

基于多源信息的区域尺度山地植被带数字化提取

孙然好¹, 张百平², 许娟³

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 100085 北京;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 100101 北京;
3. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 100081 北京)

摘 要: 山地植被带的提取及分析是地学和生态学研究的基础问题之一。利用野外点/线调查和历史文献资料, 可以对局域尺度山体的植被带进行归纳和描绘, 而在区域乃至全球尺度上更多依赖于学者的经验和知识。利用内蒙古大青山地区 1: 100 万植被图、1: 10 万土地利用图、1: 25 万 DEM 等, 设计逻辑判别规则, 提取典型的山地植被带斑块; 然后基于贝叶斯识别算法, 利用地形、水热和太阳辐射等因子对区域尺度山地植被带进行空间分布模拟, 最终提取的植被带具有较高的精度, 总体精度为 74.53%, Kappa 系数为 0.69。研究表明, 利用多源数据可以提取和模拟区域尺度山地植被带连续分布格局, 中小比例尺空间数据的集成应用使得该方法的推广具有较大的可行性, 为进一步获取大陆及全球尺度的山地植被带数据奠定了基础。

关键词: 山地植被带; 植被潜在分布; 贝叶斯算法; 大青山

中图分类号: Q948.2

文献标识码: A

植被随着海拔升高呈现有规律的带状排列组合特征, 称之为山地植被垂直带规律^[1-2]。山地植被带为山地研究提供水平和垂直两个维度的信息, 是地学和生态学等研究的基础模式, 对其进行提取和分析是山地研究的核心问题之一^[3-6]。山地植被带反映的不是地表覆盖的现状特征, 而是一种包括地形、气候和土壤等在内的综合自然条件决定的产物, 它代表了一种比较稳定的地理区域分异现象^[7-8]。但是, 随着人类活动的不断增强, 原生的山地植被受到严重干扰, 变得破碎甚至消失^[9]。因此, 仅仅利用现有的植被信息很难直接提取山地植被带的完整规律, 山地信息的残缺性成为从事山地地理学和生态学研究的主要难点之一。

山地植被带的识别和提取是地学/生态学的重要研究内容, 野外调查和影像识别是两个主要手段。学者们通过野外点/线调查, 结合历史文献资料, 可

以描绘个别山地的植被带分布范围和界线高度, 但在区域乃至全球尺度上, 这种方法除了受限于时间和经费外, 还受研究者的主观经验制约^[10-11]。近年来, 随着遥感影像和 GIS 技术发展, 不同分辨率的影像被应用于识别大尺度的土地利用和植被覆盖特征。但是, 直接利用遥感影像提取山地植被带信息存在较大的困难, 主要表现在: ① 山地植被带不同于土地利用类型, 后者主要依据土地用途进行划分, 如林地、耕地、水体、裸地等。而山地植被带的划分依据包括植被类型、小气候特征、地形特征等在内的综合地理环境, 是一个多种地物特征的综合体, 本身不具有鲜明的光谱界线; ② 山地植被带不是植被类型划分, 植被图仅仅注重植物的现状分布特征, 而不管这些植物是天然的, 还是人工的, 而山地植被垂带反映的是天然的或潜在的植被类型; ③ 区域乃至全球尺度的山地植被带规律, 完全依靠大规模的野外

收稿日期 (Received date): 2011 - 04 - 18; 改回日期 (Accepted): 2011 - 08 - 01。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目 (41001111) 和城市与区域生态国家重点实验室自主项目 (SKLURE2008 - 1 - 02) 资助。

[National Natural Science Foundation of China (41001111) and the Innovation Project of State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology of China (SKLURE2008 - 1 - 02).]

作者简介 (Biography): 孙然好 (1981 -), 男, 山东临沂人, 助理研究员, 主要从事景观生态学与 GIS 应用研究。[Sun Ranhao (1981 -), male, Linyi city in Shandong province, PhD., assistant professor, specialized in landscape ecology and GIS.] E-mail: rhsun@rcees.ac.cn

调查和高分辨率的遥感影像,所需要的时间和经费代价几乎不可以重复和大范围推广。因此,区域尺度的山地植被带具有规律综合性、分类独特性、信息残缺性等特点,利用传统方法无法对其信息进行全面而准确的识别和提取,也限制了对其界线进行空间格局特征以及动态演化规律的分析。

山地植被带是受多种环境因子制约而形成的一种较为稳定的地理现象,具有地理区域特征的“烙印”,植被格局与环境因子之间必然存在某种稳定的定量关系^[12-15]。因此,本文的目的是探索利用较为稳定的环境因子来模拟区域尺度山地植被带的空间分布格局。为了能够使该方法在大尺度的山地植被带识别中进行应用,本文没有刻意追求利用高精度遥感和地形数据,而是利用最为常用的中等分辨率数据进行分析,包括1:100万植被图、1:10万土地利用图、1:25万DEM、气象观测数据等,验证利用多源信息进行山地植被带数字化提取的可行性和准确性。

1 研究区和研究方法

1.1 研究区概况

本文选择的内蒙古大青山,位于内蒙古高原和河套平原之间,位于40°30'~41°20'N,100°30'~111°30'E,东西长240 km多,南北宽20~60 km,属阴山山脉中段。大青山南坡陡峭、北坡平缓,最高的山地是西段的九峰山,约2400 m(图1)。

大青山北坡直接承受蒙古干燥气流的影响,气候干燥而温度低,南坡则由于山地阻挡,相对比较温暖而湿润,因而造成了大青山不同坡向上具有不同的气候、土壤、植被特征。从地理区划上看,大青山位于多条具有明显地理意义的分界线上。在干湿状况上,大青山从东向西,跨越了半干旱到干旱的转变,其东南端位于400 mm等降水量线上,西北段接近于200 mm等降水量线,是西北干旱半干旱区与东部季风区的分界线,相应的造成了森林与荒漠的明

