

关中地区人居环境自然适宜性评价

张 翀, 任志远, 李 晶

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘 要: 利用陕西省关中地区 68 个气象台站 1971—2000 年平均温度与相对湿度月值观测数据, 1971—2000 年平均降水与水域比例分布图, 1: 25 万 DEM, 2005 年遥感影像(TM) 以及 2005 年关中地区人口数据等资料, 以 ArcGIS 中的空间克里格插值、栅格计算和区域统计为基础, 展现了关中地区人居环境自然适宜程度空间格局, 并在此基础上, 通过 Hopfield 神经网络聚类, 对各区的适宜性和限制性因子进行了分析, 最后在相互比较下得出了关中地区最适宜人类居住的区域。分析结果表明: (1) 关中地区人居环境自然适宜性分区呈现出层状分布, 越靠近人口密集区人居环境指数越小。一般适宜区分布面积最广, 占关中地区总面积的 42.46%; 比较适宜地区次之, 占 29.77%; 不适宜区占 15.13%; 高度适宜区面积最小, 占 12.64%。关中地区总人口的 22.27% 分布在不适宜区; 总人口的 61.95% 分布在比较适宜区和一般适宜区, 相应面积占总面积的 72.23%; (2) 地形起伏度、水文指数、海拔高度和年均降水量等因素对人居环境自然适宜性影响较大, 即限制性较大, 为主要影响因子; (3) 二等一般适宜区受到自然和社会因子影响都较小, 适宜人类居住。

关键词: 关中地区; 人居环境自然适宜性; Hopfield 神经网络聚类

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0137-06

中图分类号: X821

Evaluating Natural Suitability of Human Settlements in Guanzhong Region

ZHANG Chong, REN Zhi-yuan, LI Jing

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: On the basis of spatial Kriging interpolation, grid calculation, and regional statistics of ArcGIS, the spatial patterns of natural suitability of human settlements in the Guanzhong Region have been evaluated using annual average temperature, monthly relative humidity, and average precipitation from 68 meteorological stations in the region during the period of 1971—2000. Spatial data was also collected from maps of water bodies and population, a 1: 250 000 DEM, and a remote sensing image(TM) of 2005. Furthermore, the suitability and limiting factors in each region were analyzed through Hopfield neural network clustering. The analysis results indicate that: (1) the natural suitability of human settlements in the region has a layered distribution pattern. The human settlement index of an area increases with distances to the densely populated center. The suitable area is most widely distributed, accounting for 42.46% of the total area of the region; the moderately suitable area is the second, accounting for 29.77%; the unsuitable area accounts for 15.13%; the highly suitable area distributed sparsely, accounting for 12.64%. The total population of 22.27% in the region is distributed in the unsuitable area; the total population of 61.95% is distributed in the moderately suitable and suitable area, correspondingly accounting for 72.23% of the total area. (2) the topography, hydrology indices, altitude, and annual average precipitation are the main limiting factors, and significantly restrict the natural suitability of human settlements. (3) the suitable areas for human habitation affected very little by natural and social factors.

Keywords: Guanzhong Region; natural suitability of human settlements; Hopfield neural network

希腊学者道萨迪亚斯 1958 年创建了人类聚居科学, 对人类生活环境等问题进行了大规模的基础研

收稿日期: 2011-05-22

修回日期: 2011-07-21

资助项目: 国家自然科学基金项目“西北黄土高原台塬区土地资源开发利用与生态安全动态分析”(41071057)

作者简介: 张翀(1986—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 博士研究生, 主要从事资源环境遥感与 GIS 相关研究。E-mail: zhangch3348@126.com。

通信作者: 任志远(1953—), 男(汉族), 陕西省兴平市人, 教授, 博士生导师, 主要从事资源环境遥感与 GIS 相关研究。E-mail: renzhy@snnu.edu.cn。

