河北小五台山主要植被类型的分布与地形的关系： 基于遥感信息的分析

刘增力* 郑成洋 方精云

(北京大学环境学院生态学系, 北京大学生态学研究与教育中心, 北京大学地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要：小五台山是河北省最高峰, 具有较完整的暖温带植被垂直带谱。本文通过野外群落植被调查, 结合由 TM 遥感影像解译 1:50 000 地形图制作的 DEM 数据而得到的植被图, 分析了小五台山主要植被群落的分布状况及其与地形的关系。结果表明, 小五台山从低海拔到高海拔, 依次出现灌丛、阔叶林、针阔混交林、暗针叶林、矮林、灌丛、草甸等植被类型。森林景观的面积最大, 占总面积的 60.7%; 平均斑块面积最大的是阔叶林和亚高山草甸, 斑块破碎化最严重的是水体和针阔混交林。不同的植被类型在不同的地形条件下分布特点不同, 林地在北坡所占面积比例(占总面积的 75%) 远大于南坡(46%), 说明水分条件是小五台山森林分布的限制因子之一; 灌丛和草甸与林地相反。随海拔高度的变化, 不同植被类型的分布面积比例发生变化, 出现替代现象, 形成植被垂直带谱。由于坡度的影响, 增加了带谱内植被组成的复杂性。

关键词：小五台山 植被, DEM 遥感 植被图 多样性

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1005-0094(2004)01-0146-09

Relationship between the vegetation type and topography in Mt. Xiaowutai, Hebei Province: a remote sensing analysis

LIU Zeng-Li*, ZHENG Cheng-Yang, FANG Jing-Yun

Department of Ecology, College of Environmental Sciences, Center for Ecological Research & Education, and Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871

Abstract: Using data from a Digital Elevation Model (DEM), vegetation map derived from remote sensing, and field investigation, we analyzed the relationship between vegetation type and topography on Mt. Xiaowutai, Northern China. Covering 60.7% of the whole area, forests dominated the landscape. Broad-leaf forests and subalpine meadows were the two components with largest average patch size, whereas water body and mixed forest had the smallest patch size. Vegetation composition varied in different topographic conditions. Occupying 75% of the northern and 46% of the southern slope, forest was more dominant on shady slopes than on sunny slopes, suggesting the controlling role of water availability in the distribution of forest on Mt. Xiaowutai. Composition of vegetation types changed along the altitudinal gradient, resulting in a distinct zonation of the vegetation types. Vegetation types varied from low to high elevations as follows: shrub, broadleaved deciduous forest, mixed coniferous and broad-leaved forest, dark coniferous forest, krummholz, subalpine shrub and subalpine meadow. Slope increased the compositional complexity of vegetation types within each vegetation zone.

Key words: Mt. Xiaowutai, vegetation, DEM, Remote Sensing, vegetation map, diversity

1 引言

最早的异质性研究是对于生物与环境在不同时

空尺度下的变化规律的探讨, 即不同时空尺度下植被演替方面的研究。随着生态学的发展, 对异质性

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(No. 49971002 and 39830050)
收稿日期: 2003-06-12; 接受日期: 2003-09-10
作者简介: 刘增力, 男, 1971 年出生, 工程师。主要研究方向为植被生态学。E-mail: zlliu@ccermail.net
* 现工作单位: 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714 (Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714)

的认识也愈加深刻。其中,对环境异质性所表现出的梯度变化的认识,对生态学的发展起到了较大的推动作用(McIntosh, 1991)。

在山地植被生态学中,根据地形差异揭示植被空间分布规律,了解相关的自然因素的影响已成为一个重点研究领域(Florinsky & Kuryakova, 1996 ; Carmel & Kadmon, 1999 ; Urban *et al.*, 2000)。在山地生态学研究,高程、坡度和坡向是地形的三个主要属性,也是决定植被生境其他要素分异(如土壤、小气候、水文等)的主导因子(Miller *et al.*, 1996 ; Ostendorf & Reynolds, 1998 ; Pearson *et al.*, 1999)。地形影响一方面可以表现在植被垂直带谱、群落分布和种群分布等不同生物组建层面上(Roberts & Wuest, 1999 ; 沈泽昊等, 2000),另一方面也可以表现在生物多样性分布、群落结构甚至物种的能量结构上(Jobbagy *et al.*, 1996 ; Clark & Clark, 2000),是山区植被空间分异的主要自然约束因子。