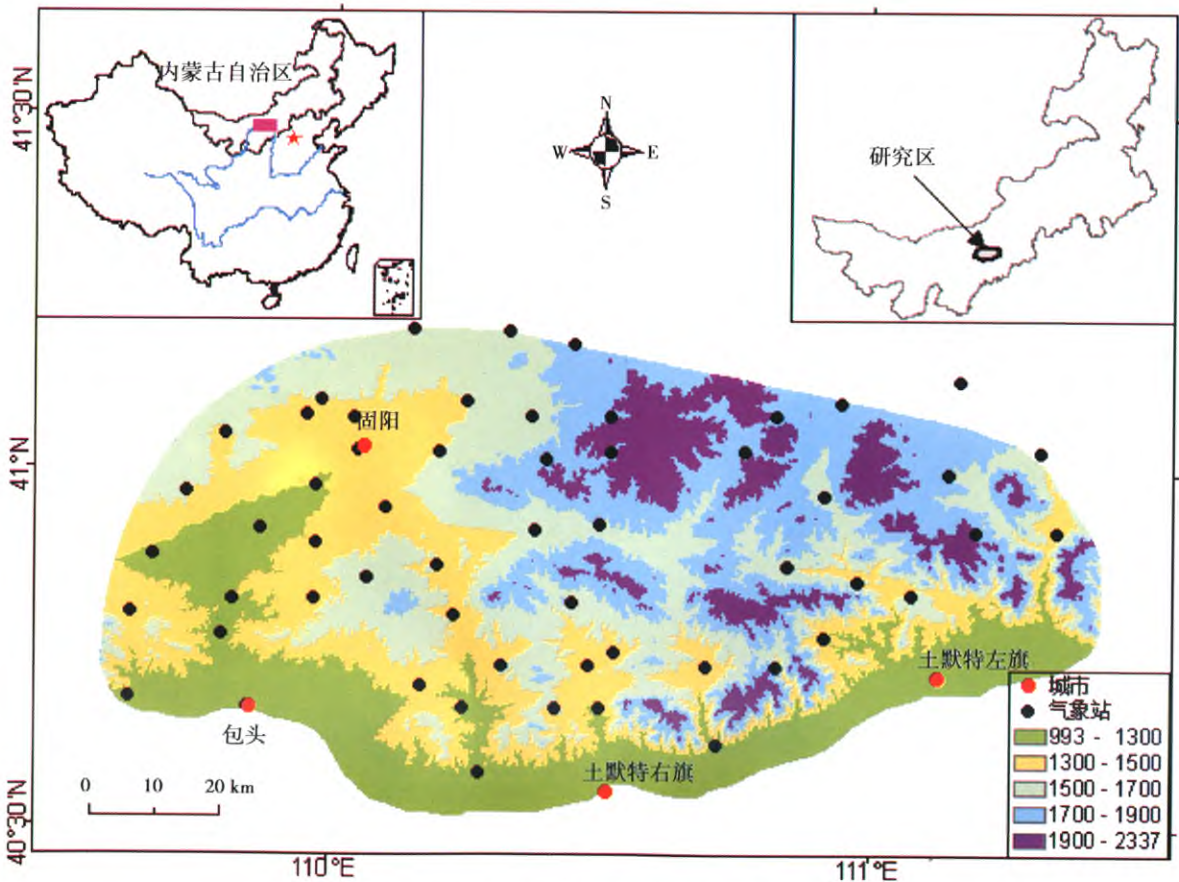


图1 大青山在中国的位置及海拔分级
Fig. 1 Location and DEM of the Daqing Mts

显过渡;南北方向上隔断了河套平原和内蒙古高原,是暖温带与温带分界线,也是南部森林带和北部草原带的分界线;同时,大青山北侧属于内陆河流域,南侧属于黄河流域。大青山植被带具有多样性的特点,这为本研究增加了复杂度,同时也提供了丰富的素材。

1.2 数据来源及处理方法

本文的主要思路包括:① 首先通过逻辑判别规则,基于土地利用类型、植被类型和文献资料等,提取大青山典型植被带斑块,用于植被带模拟和结果评价;② 评价环境因子之间的相关性及可分离性,进行主成分变换,使之能够更好的辅助进行植被带模拟;③ 利用贝叶斯模拟算法,根据环境因子的空间异质性,模拟大青山地区植被带的空间连续分布;④ 利用提取的典型样本数据对模拟结果进行评价。

1.2.1 典型植被带斑块的判别

在植被属性方面,我们主要参照了 1:100 万植被图,本文仅利用其一级属性(如针叶林、阔叶林、灌丛、草甸、草原、荒漠等),没有使用它的二级(如温带针叶林、寒温带针叶林、温带落叶阔叶林、温带小叶林等)、三级属性(如油松林、山杨林、锦鸡儿灌丛、针茅草原等)。由于一级属性的植被斑块较大,因此对界线的要求不是很严格。为了获取较为准确的边界信息,我们利用了 1:10 万土地利用数据,该数据是基于 Landsat TM 影像解译获得(来自于中国科学院资源环境数据中心)。利用 ERDAS 软件对 3 期土地利用数据(1985、1995、2005 年)进行变化检测,以 1985 年为基准,如果 1995 年或 2005 年土地利用发生了变化,则假定发生变化的区域受到人为干扰,对其进行剔除。将土地利用图和植被图按照特定规则进行叠加,提取的植被带斑块的界线精度达到 1:10 万比例尺的要求。大青山各垂直带的高度界线在一些文献中有描述^[16-18],虽然界线比较粗略,但是可以作为一个限定条件排除土地利用图、植被图中的部分误差,进一步提高判别规则的准确程度。