究。1993 年吴良镛、周干峙和林志群先生在国内首次提出人居环境科学的概念。1995 年 11 月,清华大学正式成立了“人居环境研究中心”,并取得了一系列相关的研究成果。人居环境概念的提出,首先在类型上,将城市型和乡村型纳入一个统一体;在居住地域上,将城市和农村整合在一起;在居住空间上,将人与自然融为一个整体。所以在研究方法上,必然要求采用一种融合贯通、综合的方法。吴良镛参照道氏学说,将人居环境系统划分为自然系统、人类系统、社会系统、居住系统和支撑系统共 5 大系统^[1-4],其中“人类系统”与“自然系统”是两个基本系统。在人居环境自然适宜性问题上,很多学者已经做出了一些成果^[5-8]。本研究以陕西省关中地区为研究对象,构建了小区域人居自然环境指数模型,并通过 Hopfield 神经网络聚类,对各级区的适宜性和限制性因子进行了分析,最后在相互比较下得出该地区最适宜人类居住的区域,以此说明小区域环境下“人类系统”对人居环境影响的重要性。

1 研究区概况

关中地区传统意义上包括西安市、铜川市、宝鸡市、咸阳市、渭南市和杨凌示范区等地区,而关中一天水经济区中也将商洛市划分在关中地区之内,本研究则以后者为研究对象进行分析。关中地区土地肥沃,河流纵横,气候温和。但随着近年来经济的快速发展和人口的增加以及气候不断变暖,关中地区城镇建设和农村居民点用地急剧扩大,大量林木被砍伐,耕地被占用,人居环境自然适宜性显著降低。

2 数据来源与预处理方法

资料数据包括数字化地形图(DEM, 1:25 万),关中地区 68 个气象台站 1971—2000 年平均温度与相对湿度月值观测数据,1971—2000 年平均降水与水域比例分布图,关中地区 2005 年遥感影像(TM),关中地区人口数据以及关中地区行政区划图等数据。

首先,将关中地区 68 个气象台站多年平均温度与相对湿度月值观测数据、多年平均降水与水域比例分布图和人口数据转换成 dbf 数据格式,导入到 ArcGIS 9.2 中,根据每个站点的经纬度坐标建立点图层,定义地理坐标和投影坐标。利用普通克里格插值法获取未知样点的数据,设定数据的空间分辨率为 100 m × 100 m。采用交叉验证(cross-validation)的检验方法对插值结果进行检验,并对标准平均值、均方根预测误差、平均标准误差以及标准均方根预测误差值进行检验,从而得到关中地区 1971—2000 年多年平

均温度与相对湿度月值观测数据、多年平均降水与水域比例和人口空间格局^[9]。

然后,利用 ERDAS 8.7,以 TM 影像为数据提取了 NDVI,并对 TM 影像进行预处理,包括对分幅影像的拼接、投影变换、几何校正以及裁剪。然后,在遵循国家土地(利用)分类系统的基础之上对遥感影像进行分类,解译过程中主要采用非监督分类方法,对非监督分类方法生成的分类数据进行彩色显示,目视判断过程中将相同类进行合并,再根据合并结果对生成的分类模板文件中的属性进行相应合并。最后利用此模板进行监督分类,并根据实际考察以及不满意的分类,对模板反复修改,直至满意为止。基于得到的土地利用类型图的属性表,把各类土地利用类型的权重作为一个新的字段加入,并按该字段转换成栅格图像,转换过程中将栅格单元设置为 100 m × 100 m,这样就得到了土地利用类型权重栅格图层。