本文将传统的群落调查方法与现代的地学分析手段(DEM、遥感等)有机地结合,通过实地调查数据分析,利用多波段遥感影像 TM 叠加 DEM 制作了比较详细的小五台山自然保护区植被分布图,并分析植被分布的地形背景。

2 研究区域自然概况

小五台山位于我国第一阶梯向第二阶梯的过渡带上,地处冀西北—晋北间山盆地的南缘,形成暖温带半湿润气候和半干旱气候的天然分界线。小五台山自然保护区地理坐标为 $114^{\circ}47' - 115^{\circ}30'E$, $39^{\circ}50' - 40^{\circ}7'N$, 最高主峰东台海拔为 2882 m, 相对高差 1740 m, 为河北省最高峰。小五台山属东亚大陆性季风气候, 气候特点是:气温低、热量少、寒暑变化剧烈;降水少、变率大、雨量分布不均;垂直气候明显、气候差异大。位于小五台山脚下的蔚县县城海拔 909.5 m, 年平均气温 $7.1^{\circ}C$, 极端最高气温 $38.6^{\circ}C$, 极端最低气温 $-35.3^{\circ}C$, 1 月均温 $-12.3^{\circ}C$, 7 月均温 $22.1^{\circ}C$ 。年降水量 418.8 mm。土壤类型主要为褐土、山地棕壤及亚高山草甸土。

3 研究方法

3.1 野外调查

从西金河口(海拔 1190 m)到东台(海拔 2882 m),以海拔 50 m 为间隔,在 1250 - 2850 m 的范围

内,设置垂直样方 33 个(S1 - S33)。其中灌丛样方面积为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$; 森林样方面积为 $20\text{ m} \times 30\text{ m}$; 亚高山草甸样方面积为 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ 。另外,在某些特殊的群落如青杨(*Populus cathayana*)林,单独设置样方。对于每个样方,利用 GPS 进行定位,记录经纬度,用海拔表测定海拔高度,用罗盘测出坡向和坡度,记录坡位及群落类型,描述群落外貌。

3.2 DEM 的生成

将研究区域 4 幅(桃花堡、大堡、西合营、大庙) 1:50000 地形图(1971 年版图式,1971 年 5 月航摄),以分辨率 300 dpi 进行扫描。转入遥感图象处理软件 ERDAS IMAGINE 8.4 中(ERDAS, Inc),利用公里网格,进行图象的配准和拼接。然后将此幅图象导入矢量化软件——方正智绘 4.5(北大方正)中,沿等高线进行屏幕追踪矢量化,等高线间距 50 m。再导入 GIS Arcinfo NT 7.1(ESRI, Redlands, USA)中进行编辑,建立数字高程模型(DEM)。而后转入 GIS Arcview 3.2a(ESRI, Redlands, USA)中进行显示和分析。

3.3 TM 影像的解译

在 ERDAS IMAGINE 8.4 软件的支持下,对 1998 年 9 月 15 日美国陆地资源卫星 5 号(LANDSAT-5)的 TM 数据(轨道号:124-32)进行假彩色合成(T4R、T5G、T3B)。同时,为了减少山体阴影的影响和增强植被信息,经过比较实验,用 T4/T3R 代替 T4R 合成假彩色,同时进行了主成分分析和带饱和点的线性拉伸(两端各有 0.25% 的数值被拉伸至端点值)。然后与 1:50000 地形图的公里网配准,并对研究区进行了裁切。

为了有效地减少同谱异物(如亚高山草甸和农田等),利用 DEM 将研究区域分成 1000 m 以下、1000 - 1500 m、1500 - 2000 m、2000 - 2500 m、2500 m 等五部分,根据野外考察结果和前人的资料,分别建立解译标志,建立植被类型分类系统和图例系统,进行计算机监督分类,初步得到小五台山自然保护区植被类型图。

