

GIS 支持下的秦岭山地植被分布与 环境梯度关系研究

朱晓勤¹, 刘 康², 李建国¹, 朱进江³

(1. 中国石油新疆培训中心, 乌鲁木齐 830000; 2. 西北大学 城市与资源学系, 西安 710127; 3. 中国石油新疆油田公司采油二厂, 新疆 克拉玛依 834000)

摘 要: 基于植被与环境的关系这一研究热点, 在 GIS 技术支持下运用植被分布与环境因子关系分析方法, 对秦岭山地植被进行多元分析, 探讨不同植被类型与降水、温度、海拔、坡度和坡向 5 个环境因子的关系; 研究该地区植被类型分布与环境梯度之间的关系。结果表明: (1) 海拔梯度是决定植被分布的主导生态梯度, 随着海拔的增加, 水热因子发生变化, 形成水热因子复合梯度, 对应的植被类型相应改变。坡度和坡向的分异作用不明显。(2) 较好地反映了植被的连续性变化、各植被类型的最优生长环境区间以及植被类型分布与环境梯度的关系, 定量描述了区内各植被类型的降水、温度、海拔、坡度和坡向分布, 清楚地反映了秦岭山地植被与环境梯度的分布规律, 并结合实际给出了理论解释, 证明了 GIS 结合生态分析方法在秦岭山地植被与环境梯度的关系研究中是十分有效的。

关键词: 秦岭植被; 环境因子; 梯度分析; 植被分布规律

中图分类号: Q948.3; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0169-07

Analysis on Vegetation-Environment Gradient Correlation in Qinling Mountain Based on GIS

ZHU Xiao-qin¹, LIU Kang², LI Jian-guo¹, ZHU Jin-jiang³

(1. Xinjiang Consulting and Training Centre of CNPC, Urumchi 830000, China; 2. Department of Urban and Resource Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China; 3. Petro China Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: Based on the relation of vegetation-environment, which is a hotspot in landscape ecology, geography information system technique was applied. The research gave a multi-analysis on vegetation in Qinling mountain, and the correlation of different types of vegetation and five environment factors, including rainfalls, temperature, altitude, slope and aspect, is discussed. The research was done mainly as follows: (1) Study on the correlation analysis of vegetation and environment gradient indicated that altitude gradient is the dominant ecological gradient to determine the vegetation distribution. Changes are taken place with the increasing of altitude. The multiple gradient of water and heat are formed, corresponding types of vegetation transforms as well, functions slope and aspect do not play an evident function in separate. (2) It is reflected the continuity variety of each vegetation, the most appropriate environment zone for each vegetation and the distribution rule of vegetation and environment gradient. It is described the distribution of rainfalls, temperature, altitude, slope and aspect for each kind of vegetation quantitatively, the theoretical explain is given in practice. The results are satisfactory, which is proved that the ecological analysis method combined with the geographic information system, tested in the case study of Qinling Mountain, are effective.

Key words: vegetation in Qinling mountain; environment factor; gradient analysis; distribution rules of vegetation

植被是山地生态系统的重要组成部分, 是山地生态系统的
关键属性之一, 山地植被的结构功能和生态

特征能综合反映生态环境的基本特点和功能特性^[1]。
山地植被既是山地形成过程中的山地生态系统的一

* 收稿日期: 2008-07-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40271052); 973 前期研究(2003cc01500)

作者简介: 朱晓勤(1982-), 女, 汉, 河北人, 硕士, 主要从事景观生态学与环境保护研究。E-mail: zhuxiaqin@mail@163.com

部分,反过来又作用于环境,对环境产生一定影响^[2]。传统生态学和林学在资源开发利用过程中虽然也强调对环境的保护,但对不同时空尺度上多个生态系统之间的相互关系和作用也往往研究不多^[3-4]。从植被分布与地学因子的时空关系中获取用来辅助遥感影像分类的地学知识^[5],利用现有遥感图像处理和 GIS 系统软件,从环境梯度研究角度出发,分析植被变化与各项环境因子之间的关系,并应用于植被群落空间分析,用以揭示植物群落与环境因子间的生态关系、秦岭山地植被的分布规律以及该地区的环境制约因子,进而全面了解秦岭山地植物群落与生态环境的相互关系和作用规律,将对秦岭山地植被保护和建设更加有效地开展有着重要的指导意义,早日实现改善该地区生态环境的目标^[6]。