大青山典型植被带斑块是根据植被图、土地利用图和文献资料进行提取,我们设计了针对性的规则,只提取植被类型栅格和土地利用栅格匹配的地类斑块。例如,土地利用数据中的林地(包括有林地、疏林地、灌木林、其他林地),在植被带的分类系统中应该分为山地落叶阔叶林带、山地针叶林带、山地矮林灌丛带。因此,山地落叶阔叶林带的判别规

则为:在土地利用数据中表现为林地,且非灌木林,在植被图中表现为阔叶林,根据相关文献记载高度在 1 200~1 800 m 之间。相应地,山地针叶林带的判别规则为:林地(非灌木林),针叶林,1 600~2 100 m;山地矮林灌丛带的判别知识为:灌木林,灌丛,1 800~2 100 m。同样的道理,依次建立亚高山灌丛草原带、山地草原带、地带性典型草原带等(图 2)。通过判别规则提取山地植被带的典型斑块的优势在于:① 比手动选择训练区明显的提高速度;② 基于规则自动提取植被斑块,能够大幅度的减少主观偏差、提高样本精度。以上规则设定和数据处理主要基于 ERDAS IMAGINE 的专家分类模块(Expert Classifier)。

把提取的植被带典型斑块分为两部分,分别用于拟合环境因子和植被分布的关系,以及用于检验植被带模拟的精度。根据文献经验和现有数据分析^[19],本文采用分层随机抽样方法,将研究区每种植被带样本分别按照 7:3 的比例随机抽样,得到用于模拟和检验的两个样本子集。采样过程利用 MATLAB 编写了对应的函数,随机抽取每个垂直带的 7/10 作为模拟样本,3/10 作为检验样本。最后,将检验样本按照每种类别随机提取 500 个栅格点,构成了共 3 000 个点的检验样本集,用于模拟结果的精度评价。

1.2.2 地形及环境因子的分离性评价与主成分分析

根据相关文献总结^[20-21],本文选择地形、辐射、湿度、温度等因子,并在每种因子中选择常用的几个指标,根据它们之间的相关性和分离性构建主成分因子,定量分析它们与山地植被带类型的相互关系。地形因子是基于 1:25 万 DEM 进行提取,包括高程(H)、坡度(S)、坡向(A)。环境因子是利用大青山地区 56 个气象站点的观测数据,利用 Co-Kring 插值方法进行插值,然后根据已有的公式进行计算获得^[22-23]。具体指标包括年均太阳总辐射(R)、年均降水(P)、湿润指数(MI ,公式 1)、年均温度(T)、温暖指数(WI ,公式 2)和寒冷指数(CI ,公式 3)。

$MI = \sum (P/2 - t) (P, t \text{ 为月均温} > 5^{\circ}\text{C} \text{ 的月均降水量和月均温度})$ (公式 1)

$WI = \sum (t - 5), (t \text{ 为} > 5^{\circ}\text{C} \text{ 月平均温度})$ (公式 2)

$CI = -\sum (5 - t), (t \text{ 为} < 5^{\circ}\text{C} \text{ 月平均温})$ (公式 3)

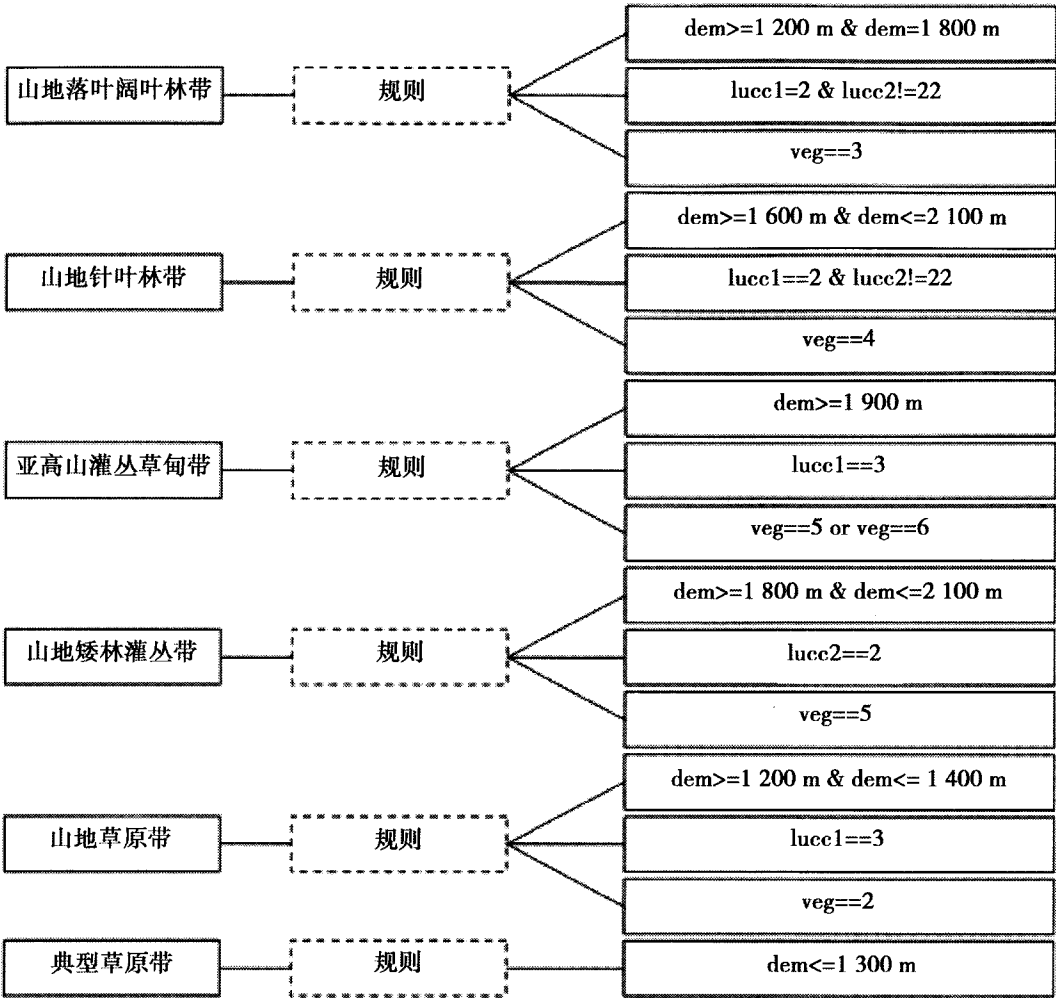


图 2 大青山典型植被带的判别规则

其中: dem,高程; lucc1, lucc2: 土地利用 (1 耕地;2 林地;3 草地;4 水域;5 工矿居民点;6 未利用土地;22 灌木); veg: 植被类型 (1 栽培植物;2 草原;3 阔叶林;4 针叶林;5 灌丛;6 草甸)

Fig. 2 Rules for identifying the typical vegetation belts in the Daqing Mts.