在 ERDAS IMAGINE 8.4 的 Accuracy Assessment 模块下对小五台山自然保护区植被类型图的遥感解译精度进行评价,具体方法如下:在植被类型图上随机选取 256 个检验点,按照每个检验点的地理坐标进行野外实地调查验证。野外无法到达的检验点通过对比合成影像图、地形图和小五台山自

然保护区森林资源现状图来实现遥感解译的精度评价。最终得到小五台山自然保护区植被类型图。

4 结果与讨论

4.1 DEM 和影像解译

4.1.1 自然保护区 DEM

附图 1 为研究区数字高程模型图。研究区面积为 20 556 hm² ,地理位置和特殊的地貌条件使得高度变化剧烈。最高海拔东台顶 2882 m ,最低海拔为 1146 m ,在较小的范围内相对高差为 1740 m。

4.1.2 高程分异特征

研究区在不同海拔段上的面积分布如图 1 所示。海拔分段情况 ,如 1400 m 表示海拔范围为 1350 – 1450 m(其中 1200 m 为 1250 m 以下 ,2800 m 为 2750 m 以上)。由图可见 ,该地区的大部分面积分布在海拔 1450 – 2550 m 的高度范围内 ,约占总面积的 87% ;其中分布于海拔 1750 – 2150 m 范围内的面积比例最大 ,达总面积的 37% ,并且每百米海拔段面积所占比例均超过总面积的 9%。低海拔和高海拔两端分布较为对称 ,之所以出现 1750 m 以下海拔段面积随海拔降低而变小 ,是因为保护区的边界并没有按等高线划定 ,尤其是东部、南部和北部 ,

图 1 小五台山自然保护区不同海拔段的面积分布情况
Fig. 1 Areas of different altitudinal ranges in the Mt. Xiaowutai Nature Reserve

表 1 小五台山研究区内地形的坡向、坡度分异
Table 1 Areas of different slopes and slope grades on Mt. Xiaowutai

	坡度 Slope (°)							坡向 Aspect		
	0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 60	> 60	北坡 Northern slope	南坡 Southern slope	无坡向 Flat
面积 Area (hm ²)	1079	1432	4502	10 330	2969	237	6	10 615	8872	1068
面积比例 Percentage (%)	5. 25	6. 97	21. 9	50. 25	14. 44	1. 15	0. 03	51. 64	43. 16	5. 2

许多边界划在了山脊线上。

4.1.3 坡向分异特征

将研究区分为北坡或偏北坡(坡向为 270 – 360°和 0 – 90°)、南坡或偏南坡(坡向为 90 – 270°)及无坡向三种类型。不同坡向上的面积分布如表 1 所示。北坡所占面积最多 ,达 51.6% ;由于是山地 ,无坡向比例最低 ,仅为 5.2%。

4.1.4 坡度分异特征

统计研究区内的坡度情况 ,最大坡度为 65° ,最小坡度为 0°。表 1 显示了研究区在不同坡度等级上的面积分布状况。其中在坡度为 30 – 40°的范围内 ,分布了 50.25% 的面积比例。在坡度 20 – 30°以及 40 – 50°的范围内 ,也有合计约 36% 的面积分布。小五台山自然保护区的大部分地区位于中等坡度段以上。

4.1.5 自然保护区植被景观结构

利用软件 ERDAS IMAGINE 8.4 对 TM 数据进行解译 ,根据随机选取的 256 个点 ,经过精度检验 ,得到解译精度为 84% 的小五台山自然保护区植被类型图(附图 2)。

小五台山自然保护区林地景观面积最大 ,占总面积的 60.7% ,说明森林植被状况良好。阔叶林面积最多 ,其次是针叶林 ,再次为灌丛 ,亚高山草甸也占有一定的比重 ,水体和裸地比重较小 ,农田出现在低海拔人为活动剧烈的地方。

从表 2 可以看出 ,小五台山植被景观平均斑块面积最大的是阔叶林 ,其次是亚高山草甸 ,平均斑块面积达到 3 hm² 以上 ;再次为灌丛和针叶林 ,平均斑块面积在 2 hm² 以上 ;平均斑块面积最小的为水体。