3 评价模型

3.1 地形起伏度

地形起伏度(RDLS)的计算公式为:

$$RDLS = ALT/1\ 000 + [(H_{max} - H_{min}) \times (1 - A_p/A)]/500 \quad (1)$$

式中:ALT——以某一栅格单元为中心一定区域内的平均海拔(m); H_{max} , H_{min} ——区域内的最高与最低海拔(m); A_p ——区域内的平地面积(km^2),本研究中把坡度小于等于 5° 的区域确定为平地; A ——区域总面积,如确定 $5\ \text{km} \times 5\ \text{km}$ 栅格为提取单元,则 A 值为 $25\ \text{km}^2$ 。在本研究中,确定 $1\ \text{km} \times 1\ \text{km}$ 栅格为基本评价单元,则 A 值为 $1\ \text{km}^2$ 。地形起伏度的提取主要采用窗口分析法等方法,利用 ArcGIS 软件的 Spatial Analyst 中的栅格邻域计算工具 Neighborhood Statistics 实现,邻域分析中窗口大小的确定,参照了汤国安^[11]等人的研究成果。

3.2 地被指数

地被指数(LCI)计算公式为:

$$LCI = NDVI \times LT_i \quad (2)$$

式中:NDVI——该单元格的归一化植被指数; LT_i ——各土地利用类型的权重。土地利用类型基于 2005 年遥感影像解译获得,各类型的权重参考封志明等^[12]的研究成果。

3.3 温湿指数和风效指数

温湿指数(THI)和风效指数(K)计算公式为:

$$THI = T = 0.55 \times (1 - f) \times (T - 58) \quad (3)$$

$$T = 1.8t + 32 \quad (4)$$

$$K = -(10\sqrt{v} + 14.45 - v)(33 - t) + 8.55s \quad (5)$$

式中: t ——月平均气温(°C); T ——月平均华氏温度(°F); f ——月平均空气相对湿度(%); v ——地面10 m 高度处的平均风速(m/s); s ——日照时数(h)。

3.4 水文指数

水文指数(WRI)计算公式为:

$$WRI = \alpha P + \beta W_a \quad (6)$$

式中: P ——归一化的年均降水量; W_a ——归一化的水域面积; α β ——年均降水与水域比例的权重, α 取值0.8 β 取值0.2。

3.5 人居环境指数

人居环境指数(HEI)计算公式为:

$$HEI = \alpha_i \times NRDLs + \beta_i \times NTHI + \chi_i \times NWRI + \delta_i \times NLCI \quad (7)$$

式中: 人居环境指数值介于0~100; NRDLs——标准化地形起伏度; NTHI——标准化温湿指数; NWRI——标准化水文指数; NLCI——标准化地被指数; α_i ——地形起伏度; β_i ——温湿指数; χ_i ——水文指数; δ_i ——地被指数对应的权重。通过在 ArcGIS 中的 toolbox 里输入 multivariate 选择 band collection statistics 功能, 从而得到各单项因子与人口密度的相关系数, 进而得到对应权重。

由于人居环境的测评涉及各个分指数之间的运算, 但是各分指数的数量级存在很大差别, 所以需要每个分指数进行指标标准化。其中地形起伏度要求越小越好, 而地被指数和水文指数的值是越大越好, 表征气候适宜度的温湿指数要求适中为宜。因此, 气候适宜度采用了线性变换中的中心效果测度标准化方法; 其余3个指数采用了极差变换, 其中地被指数和水文指数采用上限测度效果标准化, 地形起伏度采用了下线测度效果标准化。标准化后4个指标的值均在(0, 1)之间, 为了使得人居环境指数测算结果便于和国家标准对比, 需要使各指标标准化值落在(0, 100)之间, 所以又对每一个标准化值乘以100。

上限测度效果标准化:

$$I_{scorei} = (x_i - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) \quad (8)$$

下限测度效果标准化:

$$I_{scorei} = (x_{max} - x_i) / (x_{max} - x_{min}) \quad (9)$$

中心效果测度标准化:

$$\text{如果 } x_i < x_m, I_{scorei} = (x_i - x_m) / (x_m - x_{min}) \quad (10)$$

$$\text{如果 } x_i > x_m, I_{scorei} = (x_{max} - x_i) / (x_{max} - x_m) \quad (11)$$