Where: dem means elevation;lucc1 and lucc2 mean land-use types (1, farmland; 2, forest land; 3, grass land; 4, water; 5, industry and built-up areas; 6, unused land; 22, shrub); veg means vegetation type (1, planting vegetation; 2, steppe; 3, broad-leaved forest; 4, coniferous forest; 5, bush-wood; 6, meadow)

为了去除各个因子的量级,在 ERDAS 软件中,利用查找表拉伸 (LUT Stretch) 的方法,将各个栅格的因子值转换为 0 ~ 255。分别将这些图层存入到图像文件的不同通道中,可以利用遥感影像处理及分类的技术和方法对其进行处理。

通过对典型植被带斑块的环境因子进行相关性分析,发现有些环境因子之间存在明显的相关性,如高程与坡度、年降水与湿润指数等。另外,利用遥感分类技术中的分离度指标 (Transformed Divergence) 对不同植被带类型的分离性进行评价^[24],可以看出训练样本环境因子之间的分离特征不明显,如山地针叶林带与山地落叶阔叶林带、山地矮林灌丛带与

亚高山灌丛草甸带等,它们之间的分离度较小 (< 1 300) (表 1)。因此,为了消除因子的互相影响,充分利用最大分离性进行类型划分,本文对原始的环境因子进行了主成分变换。

主成分分析能够把多指标转化为少数几个综合指标,并降低因子间的关联性。主成分变换的基本步骤:① 原始的环境指标数据标准化;② 先求出环境指标间的协方差矩阵;③ 再求出该协方差矩阵的特征值和特征向量矩阵;④ 将该特征向量矩阵转置就得变换矩阵;⑤ 变换矩阵与选择的原始指标相乘,可得各主成分因子。多波段数据的主成分变换在 ERDAS 软件中利用 K - L 变换模块进行。从表 1

表 1 大青山植被带样本的分离度(环境因子主成分变换前/变换后)

Table 1 Transformed divergence values of vegetation samples based on environmental factors in the Daqing Mts
(Before / after principle component analysis)

	典型草原带	山地草原带	山地落叶阔叶林带	山地针叶林带	山地矮林灌丛带	亚高山灌丛带
典型草原带	0/0	1999.9/2000	2000/2000	2000/2000	2000/2000	2000/2000
山地草原带		0/0	2000/2000	2000/2000	2000/2000	2000/2000
山地落叶阔叶林带			0/0	1267.5/1999.4	2000/2000	2000/2000
山地针叶林带				0/0	1286.4/1940.8	2000/2000
山地矮林灌丛带					0/0	1899.6/1998.5
亚高山灌丛带						0/0

看出,主成分方法不仅消除了各环境指标之间的重复信息,而且变换后样本的环境主成分之间的 Transformed Divergence 分离度均大于 1 940,比原始数据的分离度要好。方差贡献率能反映主成分因子的解释能力,前 6 个主成分可以贡献总变异的 99.9%。可以看出,PCA1、PCA2、PCA3、PCA4、PCA6 之间的差异性比较明显(图 3),因此,取这 5 个主成分进行下一步的潜在植被带模拟。从主成分的特征值可以看出(表 2),PC1 主要反映了温度和高程的信息,由于高程和温度的相关性很大,两者难以区分;PC2 主要反映了降水的信息;PC3 主要反映了坡度的信息;PC4 主要反映了坡向的信息,而坡向与辐射的关系很大,辐射的特征值也比较显著;PC6 主要反映了温度信息。

表 2 大青山环境因子主成分特征值

Table 2 Loading of environmental factors on significant principal components in the Daqing Mts

指标	PC1	PC2	PC3	PC4	PC6
降水	0.30	0.44	0.13	-0.15	0.26
气温	-0.42	0.22	-0.07	0.00	-0.01
辐射	-0.01	0.21	0.35	-0.56	0.03
温暖指数	-0.41	0.22	-0.06	0.00	0.64
寒冷指数	-0.44	0.23	-0.07	0.00	-0.63
湿润指数	0.36	0.35	0.15	-0.11	-0.34
高程	0.42	-0.24	0.06	0.00	0.06
坡度	0.27	0.31	-0.82	0.11	0.02
坡向	-0.06	-0.37	-0.39	-0.80	-0.02

1.2.3 贝叶斯模拟算法

在提取了研究区植被带的典型斑块和相应的环境因子信息后,可以构建它们之间的定量关系。由

于环境因子与植被带的关系是线性、二次曲线还是指数等都不明确,而贝叶斯算法是一种基于先验知识的概率统计法,可以解决这一问题。

贝叶斯算法(Bayes algorithm)的基本思想是,各类已知像元的数据在空间中构成特定的点集,该类的多维数据就构成了该类的一个多维正态分布,不同类型的多维正态模型各有其分布的特征,例如,所在位置、形状、密集或分散程度等。根据已知地物类别的样本数据,可以构造出各类的多维正态分布模型,实际为不同类型的概率分布函数;有了各类的多维分布模型,对于任何一个未知类别的像元,都可反过来求它属于各类的概率;比较这些概率的大小,看属于哪一类的概率大,就把这个像元归为该类。