比较小五台山植被景观的形状指数 ,水体最大 ,说明形状最不规则 ,针阔混交林其次 ,表现了针阔混交林的随机和过渡性 ,以及与其他景观(主要是针

表 2 小五台山研究区内植被类型景观信息
Table 2 Vegetation type characteristics on Mt. Xiaowutai

植被类型 Vegetation type	总面积 Total area (hm ²)	面积比例 Area percentage (%)	总周长 Total perimeter (km)	斑块数量 No. of patch	平均斑块面积 Mean area of patch (hm ²)	平均斑块周长 Mean perimeter of patch (m)	形状指数 (周长/面积) Shape index (Perimeter/Area)
针叶林 Coniferous forest	5397	26.3	2023	2285	2.4	885	0.037
阔叶林 Broadleaf forest	5568	27.1	1937	1618	3.4	1197	0.035
针阔混交林 Mixed broadleaf and coniferous forest	1510	7.4	1097	2720	0.6	403	0.073
灌丛 Shrub	3300	16.1	1176	1306	2.5	901	0.036
草甸 Alpine meadow	2567	12.5	697	767	3.3	909	0.027
灌草丛 Ecotone between shrub and grass	1922	9.4	1013	1538	1.3	659	0.053
农田 Farm land	53	0.3	36	89	0.6	409	0.069
裸地 Bare land	94	0.5	63	177	0.5	357	0.067
水体 Water	144	0.7	123	409	0.4	300	0.085
总计 Total	20 556	100.0	8166	10 909	1.9	749	0.040

图 2 小五台山植被类型在不同坡向上分布图谱
Fig.2 Vegetation Distributions in Different Slopes
I 针叶林 Coniferous forest ; II 阔叶林 Broadleaf forest ; III 针阔混交林 Mixed broadleaf and coniferous forest ; IV 灌丛 Shrub ; V 草甸 Alpine meadow ; VI 灌草丛 Ecotone between shrub and grass ; VII 农田 Farm land ; VIII 裸地 Bare land ; IX 水体 Water.

叶林和阔叶林)之间的交错;最小的为亚高山草甸和阔叶林,斑块面积大且形状规则。

4.2 主要植被类型分布与地形背景分析

根据小五台山 DEM 数据,利用地理信息系统软件 Arcview 按 200 m 海拔间隔,将小五台山自然保护区分成 9 个海拔段(从 1100 – 2882 m,最顶上一段为 2700 – 2882 m);按坡向分为北坡(坡向为 270

– 360°和 0 – 90°)、南坡(坡向为 90 – 270°)及无坡向三种类型;按坡度分成 7 个坡度段(0 – 10°、10 – 20°、20 – 30°、30 – 40°、40 – 50°、50 – 60°、和 60°以上)。然后分别叠加遥感植被图,建立工作区内植被类型在高程、坡度和坡向上的谱分布系列,分析小五台山地区植被地形分异特征如下。

4.2.1 植被类型坡向分异特征

图 2 表示了植被类型在不同坡向上的分布情况。由于小五台山自然保护区属于山地,相对平坦的地段较少,因此各个类型在平地分布所占比例较小;针叶林在南北坡的分布大体相等,但暗针叶林分布比重北坡大于南坡,而华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)林及华北落叶松矮林的分布则是南坡多于北坡,这与华北落叶松的强阳性特征有关;

阔叶林和针阔混交林在北坡的分布比例远远大于南坡。

总之,林地(除了华北落叶松以外)分布均为北坡多于南坡,这与华北北部干旱的气候条件有关,而林地生长需要一定的水分;农田和裸地的分布与坡向无关,且农田在平地占有比例较大;亚高山草甸、灌丛、灌草丛这三种植被类型的分布是南坡多于北