1 研究区域概况

秦岭山地位于陕西南部,东连豫鄂,西接甘陇,南望巴蜀,北瞰关中,大致位于东经 105°30′ - 110°05′,北纬 32°40′ - 34°35′ 之间,是中国南北自然环境的天然分界线。北部以秦岭北坡山脚线为界,南部以汉江北岸为界,在汉中、安康盆地,以盆地的北缘为界,东、西两侧以省界为界,总面积约 5.79 万 km²,占陕西省总土地面积的 24.83%,是我国气候带的重要分界线,反映在植被分布上,秦岭以北属温带落叶阔叶林带,秦岭以南则属北亚热带类型,有较多常绿阔叶树种分布。由于地势高耸,森林植被的垂直分布很明显。秦岭山地植被垂直分布规律,南北坡有不少相似之处,但受气候条件影响,各带跨幅南坡低于北坡约 100 ~ 150 m^[7]。

2 研究方法

环境梯度分析过程中所涉及因子众多,应用 GIS 进行环境梯度分析作为一种探索,仅选取了其中重要的几个因子进行分析。应用 GIS 的空间分析工具,定量化分析植被分布变化与各环境梯度因子的关系,分别讨论了植被与降水量梯度、温度梯度、海拔梯度、坡度梯度和坡向梯度的分布关系。

2.1 研究数据获取与图件绘制分析

本研究所用基本图件共 6 幅,包括 1:25 万:植被图、年降水量图、年平均气温图、1:5 万:海拔图、坡度图和坡向图。所有图件统一转成 0.1 个栅格单元(100 m × 100 m)的栅格图进行叠加计算。图件的数字化和控制点添加在 R2V 软件下完成,生矢量图层,利用 ArcGIS 软件建立拓扑关系,属性表建立、编辑与填写在 ArcView 中完成。

2.2 植被分布与环境因子关系分析方法

应用 GIS 进行环境梯度研究主要从地图角度出发,通过统计分析形成相应的植被群落空间分布图表。进行植被分布梯度变化与海拔关系的数量化分析,即将 1:5 万经栅格化和插值后形成的高程分布图与栅格化后的 1:25 万植被分布图进行叠加分析,以每一梯度级为基础,统计记录每一种植被落入该高程梯度级内的数量。根据每一植被类型在每一高程梯度级上的分布数量进行连续曲线制图,由此来描述此种植被在不同海拔梯度级上的分布状况,可定量分析出各种植被随海拔梯度变化而呈有规律的梯度分布的特点。

植被分布梯度变化与降水量、温度、坡度、坡向的关系分析方法,都与海拔梯度分析方法相同。

3 植被类型与环境梯度的关系分析

3.1 植被类型整体空间分布状况

单独分析植被图层,得出各植被类型的面积百分比:温带落叶灌丛是秦岭山地的主要植被,约占 58.01%;其次是温带落叶阔叶林,适应能力强,分布广泛,占 14.10%;亚热带落叶灌丛生存适宜性较大,占 4%;各类针叶林、针阔混交林、阔叶林、草丛和人工植被大约各占 0.5% ~ 3%;亚热带竹林及竹丛、亚高山灌丛、各类草原、草甸的面积所占比重非常少,大约 0.005% ~ 0.19%。

3.2 降水量与植被的关系分析

关于植被分布与年降水量的关系,我国许多学者已做了大量的研究工作^[8-11],得到了不同植被类型与年降水量的关系指标。根据这些指标,可以大致得到秦岭山地植被的基本分布规律^[12]。

通过降水量图层与植被分布图层叠置分析可以看出:800,700,900 mm 的降水量是植被生长数量最多的区间,秦岭山地年降水量在 800 ~ 900 mm,适合在此生长的植被数目繁多,所占面积有很大优势;600,1 000 mm 降水量的生长植被生长数量次之;1 200,1 100 mm 降水量的植被生长数量最少,由于秦岭山地降水要少于同纬度的东部地区,年降水量不足。