比如,如果要分为 g 个类,那么对每一类都可以根据每类的已知 m 个波段的数据,估计出该类的 m 维正态分布密度函数,对任何一个已知的 m 维像元 x 都可反过来计算它属于 g 个类的第 k 类的概

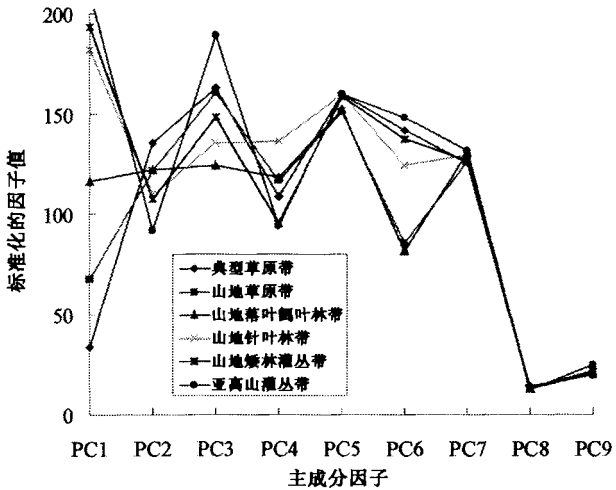


图 3 大青山典型植被带样本的环境因子主成分均值

Fig. 3 Statistics of principle component factors of typical vegetation belts in the Daqing Mts.

率^[25]。贝叶斯公式为

$$P(G_k/x) = \frac{P(G_k)P(x/G_k)}{P(x)}$$

式中 $P(G_k/x)$ 是任何一个 m 维像元属于第 k 类的概率; $P(x/G_k)$ 是第 k 类的 m 维正态分布密度函数; $P(x)$ 是全部数据中出现该像元 x 的概率; $P(G_k)$ 是第 k 类在所考虑的全部数据中出现的概率,或者说第 k 类在 g 个类中出现的概率,称为先验概率。对于任何一个 m 维像元 x ,可以分别计算它们属于各类的概率,然后把该像元 x 判归概率值最大的一类。

2 结果与讨论

2.1 植被带空间格局

利用贝叶斯算法建立训练样本和环境因子(主成分指标)之间的率属关系,然后将研究区所有栅格点的环境因子进行主成分变换,进而模拟该点的潜在植被带类型,最后,将分类结果中小于4个像素的图斑进行融合(图4)。从结果可以看出,不同植被带的空间分布非常有规律性,各类型的空间分布范围与垂直地带性规律比较一致。按照海拔由高到低,垂直带类型依次为亚高山灌丛草甸带、山地矮林灌丛带、山地针叶林带、山地落叶阔叶林带、山地草原带、典型草原带等。

2.2 模拟精度及评价

根据先前预留的 1/3 的样本数据,共有 6 种类型 3 000 个像元,进行潜在植被模拟的精度评价,采用的方法有误差矩阵法和 Kappa 系数法。误差矩阵是将校验数据按照矩阵方式排列成表格,然后计算分类数据与参考数据相应类型间的接受和遗漏情况。Kappa 一致性检验系数是目标图件和参照图件间吻合度或精度的指标^[26]。

从表 3 的误差混淆矩阵,可以看出植被带间相似性和差异性程度,混淆矩阵中相邻接的植被带之间的混淆概率比较大,不相邻的植被带混淆的几率很小,这也从侧面验证了模拟结果在整体上符合植被带的垂直排列顺序。其中,存在两处混淆误差比较大的类型,如山地针叶林带与山地矮林灌丛带、山地草原带与典型草原带。造成这种现象的原因主要是,山地矮林灌丛带在山体中的位置一般也是林线的位置,本身就是从森林到草甸的过渡类型,其界线波动性比较大,容易与山地森林带混淆^[27]。而山地草原带和典型草原带由于同属于草原带类型,在两者交界处不容易区分。

表 4 反映了山地植被带的各个类别及总体的分类精度,可以看出,山地植被带的总体模拟精度为 74.5%,总体 Kappa 统计为 0.69。山地植被带每个类型的制图精度(Producer's Accuracy)、用户精度(User's Accuracy)以及各自的 Kappa 系数也是比较高的,多数在 0.6 以上,这也说明了该方法具有较高