图 3 植被类型在不同海拔高度上的面积比例分布
Fig. 3 Vegetation distributions at different elevations

坡,这是因为南坡水分条件较差,林木生长困难,即便有林木生长,也高度矮化,郁闭度很低,在影像上表现为灌丛和灌草丛。

4.2.2 植被类型高程分异特征

海拔高度是研究区内影响植被类型分布至关重要的自然因素,与海拔密切相关的温度条件是造成该区域不同景观植被类型分异的初始条件。沿海拔由低到高景观植被类型在海拔高度上的面积比例分布见图3。

针叶林在海拔2100–2700 m为主要植被类型,尤其在海拔2100–2500 m的范围内,针叶林分布比例超过50%,为该垂直带典型的植被类型。沿海拔高度从1100–2500 m,针叶林的分布面积比例逐渐升高,2500 m以上主要为华北落叶松矮林。

阔叶林为较低海拔处的植被类型,在海拔1100–1900 m分布比例为40%左右;但在海拔1100–1500 m的范围内,人工林(如杏扁 *Prunus sibirica* 林)和沟谷杂木林(如青杨林)等具有一定的贡献。在海拔1900 m以上,随着海拔的升高,阔叶林面积比例逐渐减少。并且据我们调查发现,在高海拔的阔叶林中,由于次生性质,其林下针叶林幼苗较多,有被针叶林取代的趋势。

针阔混交林主要分布在海拔1500–2500 m,其中在海拔1900–2300 m占有一定的面积比例(达15%左右)。从低海拔到高海拔,表现为由阔叶林向针叶林过渡的中间类型。

亚高山草甸主要分布在海拔2000 m以上,随海拔增高,分布的面积比例逐渐增多,为山地顶部地带性植被类型,在海拔2500–2700 m分布面积比例达63%。

灌丛在海拔梯度上的分布出现两个峰值:其一为阔叶林以下,海拔1100–1500 m处,由于干旱形成大面积的次生灌丛[如蚂蚱腿子(*Myrica dioica*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)灌丛等],沿海拔梯度向上,面积比例逐渐减少;其二为针叶林以上,由于温度变化,风力加大,紫外线强烈,在森林和草甸的过渡带上,灌丛占有一定的比例。

灌草丛主要分布在海拔2000 m以下,为森林破坏后,在干旱的气候条件下形成的次生草坡、郁闭度很低的灌丛及矮林。海拔较低处常常被作为放牧的主要场所,过度放牧进一步抑制了灌草丛向森林的演替进程。

裸地在小五台山所占比例较小,也是分为两部分:低海拔在1500 m以下人为破坏较多的地方,包括采石场和河漫滩;高海拔在2500 m以上,主要为高山碎石。

农田和水体主要分布在低海拔,随海拔升高面积比例逐渐减少。

4.2.3 植被类型坡度分异

图4为景观植被类型在不同坡度上的分布情况。由图中可以看出,随着坡度由缓变陡,植被类型的数目由多变少。在坡度为0–10°时,9种植被类型均有分布;当坡度达到60°以上时,仅分布有阔叶林、灌丛、灌草丛和针叶林4种植被类型。

阔叶林的分布比例随着坡度变陡而逐渐增大;针叶林在中等坡度分布比例较高,在坡度30–40°的范围内,面积比例接近30%,随坡度变缓和变陡,面积比例逐渐下降;针阔混交林在不同坡度上的分布情况与针叶林完全相同;灌丛分布与针叶林相反,在中等坡度分布的面积比例较小,而随坡度变缓和变陡,分布的面积比例逐渐升高;亚高山草甸的分布面积比例随坡度的增加逐渐变小,主要分布在坡度较小的范围内;灌草丛分布的面积比例与坡度关系不大,仅表现出在较陡的60°以上,分布的面积比例较大(26%);农田和水体的变化趋势为:随坡度的升高,分布的面积比例逐渐变小。

4.2.4 北坡植被分异

小五台山研究区内北坡面积为10 615 hm²,占全区总面积的51.6%。其中林地面积为7970 hm²(包括针叶林2653 hm²,阔叶林4294 hm²和针阔混交林1023 hm²),占北坡总面积的75%,远远大于林地在南坡所占比例46%。北坡湿度条件优于南坡,说明在小五台山湿度(水分条件)是影响森林分布的限制因子之一。下面我们只针对小五台山北坡进行研究。