式中: I_{scorei} ——第 i 个栅格的某一指数(如地形起伏度)的标准化值; x_i ——第 i 个栅格的某一指数原始数值; x_{max} x_{min} ——所有栅格中某一指数的最大和最小值; x_m ——所有栅格中某一指数的最适宜值^[6]。

4 Hopfield 神经网络聚类

Hopfield 神经网络是一种具有动态自反馈的非线性映射, 是一个强有力的动力学系统, 用于聚类时需要构造一个能量函数(所有样本到各自聚类中心的距离和)并且使用模糊数来标识一个样本属于某一类的程度, 通过对能量函数的训练, 对模糊数进行修正, 使得能量函数逐渐减小, 模糊数逐渐确定, 最后能量函数值达到最小, 模糊数完全确定, 即某一样本属于某一类, 则该类的模糊数变为1, 而其它模糊数变为0^[10]。

5 结果分析

5.1 人居环境自然适宜性空间格局

关中地区人居环境指数介于2.54~65.61之间, 整体分布态势呈现: 从西南向东北递减, 从山地向平原递减, 并表现出层状分布, 越靠近人口密集区人居环境指数越小(附图5)。根据关中地区的人居环境指数分布的实际情况以及人口分布与自然环境的相关性并运用聚类的方法, 将人居环境指数由低到高分6个级别, 分别为I—VI级不同类型区(附图6)。

(1) I级区。人居环境指数介于47.55~65.61之间, 均值为51.38, 理论上是关中地区人居环境自然适宜程度最高的区域, 受自然因子限制最小, 气候宜人, 降水充沛, 植被茂盛, 利于人的身心健康, 最适宜人类常年生活和居住。主要分布在关中地区秦岭山地内部, 包括宝鸡市、西安市和渭南市南部以及商洛市周边地区, 土地面积828 924 hm², 占关中地区总面积的12.64%; 相应人口475万人, 占关中地区总人口的15.78%, 平均人口密度约7.24人/km²。面积相对最小, 并且人口密度、经济密度也是相对较小的区域。

(2) II级区。人居环境指数介于39.64~47.55之间, 均值为43.71, 自然限制性较小, 属于一等比较适宜区。主要分布在I级区的周边, 分布县区大致与I级区相同, 另外陈仓区和渭滨区也有分布, 土地面积964 723 hm², 占关中地区总面积的14.71%; 相应人口497万人, 占关中地区总人口的16.49%, 平均人口密度约7.56人/km², 人口分布程度较I级区有所增加。

(3) III级区。人居环境指数介于31.73~39.64之间, 均值为35.35, 属于二等比较适宜区。主要分布在商洛地区中部和宝鸡地区的西南部以及咸阳、铜川和渭南地区的南部。土地面积987 736 hm², 占关中地区总面积的15.06%; 相应人口460万人, 占关中地区总人口的15.28%, 平均人口密度约7.01人/km², 是关中地区人口密度较低的区域之一。

(4) IV级区。人居环境指数介于24.55~31.73之

间,均值 28.03,属于一等一般适宜区,存在一定自然限制性。主要分布在Ⅲ级区外围,商洛地区也有少许分布,土地面积 1 284 633 hm^2 ,占关中地区总面积的 19.59%;相应人口 420 万人,占关中地区总人口的 13.95%,平均人口密度约 6.40 人/ km^2 ,人口密度最小,这主要是由于面积较大且该区人口向人口密集区迁移的原因。(5) V 级区。人居环境指数介于 17.38~24.55 之间,均值 21.08,属于二等一般适宜区,自然限制性偏大。主要分布在Ⅳ级区外围,涉及县区最多,达 30 多个县区,土地面积 1 500 027 hm^2 ,占关中地区总面积的 22.87%;相应人口 489 万人,占关中地区总人口的 16.24%,平均人口密度约 7.45 人/ km^2 ,人口密度与Ⅱ级区比较接近,这主要也是由于该区面积较大且人口向人口密集级区迁移的原因。(6) VI 级区。人居环境指数介于 2.54~17.38 之间,均值 13.90,属于不适宜区,自然环境较差,理论上讲,勉强适合人类定居,但是社会条件优越,所以人口分布较为密集。主要分布在关中中部以及东北部,大致位于 6 个区域中的最内层,土地面积 992 236 hm^2 ,占关中地区总面积的 15.13%;相应人口 670 万人,占关中地区总人口的 22.27%,平均人口密度约 10.21 人/ km^2 ,是人口最为密集的区域,其中西安市区、临潼区和临渭区相对最密集,并且以最密集区向外逐渐递减。