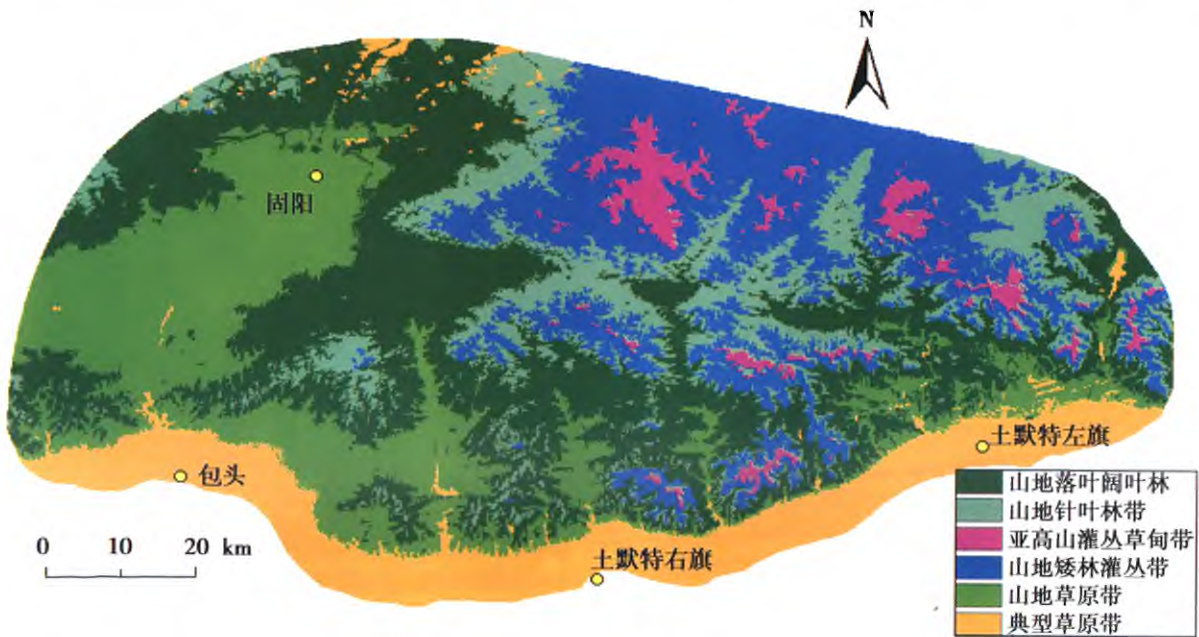


图4 大青山植被带的潜在分布图

Fig. 4 Spatial pattern of potential vegetation belts in the Daqing Mts.

表 3 大青山潜在植被带模拟的误差混淆矩阵

Table 3 Confusion matrix of potential vegetation belts in the Daqing Mts

植被带	各类所占数量						分类总数
	kyl	zhyl	gsgc	sagc	sdcy	dxcy	
kyl	278	21	0	1	9	4	313
zhyl	91	276	9	43	0	0	419
gsgc	0	54	468	24	0	0	546
sagc	22	149	23	432	0	0	626
sdcy	97	0	0	0	489	203	789
dxcy	12	0	0	0	2	293	307
样本总数	500	500	500	500	500	500	3 000

表注: kyl: 山地落叶阔叶林带; zhyl: 山地针叶林带; gsgc: 亚高山灌丛草甸带; sagc: 山地矮林灌丛带; sdcy: 山地草原带; dxcy: 典型草原带。

表 4 大青山潜在植被带模拟的精度评价

Table 2 Accuracy and Kappa coefficients of potential vegetation belts in the Daqing Mts

植被带	样本总数	分类总数	正确分类数	生产精度	用户精度	分类 Kappa 系数
kyl	500	313	278	0.556	0.888	0.866
zhyl	500	419	276	0.552	0.659	0.591
gsgc	500	546	468	0.936	0.857	0.829
sagc	500	626	432	0.864	0.690	0.628
sdcy	500	789	489	0.978	0.620	0.544
dxcy	500	307	293	0.586	0.954	0.945
总数	3 000	3 000	2 236	总体分类精度 = 74.5%		总体 Kappa 系数 = 0.69

表注: kyl: 山地落叶阔叶林带; zhyl: 山地针叶林带; gsgc: 亚高山灌丛草甸带; sagc: 山地矮林灌丛带; sdcy: 山地草原带; dxcy: 典型草原带。

的准确性,从而为大范围的山地植被带分布模拟提供了一个可行的技术手段。

3 结论

由于山地植被带类型的综合性、模糊性,直接利用遥感影像对其进行信息提取存在困难。本文根据典型的植被带样本与地形因子、水热因子、辐射因子等的定量关系,利用贝叶斯算法模拟了潜在植被带的空间格局,通过 3 000 个检验像元对贝叶斯模拟结果进行检验,表明分类精度比较高。通过本研究,可以得出如下结论:

1. 利用多源数据可以提取现存典型的山地植被带信息。本文利用不同比例尺的空间数据构建了大青山植被带的判别规则,提取了现存典型植被带斑块,尽管这些植被斑块零碎而不规则,但为下一步空间连续模拟提供了训练和检验样本。

2. 贝叶斯模拟算法能够很好的模拟区域尺度

山地植被带的空间连续格局。本文在分析水热因子和地形因子与植被样本的关系时,发现因子间存在较大相关性,因此对其进行了主成分分析,选择其中 5 个主成分作为输入参数,利用贝叶斯算法模拟了山地植被带的空间分布,其垂直方向上的规律性比较明显。

3. 遥感影像处理技术应用于山地植被带潜在分布模拟,能够很大程度上弥补现有山地信息的残缺性,是进行多源数据集成和信息挖掘的成功尝试。以后的研究中,可以通过增删某些具有特定生态意义的环境因子,进一步提高模拟结果的精度,也为更深入的地质/生态学解释提供基础。另外,山地植被带研究不能仅仅局限于某个山体,区域乃至全球尺度的植被带规律集成则具有更大的科学意义,在不断发展的 GIS 和遥感技术的背景下,这也要求我们必须探索准确的、可行的数字化方法来挖掘和提取山地植被带信息。下一步的研究中需要通过对比不同比例尺的数据源,分析提取的植被带模式的精度

变化,从而能够在该方法的可用性和准确性方面找到一个平衡点。

参考文献 (References)

