连: 大连理工大学出版社, 2002: 58-70.
- [13] Martin D. Bioengineering Techniques for Streambank Restoration: A Review of Central European Practices[M]. Washington: Ministry of Environment, Lands and Parks and Ministry of Forests, 1995: 1-9.
- [14] 杨海军, 李永祥. 河流生态修复的理论与技术[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2005: 96-124.