综上所述,关中地区人居环境自然适宜性分区呈现出层状分布,越靠近人口密集区人居环境指数越小。关中地区以一般适宜区分布面积最广,占关中地区总面积的 42.46%;比较适宜地区次之,占 29.77%;不适宜区占 15.13%;高度适宜区面积最小,占 12.64%。关中地区总人口的 22.27% 分布在不适宜区,

相应面积仅占关中地区的 15.13%;总人口的 61.95% 分布在比较适宜区和一般适宜区,相应面积占总面积的 72.23%。关中地区适合人类居住的地区人口密度较小,然而不适合人类居住的地区人口密度较高。这主要是由于人居环境指数较高区虽然生态环境优越,但是社会条件较低,相反指数较低区社会条件较好,而自然生态环境欠缺。也反映出大趋势下人们追求的是方便快捷的生活,而不是追求优越的自然环境。

5.2 关中地区人居环境的自然限制性和适应性

对各个指数以及海拔高度、NDVI 和年均降水量采用上限测度效果标准化,将其归一为 0~100 之间的数值,然后利用 ArcGIS 空间分析中的区域统计功能,将 6 个级区中归一化后的各个指数以及海拔高度、NDVI 和年均降水量的均值进行提取,并分别对相关因子和 6 个级区进行 Hopfield 神经网络聚类(表 1)。由表 1 可以看出,在相关因子中,地形起伏度、水文指数、海拔高度和年均降水量为第 1 类,其余为第 2 类;6 个级区中的 I 和 II 级区为第 1 类,Ⅲ和Ⅳ级区为第 2 类,V 和 VI 级区为第 3 类。在相关因子聚类比较中,第 1 类因子的归一化指数随级区增大而呈单调递减趋势,并且变化量较大;第 2 类因子的归一指数随级区增大也大致呈单调递减趋势,但年均温湿指数从Ⅳ级区开始递增,且变化量较第 1 类因子小。说明地形起伏度、水文指数、海拔高度和年均降水量等因子对人居环境自然适宜性影响较大,即限制性较大,为主要影响因子;地被指数和 NDVI 影响较小,其限制性较小,年均温湿指数在各级区平均情况下总体变化幅度最小,与其它因子相比,对人居环境自然适宜性的影响是最小的,其限制性最小。

表 1 人居环境综合自然适宜性及相关因子评价

因子(均值)	人居环境自然适宜性等级						聚类
	I	II	III	IV	V	VI	
地形起伏度	36.47	26.76	17.04	8.86	5.21	1.99	1
水文指数	69.93	59.04	47.87	29.68	16.83	9.54	1
海拔高度	38.46	32.96	26.49	19.97	13.42	5.88	1
年均降水量	71.91	60.81	50.87	35.32	21.54	11.06	1
地被指数	72.91	66.01	57.24	57.43	49.63	35.19	2
年均温湿指数	83.89	78.15	61.15	44.02	51.51	75.56	2
NDVI	80.60	76.31	71.34	69.20	63.78	55.02	2
聚类	1	1	2	2	3	3	