降水量多的地区与降水量少的地区有着显著的不同^[13]。随着长期适应与进化的结果,不同的植被类型适应一定的湿度条件,水分是影响不同类型植被生长的一个重要因子。

图 1 显示各植被类型在不同降水量上的分布情况。按照各植被百分比峰值区出现的高度,由低到高植被垂直变化规律如表 1。

3.3 年均温与植被的关系分析

通过温度图层与植被分布图层叠置分析可以看出:12~14、10~12 和 8~10 是植被生长数量最多的区间,多种植被适合在此生长;6~8 和

>14 的植被生长数量次之,中低温和高热的生长条件决定了能适应此处生长条件的作物有限;<4 和 4~6 的植被数量最少,受区内年均温为 13 的影响。

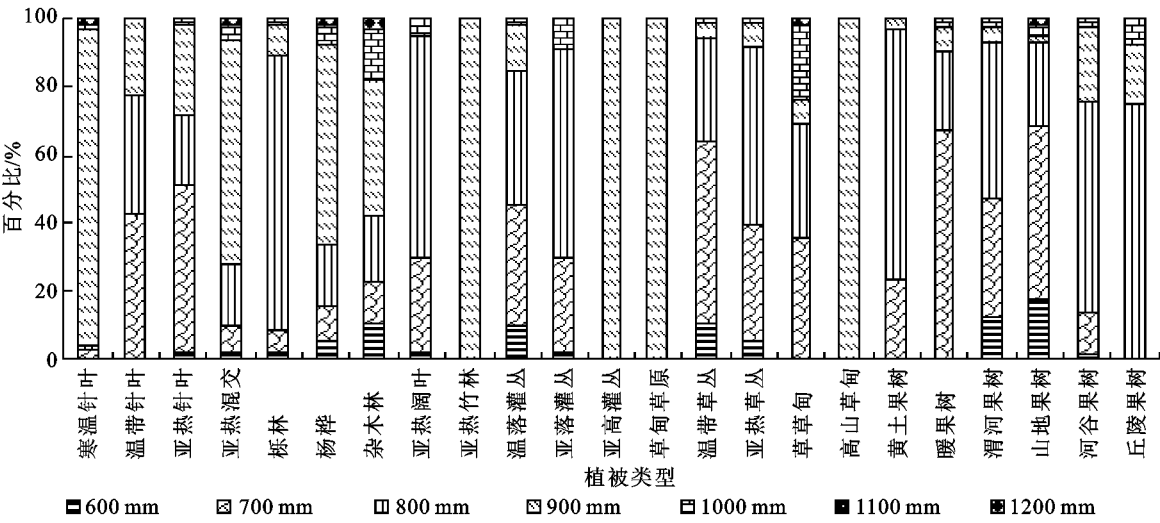


图 1 不同降水量上的各植被类型占自身面积的百分比

表 1 不同降水量区植被垂直变化规律

植被百分比 峰值区/mm	900	800	700
植被类型	寒温带和温带亚高山针叶林、亚热带山地常绿针叶、落叶阔叶混交林、温带落叶阔叶杨桦林、温带落叶阔叶杂木林、亚热带竹林及竹丛、亚高山常绿与落叶灌丛、温带禾草、杂类草草甸草原、蒿草、杂类草高山草甸	温带落叶阔叶栎林、亚热带落叶阔叶林、温带落叶灌丛、亚热带落叶灌丛、亚热带草丛、温性黄土地作物落叶果树、暖温性渭河盆地作物落叶果树、亚热带性江汉河谷平原作物落叶及常绿果树、秦巴低山丘陵作物、落叶及常绿果树	温带针叶林、亚热带针叶林、温带草丛、禾草、杂类草草甸、暖温性作物落叶果树、暖温性山地作物落叶果树

由于光照条件、山体外貌引起的差异,温度高的地段,太阳辐射强烈,光照时数长、强度大,地表温度高,水分蒸发快,从而与温度低的区域,有着很大的不同,植被类型的分布必然会受到很大程度的影响^[14]。

表 2 不同年均温度区域植被垂直变化规律

植被百分比 峰值区/	<4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14
植被类型	寒温带和温带亚高山针叶林、温带禾草、杂类草草甸草原、蒿草、杂类草高山草甸	温带落叶阔叶杨桦林、亚高山常绿与落叶灌丛	亚热带山地常绿针叶、落叶阔叶混交林	温带针叶林、温带落叶阔叶栎林、温带落叶阔叶杂木林、亚热带竹林及竹丛、温性黄土地作物落叶果树、暖温性作物落叶果树	亚热带针叶林、温带落叶灌丛、暖温性渭河盆地作物落叶果树	亚热带落叶阔叶林、亚热带落叶灌丛、温带草丛、亚热带草丛、禾草、杂类草草甸、暖温性山地作物落叶果树、亚热带性江汉河谷平原作物落叶及常绿果树、秦巴低山丘陵作物、落叶及常绿果树

图 2 显示各植被类型在不同温度上的分布情况。按照各植被百分比峰值区出现的高度,由低到高植被垂直变化规律如表 2。

3.4 海拔与植被的关系分析

在山区,地形控制了太阳辐射和降水的空间再分配,因此往往能较好地指示局部生境的小气候条件。地形是形成山地结构和功能、导致山地各种生

态现象和过程发生变化的根本性因素^[8]。许多研究证明:地形因子中,海拔梯度为山区物种分布格局的首要控制因子^[9-10]。随着海拔升高,气温相应下降,同时降水和太阳辐射亦有所改变,从而对生物群落产生共同作用。