- [1] Allan N J R. Accessibility and altitudinal zonation models of mountains[J]. Mountain Research and Development, 1986, 6(3):185-194
- [2] Zhang B P, Zhou C H, Chen S P. The Geo-info-spectrum of montane altitudinal belts in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(2):163-171 [张百平, 周成虎, 陈述彭. 中国山地垂直带信息图谱的探讨[J]. 地理学报, 2003, 58(2):163-171]
- [3] Fang J Y, Shen Z H, Cui H T. Ecological characteristics of mountains and research issues of mountain ecology[J]. Biodiversity Science, 2004, 12(1):10-19 [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]
- [4] Zhang B P, Wu H Z, Xiao F, et al. Integration of data on chinese mountains into a digital altitudinal belt system. Mountain Research and Development, 2006, 26(2):163-171
- [5] Han F, Zhang B P, Tan J, et al. The effect of mountain base elevation on the altitude of timberline in the southeastern Eurasia: A study on the quantification of mass elevation effect[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(7):781-788 [韩芳, 张百平, 谭靖, 等. 山体基面高度对欧亚大陆东南部林线分布的影响——山体效应定量化研究[J]. 地理学报, 2010, 65(7):781-788]
- [6] Shangguang T L, Li J P, Guo D G. Advance in mountain vegetation ecology in the warm-temperature zone of China[J]. Journal of Mountain Science, 2009, 27(2):129-139 [上官铁梁, 李晋鹏, 郭东罡. 中国暖温带山地植被生态学研究进展[J]. 山地学报, 2009, 27(2):129-139]
- [7] Hemp A. Continuum or zonation? Altitudinal gradients in the forest vegetation of Mt. Kilimanjaro[J]. Plant Ecology, 2006, 184:27-42.
- [8] Körner C. The use of altitude in ecological research[J]. TRENDS in Ecology and Evolution, 2007, 22(11):569-574
- [9] Miehe G., Miehe S, Vogel J, et al. Highest tree-line in the northern hemisphere found in southern Tibet[J]. Mountain Research and Development, 2007, 27(2):169-173
- [10] Zheng D, Zhang R Z, Yang Z Y. On the natural zonation in the Qinghai-Xizang Plateau[J]. Acta Geographica Sinica, 1979, 34(1):1-11 [郑度, 张荣祖, 杨勤业. 试论青藏高原的自然地带. 地理学报, 1979, 34(1):1-11]
- [11] Da L J, Kang M M, Song K, et al. Altitudinal zonation of human-disturbed vegetation on Mt. Tianmu, eastern China[J]. Ecological Research, 2009, 24:1287-1299
- [12] Franklin J. Predictive vegetation mapping: geographic modeling of bio-spatial patterns in relation to environmental gradients[J]. Progress in physical geography, 1995, 19(4):474-499
- [13] Horsch B. Modeling the spatial distribution of montane and subalpine forests in the central Alps using digital elevation models[J]. Ecological Modeling, 2003, 168(3):267-282
- [14] Liu H M, Wu S H, Zheng D, et al. The study on the potential natural vegetation and future prospect[J]. Progress in Geography, 2004, 23(1):62-70 [刘华民, 吴绍洪, 郑度, 等. 潜在自然植被研究与展望[J]. 地理科学进展, 2004, 23(1):62-70]
- [15] Zhao C Y, Feng Z D, Nan Z R, et al. Modelling of potential vegetation in Zulihe River watershed of the west-central Loess Plateau[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(1):52-61 [赵传燕, 冯兆东, 南忠仁, 等. 黄土高原祖厉河流域潜在植被分布模拟研究[J]. 地理学报, 2007, 62(1):52-61]
- [16] Li B. The basic types and geographical characteristics of the zonal vegetations in Inner-Mongolia[G]//Conference on the geobotany and plant ecology of Botanical Society of China. 1962 [李博. 内蒙古地带性植被的基本类型及其生态地理规律[G]//中国植物学会植物生态学/地植物学学术会议. 1962]
- [17] Liu P G. A preliminary study on the flora and geography of the higher fungi in Daqingshan MTs, Inner Mongolia, China[J]. Journal of Arid Land Resources Environment, 1993, 7(2):112-119 [刘培贵. 内蒙古大青山高等真菌区系地理的初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 1993, 7(2):112-119]
- [18] Liu P G. The vertical distribution patterns of higher fungus and their evaluation from the MT. Daqing, Inner Mongolia[J]. Mountain Research, 1992, 10(1):19-24 [刘培贵. 内蒙古大青山高等真菌垂直分布规律及资源评价[J]. 山地研究(山地学报), 1992, 10(1):19-24]
- [19] Liu Y H, Niu Z. Regional land cover image classification and accuracy evaluation using MODIS data[J]. Remote sensing technology and application, 2004, 19(4):217-224 [刘勇洪, 牛铮. 基于MODIS遥感数据的宏观土地覆盖特征分类方法与精度分析研究[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(4):217-224]
- [20] Hao C Y, Zhang Y L, Wu S H. Comparison on EVI spatial variation and causes exploration among different mountains in the south-west Yunnan Province of China[J]. Journal of Mountain Sciences, 2009, 27(1):14-23 [郝成元, 张永领, 吴绍洪. 岭谷组合地形的植被空间变异性对比及成因[J]. 山地学报, 2009, 27(1):14-23]
- [21] Xu J, Zhang B P, Tan J, et al. Spatial relationship between altitudinal vegetation belts and climate factors in the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Journal of Mountain Sciences, 2009, 27(6):663-670 [许娟, 张百平, 谭靖, 等. 青藏高原植被垂直带与气候因子的空间关系[J]. 山地学报, 2009, 27(6):663-670]
- [22] Xu W D. Kira's temperature indices and their application in the study of vegetation. Chinese Journal of Ecology, 1985, 3(3):215-222 [徐文铎. 吉良的热量指数及其在中国植被中的应用[J]. 生态杂志, 1985, 3(3):215-222]
- [23] Meng M, Ni J, Zhang Z G. Aridity index and its applications in geo-ecological study[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(6):853-861 [孟猛, 倪健, 张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6):853-861]
- [24] Richards J A. Remote sensing digital image analysis[J]. US, New York: Springer-Verlag New York, Inc., 1986
- [25] Zeng Z Y. Computer aided classification of satellite remote sensing

- images and their geographical application [M]. Beijing: Science Press, 2004: 6-40 [曾志远. 卫星遥感图像计算机分类与地学应用研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 6-40]
- [26] Peng W L, Bai Z P, Liu X N, et al. Introduction of remote sensing. Beijing: Higher Education Press, 2002 [彭望禄, 白振平, 刘湘南, 等. 遥感概论. 北京: 高等教育出版社, 2002]
- [27] Dai J H, Cui H T. A review on the studies of alpine timberline [J]. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(3): 299-305 [戴君虎, 崔海亭. 国内外高山林线研究综述 [J]. 地理科学, 1999, 19(3): 299-305]