小五台山北坡植被组成中,面积最大的是阔叶林,占北坡总面积的40.4%;其次为针叶林,占北坡总面积的25.0%;灌丛面积大于针阔混交林,分别占10.4%和9.6%;亚高山草甸和灌草丛面积相当,分别占6.6%和6.3%;最小为农田,仅有23 hm²,占北坡总面积的0.2%。

图5中横坐标表示沿海拔分段情况,如1400 m表示海拔范围为1350–1450 m(其中1200 m为1250 m以下,2800 m为2750 m以上)。由于保护区

通过植被考察和遥感影像解译得到的小五台山自然保护区植被图,叠加 DEM,分析小五台山的地形特征以及植被类型与地形的关系后发现:

(1)研究区范围内北坡面积比例大于南坡;中等海拔面积比例最大;坡度较陡、坡度为 $30-40^{\circ}$ 的面积最多,占研究区总面积的一半。

(2)小五台山自然保护区林地景观面积最大,占总面积的60.7%;亚高山草甸和阔叶林的斑块面积大且形状规则。

(3)不同的植被类型在不同的地形条件下分布特点不同:林地北坡的面积比例远大于南坡,灌丛和草甸与林地相反,说明水分条件是小五台山林地分布的一个限制因子。

(4)随海拔梯度的变化,不同植被类型的分布面积比例发生变化,出现替代现象,形成植被垂直带谱。

(5)小五台山在坡度为 $0-10^{\circ}$ 时,9种景观组分类型均有分布;当坡度达到 60° 以上时,仅分布有阔叶林、灌丛、灌草丛和针叶林4种植被类型。

(6)小五台山研究区北坡林地面积为 7970 hm^2 ,占北坡总面积的75%,植被垂直带谱明显。

参考文献

- Carmel, Y. and Kadmon, R. 1999. Effects of grazing and topography on long-term vegetation changes in a Mediterranean ecosystem in Israel. *Plant Ecology*, **145** (2): 243 – 254.
- Clark, D. B. and Clark, D. A. 2000. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*, **137** (13): 243 – 254.
- Florinsky, I. V. and Kuryakova, G. A. 1996. Influence of topography on some vegetation cover properties. *Catena*, **27**

(2): 123 – 141.

- Jobbagy, E. G., Paruelo, J. M. and Leon, R. J. C. 1996. Vegetation heterogeneity and diversity in flat and mountain landscapes of Patagonia (Argentina). *Journal of Vegetation Science*, **7** (4): 599 – 608.
- McIntosh, R. P. 1991. Concept and terminology of homogeneity and heterogeneity in ecology. In: *Ecological Studies*. Springer Press, Heidelberg.
- Miller, J. R., Joyce, L. A., Knight, R. L. and Rudy, W. 1996. Forest roads and landscape structure in the southern Rocky Mountains. *Landscape Ecology*, **11** (2): 115 – 127.
- Ostendorf, B. and Reynolds, J. F. 1998. A model of arctic tundra vegetation derived from topographic gradients. *Landscape Ecology*, **13** (3): 187 – 201.
- Pearson, S. M., Turner, M. G. and Drake, J. B. 1999. Landscape change and habitat availability in the southern Appalachian Highlands and Olympic Peninsula. *Ecological Applications*, **9** (4): 1288 – 1304.
- Roberts, M. R. and Wuest, L. J. 1999. Plant communities of New Brunswick in relation to environmental variation. *Journal of Vegetation Science*, **10** (3): 321 – 334.
- Shen, Z. H. (沈泽昊), Zhang, X. S. (张新时) and Jin, Y. X. (金义兴). 2000. Spatial pattern analysis and topographical interpretation of species diversity in the forests of Dalaoling in the region of the Three Gorges. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **24** (5): 581 – 589.
- Urban, D. L., Miller, C., Halpin, P. N. and Stephenson, N. L. 2000. Forest gradient response in Sierran landscapes: the physical template. *Landscape Ecology*, **15** (7): 603 – 620.

(责任编辑:闫文杰)