通过海拔高度图层与植被分布图层叠加分析可看出:1 376~1 767,984~1 375,1 768~2 158 m 的

中海拔地区植被分布数量最多,是主要的植被分布区;其次是 2 159~2 550,592~983,2 551~2 942 m 的中高海拔和中低海拔地区,植被生长条件较好,适生植被数目较多,并长势良好;2 943~3 334,3 335~3 726 m 的高海拔地区,受生长环境限制,植被数量有限;200~591 m 的低海拔地区植被分布最少。

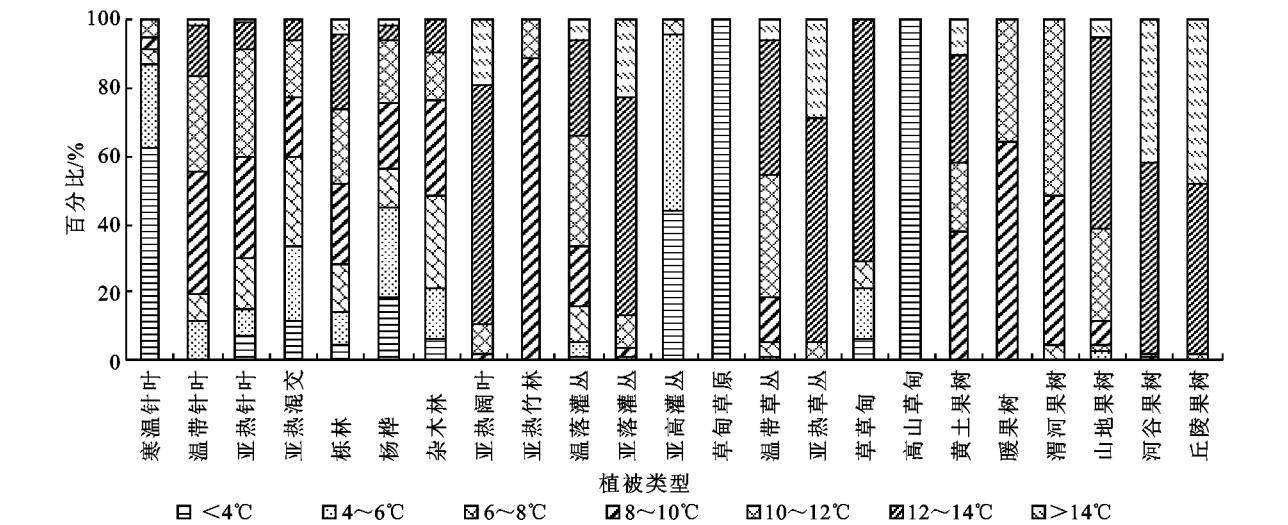


图 2 不同温度带上各植被类型占自身总面积的百分比

由于海拔的升高,引起水热条件变化,每上升 100 m,平均气温下降 0.48 ℃;而降雨量分布呈单峰性,相对湿度则随着海拔升高而升高,空气流动也发生显著的涡动现象,这些必然会影响植被类型的分布^[15]。

图 3 显示各植被类型在不同高度上的分布情况:按照各植被百分比峰值区出现的高度,由低到高植被垂直变化规律如表 3。

3.5 坡度与植被的关系分析

地形对植被的作用可以分为直接影响和间接影响。直接影响即是通过崩塌、搬运和堆积等地貌过程对植被产生的干扰作用,而间接作用则是通过对气候和土壤产生影响而间接作用于植被^[16]。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;每一维对光、热、水、土壤养分的影响各有侧重;地形因子的影响也存在不同的尺度特征,需要一种等级性的观点来认识。在地形的某一特征维度上,其它特征维对植被格局的

影响强度可能会发生不同的梯度变化^[8]。

通过坡度图层与植被分布图层叠置分析可以看出:除了温带草丛因主要生长在沟壁陡坡上,在 45°~90° 所占比例相对较大,暖温性作物落叶果树生长在渭北地区,地势平坦坡度小之外,其余各种植被集中分布在 25°~45° 之间,两端相对较少,总植被量和各植被的坡度分布均呈正态分布。秦岭山地平缓部分比重小,植被量相应少;山体整体坡度相对较大,陡峭地区土壤层薄,植被不适宜生长,同时也说明了研究区植被的坡度分布与坡体呈凸坡形状相符。图 4 显示各植被类型在不同坡度上的分布情况。

不同坡度上单位面积接受到的太阳辐射量不同,土壤与水分流失量不一样。坡度大、土层薄、水分少、无机盐易淋失、土壤多呈酸性,坡度平缓处土层较厚、水分多、土壤酸性较弱。因此坡度对植被的分布产生影响,但相比海拔高度、降水量、温度,坡度只是影响植被生长的次要因素^[12]。