Modeling the Spatial Distribution of Altitudinal Vegetation Belts Based on Multi-source Data

SUN Ranhao¹, ZHANG Baiping², XU Juan³

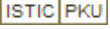
(1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In mountain areas, an altitudinal vegetation belt (AVB) is the most stable vegetation cover according to the climatic conditions as altitude increases, and it represents the climatic climax community. Investigation and identification of AVBs is significant in ecological and geographical studies thanks to extremely complex environment and diverse vegetation types in mountains. Traditionally, field survey only produced discrete data, and AVBs and their vertical combination are mainly expressed as hand-drawn diagrams. This seriously restricted quantitative analysis of AVBs and their spatial patterns. We present a method for predictive vegetation mapping in the Daqing Mountains of central Inner Mongolia of China. Firstly, we obtain the representative vegetation samples using 1: 250 000 DEM, 1: 1 000 000 vegetation map, 1: 100 000 land-use map and related references. According to the relationship of the vegetation samples and the environmental variables affecting them, we simulate the potential distribution of vegetations by using the Bayes algorithm under the software of ERDAS. Tested by the selected 3 000 grids, the whole accuracy of the mapping is 74.53 % and the Kappa coefficient is 0.69. The research of potential climax vegetation provides a comparative data source, and the comparison of existing and potential altitudinal patterns is also an interesting issue in geographical and ecological studies. The method makes identifying and comparing AVBs considerably easier by using multi-source data, and could potentially be a solid basis for in-depth analysis of AVBs with their environmental factors.

Key words: altitudinal vegetation belts; potential vegetation mapping; Bayes algorithm; Daqing Mountains

作者: 孙然好, 张百平, 许娟, [SUN Ranhao](#), [ZHANG Baiping](#), [XU Juan](#)
 作者单位: 孙然好, [SUN Ranhao](#)(中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 100085北京), 张百平, [ZHANG Baiping](#)(中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 100101北京), 许娟, [XU Juan](#)(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 100081北京)
 刊名: [山地学报](#) 
 英文刊名: [Journal of Mountain Science](#)
 年, 卷(期): 2011, 29(5)

参考文献(27条)

1. [Allan N J R](#) [Accessibility and altitudinal zonation models of mountains](#) 1986(03)
2. 张百平;周成虎;陈述彭 [中国山地垂直带信息图谱的探讨](#)[期刊论文]-[地理学报](#) 2003(02)
3. 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](#)[期刊论文]-[生物多样性](#) 2004(01)
4. [Zhang B P](#); [Wu H Z](#); [Xiao F](#) [Integration of data on chinese mountains into a digital altitudinal belt system](#)[外文期刊] 2006(02)
5. 韩芳;张百平;谭靖 [山体基面高度对欧亚大陆东南部林线分布的影响—山体效应量化研究](#)[期刊论文]-[地理学报](#) 2010(07)
6. 上官铁梁;李晋鹏;郭东罡 [中国暖温带山地植被生态学研究进展](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 2009(02)
7. [Hemp A](#) [Continuum or zonation? Altitudinal gradients in the forest vegetation of Mt. Kilimanjaro](#)[外文期刊] 2006
8. [Korner C](#) [The use of altitude' in ecological research](#)[外文期刊] 2007(11)
9. [Miehe G](#); [Miehe S](#); [Vogel J](#) [Highest tree-line in the northern hemisphere found in southern Tibet](#)[外文期刊] 2007(02)
10. 郑度;张荣祖;杨勤业 [试论青藏高原的自然地带](#)[期刊论文]-[地理学报](#) 1979(01)
11. [Da L J](#); [Kang M M](#); [Song K](#) [Altitudinal zonation of humandisturbed vegetation on Mt. Tianmu, eastern China](#)[外文期刊] 2009
12. [Franklin J](#) [Predictive vegetation mapping:geographic modeling of bio-spatial patterns in relation to environmental gradients](#) 1995(44)
13. [Horsch B](#) [Modeling the spatial distribution of montane and subalpine forests in the central Alps using digital elevation models](#)[外文期刊] 2003(03)
14. 刘华民;吴绍洪;郑度 [潜在自然植被研究与展望](#)[期刊论文]-[地理科学进展](#) 2004(01)
15. 赵传燕;冯兆东;南忠仁 [黄土高原祖厉河流域潜在植被分布模拟研究](#)[期刊论文]-[地理学报](#) 2007(01)
16. 李博 [内蒙古地带性植被的基本类型及其生态地理规律](#) 1962
17. 刘培贵 [内蒙古大青山高等真菌区系地理的初步研究](#) 1993(02)
18. 刘培贵 [内蒙古大青山高等真菌垂直分布规律及资源评价](#) 1992(01)
19. 刘勇洪;牛铮 [基于MODIS遥感数据的宏观土地覆盖特征分类方法与精度分析研究](#)[期刊论文]-[Remote Sensing Technology and Application](#) 2004(04)
20. 郝成元;张永领;吴绍洪 [岭谷组合地形的植被空间变异性对比及成因](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 2009(01)
21. 许娟;张百平;谭靖 [青藏高原植被垂直带与气候因子的空间关系](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 2009(06)
22. 徐文铎 [吉良的热量指数及其在中国植被中的应用](#) 1985(03)
23. 孟猛;倪健;张治国 [地理生态学的干燥度指数及其应用评述](#)[期刊论文]-[植物生态学报](#) 2004(06)
24. [Richards J A](#) [Remote sensing digital image analysis](#) 1986
25. 曾志远 [卫星遥感图像计算机分类与地学应用研究](#) 2004
26. 彭望禄;白振平;刘湘南 [遥感概论](#) 2002
27. 戴君虎;崔海亭 [国内外高山林线研究综述](#)[期刊论文]-[地理科学](#) 1999(03)