表 3 不同海拔区植被垂直变化

植被百分比 峰值区/m	984~1375	1376~1767	1768~2158	2159~2550	2551~2942	2943~3334	3335~3726
植被类型	亚热带落叶灌丛、亚热带草丛、禾草、杂类草、暖温性作物落叶果树、暖温性渭河盆地作物落叶果树、暖温性山地作物落叶果树、亚热带江汉河谷平原作物落叶及常绿果树、秦巴低山丘陵作物、落叶及常绿果树	温带针叶林、温带落叶阔叶林、亚热带落叶阔叶林、亚热带竹林及竹丛、温带落叶灌丛、温带草丛、温性黄土地作物落叶果树	亚热带针叶林、温带落叶阔叶杂木林	亚热带山地常绿针叶、落叶阔叶混交林、温带落叶阔叶杨桦林	寒温带和温带亚高山针叶林	温带禾草、杂类草、草原、蒿草、杂类草高山草甸	亚高山常绿与落叶灌丛

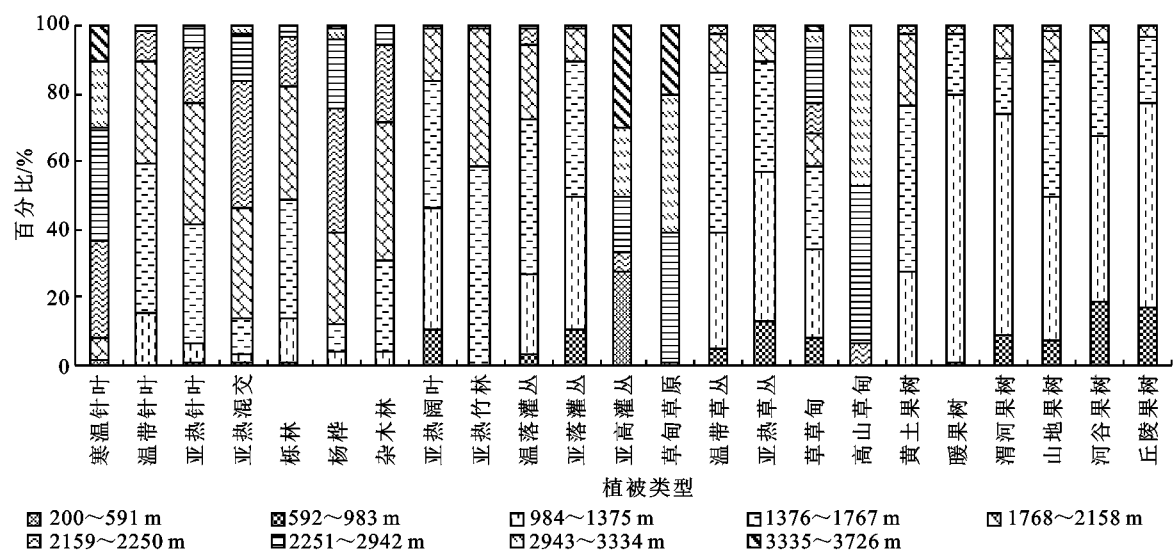


图 3 不同海拔高度上各植被类型占自身总面积的百分比

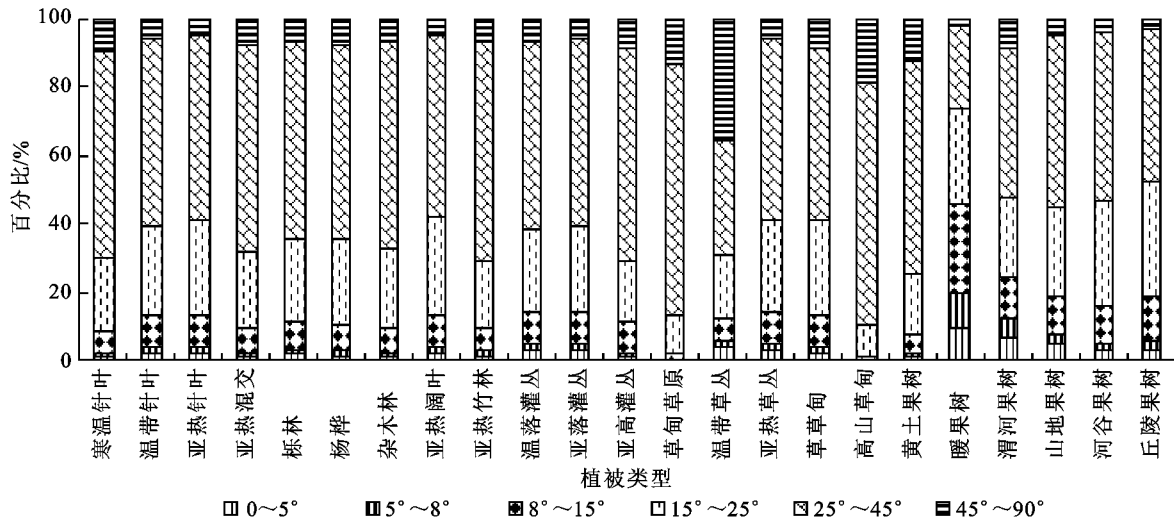


图 4 不同坡度带各植被类型占自身总面积的百分比

3.6 坡向与植被的关系分析

在阳坡光照时数长、强度大,阴坡光照时数短、强度小。因而阳坡的地表温度、气温变幅及水分蒸发、土壤中的理化过程和强度、土壤有机物质的分解、转化和迁移过程均超过阴坡,空气湿度和土壤含水量却比阴坡低。因此阳坡地表腐殖质层厚度和土壤有机质含量也低于阴坡。由于长期适应与进化的结果,不同的植被类型适应于一定的坡向分布^[17]。

通过坡向图层与植被分布图层叠置分析可以看出:除亚热带山地常绿针叶、落叶阔叶混交林在西北坡分布数量很大之外,在其它坡向数量相差不大,与海拔高度、温度、降水量相比较,坡向也不是影响植被生长分布的重要因素。除人工植被在平坡分布面积较大外,其余植被类型在平坡所占比例很小;人工植被大都位于农耕垦殖带,从山前洪积平原逐步向山地过渡,自然植被几乎全被破坏,代之以农耕植被和受人工保护的树种,低山河谷丘陵、土肥厚、坡平缓;高山草甸只有在秦岭主峰太白山海拔 3 000

m 以上才有出现,其所在气候特点为高原地形、寒冷气候、降水与融雪对土壤水分的补充、风大,使得阴坡成为蒿草、杂类草生长数目繁多的区间。图 5 说明的是各植被类型在不同坡向上的分布情况,主要是光照条件、山体外貌引起的差异,体现了山体的南缓北陡、北仰南俯的地形特点。

3.7 各植被类型的最优生长环境区间综合统计

通过本研究综合分析,可以得出各植被类型的最优生长区间如表 4。

3.8 综合环境梯度与植被划分

对于秦岭山地植被的研究表明:海拔是影响山地植被分布的最主要环境因子,海拔梯度是决定秦岭植被分布的主导生态梯度,随着海拔高度的增加,环境中的水热因子发生变化,形成水热因子的复合梯度,生境中所对应的植物种类相应改变。由此,可将已有的 9 个海拔区间,按照从上而下的顺序进一步区分为 5 个综合梯度,每一个综合梯度具有其特定的海拔生境条件需求。这种划分基本上体现了海

拔从高到低的趋势,进而反映了该综合梯度随对应的各植被类型分布。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 根资料记载,秦岭山地本来林木茂盛,随着林区森林资源的开发利用,原生植被在一定程度上有所减少,低生林、低价次生林和人工林面积不断扩大。因此,合理地开发利用森林,科学地培育和扩大

森林资源具有十分重要的意义。

(2) 运用地理信息系统的空间分析技术,综合分析了植被空间分布与海拔高程、降水量、温度、坡度和坡向的地学关联性,证明植被分布与海拔高程、降水量、温度、坡度和坡向之间是相互制约、相互影响的。

(3) 植被的分布变化与许多自然因素有关,在景观尺度上对植被分布进行分析,植被的分布变化受地貌、地形等的影响较小,而气候差异可以引起植被地带性的显著变化。对于秦岭山地植被的研究表

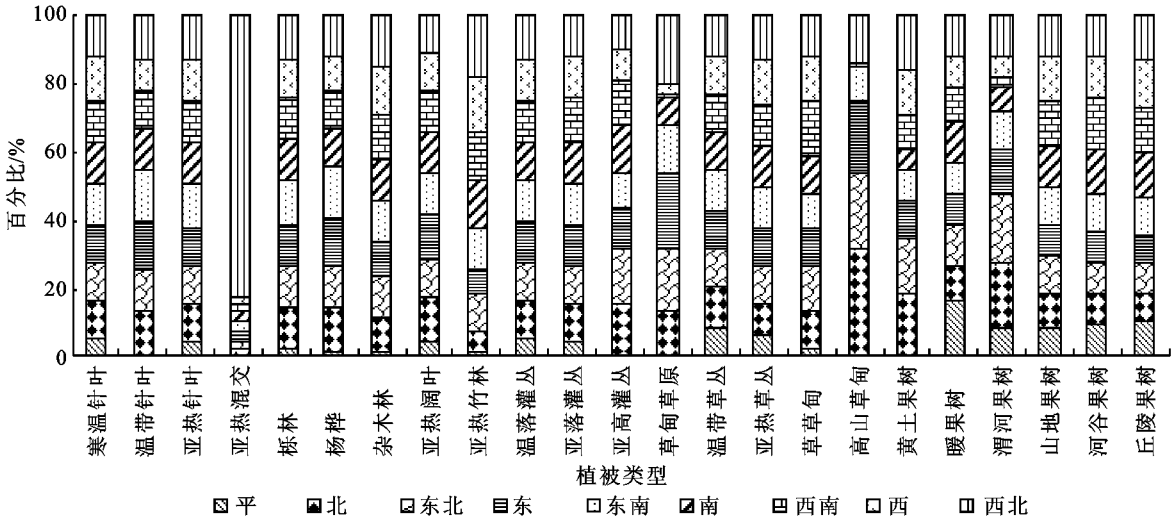


图 5 不同坡向各植被类型占自身总面积的百分比

表 4 各植被类型的最优生长区间

植被类型	年降水量/mm	年均温/	海拔/m	坡度/(°)	坡向
寒温带和温带亚高山针叶林	900	< 4	2551 ~ 2942	25 ~ 45	-
温带针叶林	700	8 ~ 10	1376 ~ 1767	25 ~ 45	阴
亚热带针叶林	700	10 ~ 12	1768 ~ 2158	25 ~ 45	(半)阳
亚热带山地常绿针叶、阔叶混交林	900	6 ~ 8	2159 ~ 2550	25 ~ 45	西北
温带落叶阔叶栎林	800	8 ~ 10	1376 ~ 1767	25 ~ 45	-
温带落叶阔叶杨桦林	900	4 ~ 6	2159 ~ 2550	25 ~ 45	(半)阴
温带落叶阔叶杂木林	1000	8 ~ 10	1768 ~ 2158	25 ~ 45	(半)阳
亚热带落叶阔叶林	800	12 ~ 14	1376 ~ 1767	25 ~ 45	(半)阴
亚热带竹林及竹丛	900	8 ~ 10	1376 ~ 1767	25 ~ 45	(半)阳
温带落叶灌木	800	10 ~ 12	1376 ~ 1767	25 ~ 45	(半)阳
亚热带落叶灌木	800	12 ~ 14	984 ~ 1375	25 ~ 45	(半)阳
亚高山常绿与落叶灌木	900	4 ~ 6	3335 ~ 3726	25 ~ 45	(半)阴
温带禾草、杂类草草甸草原	1000	< 4	984 ~ 1375	25 ~ 45	(半)阴
温带草丛	700	10 ~ 12	1376 ~ 1767	25 ~ 45	(半)阳
亚热带草丛	800	12 ~ 14	984 ~ 1375	25 ~ 45	(半)阳
禾草、杂类草草甸	700	12 ~ 14	1376 ~ 1767	25 ~ 45	(半)阳
蒿草、杂类草高山草甸	900	< 4	2943 ~ 3334	25 ~ 45	(半)阴
温性黄土地作物落叶果树	800	8 ~ 10	1376 ~ 1767	25 ~ 45	-
暖温性作物落叶果树	700	8 ~ 10	984 ~ 1375	25 ~ 45	-
暖温性渭河盆地作物落叶果树	800	10 ~ 12	984 ~ 1375	25 ~ 45	(半)阴
暖温性山地作物落叶果树	700	12 ~ 14	984 ~ 1375	25 ~ 45	-
亚热带江汉河谷平原作物落叶及常绿果树	800	12 ~ 14	984 ~ 1375	25 ~ 45	(半)阳
秦巴低山丘陵作物、落叶及常绿果树	800	12 ~ 14	984 ~ 1375	25 ~ 45	(半)阳

表 5 不同海拔区的植被变化					
梯度划分	低海拔/ m	中低海拔/ m	中海拔/ m	中高海拔/ m	高海拔/ m
	200 ~ 591	592 ~ 983 984 ~ 1375	1376 ~ 1767 1768 ~ 2158	2159 ~ 2550 2551 ~ 2942	2943 ~ 3334 3335 ~ 3726
植被类型	-	亚热带草丛、禾草、杂类草草甸、暖温性作物落叶果树(暖、渭河、山地)、亚热带作物落叶及常绿果树(河谷、丘陵)	温带针叶林、亚热带针叶林、温带落叶阔叶林、温带落叶阔叶杂木林、亚热带落叶阔叶林、亚热带竹林及竹丛、温带落叶灌丛、亚热带落叶灌丛、温带草丛、禾草、杂类草草甸、温性作物落叶果树(黄土)	寒温带和温带亚高山针叶林、亚热带混交林、温带落叶阔叶杨桦林、蒿草、杂类草、高山草甸	亚高山常绿与落叶灌丛、温带禾草、杂类草、草甸草原

明:海拔是影响山地植被分布的最主要环境因子。海拔梯度是决定秦岭植被分布的主导生态梯度,随着海拔高度的增加,环境中的水热因子发生变化,形成水热因子的复合梯度,生境中所对应的植物种类相应改变。整个研究区内地貌复杂,由于受地貌影响,各植被垂直带被零星分布的其它植被板块打碎。坡度变化缓和,坡度的分异作用也不明显。植被的坡向、坡度分布体现了山体的南缓北陡、北仰南俯的地形特点。由于各方向上光照条件差异不大,所以坡向对植被分布的分异作用不如海拔、降水、气温的影响。坡度、坡向对植被分布的影响是次要的,主要因素是光、热、水等条件发挥作用。

(4)研究结果较好地反映了植被的连续性变化、各植被类型的最优生长环境区间以及植被类型分布与环境梯度的关系,定量描述了区内各植被类型的海拔、降水量、温度、坡度和坡向分布,清楚地反映了秦岭山地植被与环境梯度的分布规律,并结合实际给出了理论解释,证明了 GIS 结合生态分析方法在秦岭山地植被与环境梯度的关系研究中是十分有效的。

4.2 讨论

(1)在研究中,由于整个秦岭面积大和资料获取的限制,秦岭的水分因子、热量因子、地形因子等数据均有待于进一步更新和扩充,若增加土壤等信息和数据,将会对研究结果和揭示植被分布规律和格局有着很大的帮助。

(2)从植被角度出发,秦岭比较特殊之处是它的南坡很缓很长,其中又有几道阶梯状的低于主脊线的几道次级脊线,把亚热带常绿阔叶林的北界划在秦岭的南坡 800 m 等高线上,是一种比较好的选择。因为这从植被的角度看很直观,800 m 以下,亚热带植被的特征很明显,植被常绿、亚热带的典型植物和作物到处可见,但一到 800 m 以上,这些就很难见到了。因此这个 800 m 线显然就是亚热带常绿阔叶林的北界。如果把北界划在山脊上或者划在北坡,就会把许多不是亚热带的成分划到亚热带里,因此认为“南坡说”比较符合实际。

参考文献:

[1] 陈宜瑜. 中国湿地研究[M]. 长春:吉林出版社,1995.

[2] 吴东丽,上官铁梁,张金屯,等. 淳沱河流域湿地植被的数量分类和排序[J]. 西北植物学报,2005,25(4):648-654.

[3] 李斌,张金屯. 黄土高原地区植被与气候的关系[J]. 生态学报,2003,23(1):82-89.

[4] 李斌,张金屯. 基于 GIS 的黄土高原地区植被与气候的关系研究[J]. 环境科学与技术,2003,26(5):25-26,42.

[5] 刘卫国. DTM 软件设计及其在环境梯度分析中的应用[D]. 北京:北京林业大学,1996.

[6] 席跃翔. 太行山中段植物群落的生态关系研究[D]. 太原:山西大学,2004.

[7] 刘康,马乃喜,胥艳玲,等. 秦岭山地生态环境保护与建设[J]. 生态学杂志,2003,23(3):157-160.

[8] 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.

[9] 沈泽昊,张新时. 三峡大老岭地区森林植被的空间格局分析及其地形解释[J]. 植物学报,2000,42(10):1089-1095.

[10] 姜安如,周国法. 天山中段主要植被类型中种群的空间分布格局与环境的关系[J]. 植物生态学报,2001,25(4):385-391.

[11] Doleal J, rutek M. Altitudinal Changes In composition and structure of mountain-temperate vegetation: A case study from the Western Carpathians[J]. Plant-Ecol.,2002,158:201-221.

[12] 闵庆文,余卫东. 从降水资源看黄土高原地区的植被生态建设[J]. 水土保持研究,2002,9(3):109-117.

[13] 杨存建,周成虎. 基于知识的遥感图像分类方法的探讨[J]. 地理学与国土研究,2001,17(1):72-77.

[14] 唐志尧,方精云,张玲. 秦岭太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.

[15] 刘卫国,吕鸣伦. 地理信息系统和遥感技术支持下的山地环境梯度分析方法研究[J]. 地理研究,1997,16(3):63-69.

[16] 杨永川. 中国中亚热带东部低山丘陵地形梯度上植被的分异及其形成和维持机制[D]. 上海:华东师范大学,2005.

[17] 唐季林,段永刚. 关帝山植物群落与环境梯度分析[J]. 北京林业大学学报,1995,17(4):36-43.