5.3 各级区的适宜性分析

根据级区聚类结果,6 个级区中的 I 和 II 级区为第 1 类,Ⅲ和Ⅳ级区为第 2 类,V 和 VI 级区为第 3 类。

I 和 II 级区地处关中秦岭中部山地区,平均海拔

较高,地势起伏较大(400~3 698 m),雨量较充沛,年均降水量变化范围在 570.6~805.5 mm;水文指数变化范围在 0.201~0.980,地表水系较稠密。因地势起伏大,理论上是关中地区内较为理想的人类聚居区。

聚类结果与人居环境指数空间格局基本一致。Ⅲ和Ⅳ级区主要分布于秦岭东西两端山地区,另外秦岭边缘低山区以及其它低山区也有分布,地势起伏相对最大(327~3 736 m),年均降水量变化范围在 517.1~796.3 mm,水文指数变化范围在 0.091~-0.915,后两者差异量均属最大,理论上是最不适宜居住的地区。聚类结果与人居环境指数空间格局不一致。Ⅴ和Ⅵ级区分布于Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ和Ⅳ以外地势起伏不大的区域(300~2 609 m),年均降水量变化范围在 505.0~710.5 mm,水文指数变化范围在 0.057~0.698,三者变化幅度相对最小,理论上是最适宜居住的地方。聚类结果与人居环境指数空间格局不一致。人居环境指数空间格局与聚类结果的不一致是小区域环境下“人类系统”影响较大所致。

由于对人居环境自然适宜性影响较大的因子为地形起伏度、水文指数、海拔高度和年均降水量,所以统计出 6 个级区中的海拔高度、年均降水和水文指数的变化幅度(表 2)。根据表 2 对各级区进行 Hopfield 神经网络聚类,可以看出Ⅰ,Ⅴ和Ⅵ级区被聚为 1 类,3 种主要因子的变化幅度都较小。最后再结合实际判断Ⅰ,Ⅴ和Ⅵ这 3 个级区最适宜居住的级区:Ⅰ级区中主要限制性因子为海拔高度,且影响较大;Ⅵ级区中限制性因子较多,不仅包括自然因子,而且还包括社会因子,故Ⅰ和Ⅵ都不适合居住,而Ⅴ级区受到自然和社会因子影像都较小,最适宜人类居住。

表 2 各级区海拔、降水和水文因子的变化

因子	Ⅰ级区	Ⅱ级区	Ⅲ级区	Ⅳ级区	Ⅴ级区	Ⅵ级区
海拔高度	3 000	3 298	3 372	3 399	2 309	2 100
年均降水量	198.6	234.8	260.0	258.7	205.1	148.4
水文指数	0.607	0.779	0.809	0.760	0.639	0.424
聚类	1	2	2	2	1	1

6 结论

(1) 根据人居环境指数分布,关中地区人居环境自然适宜性分区呈现出层状分布,越靠近人口密集区人居环境指数越小。

(2) 地形起伏度、水文指数、海拔高度和年均降水量对人居环境自然适宜性影响较大。

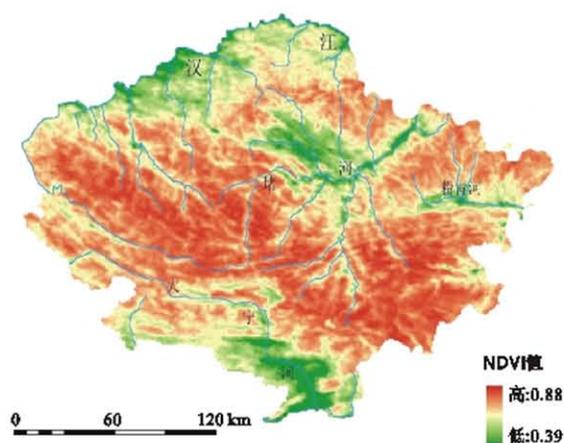
(3) 根据级区聚类结果,6 个级区中的Ⅰ和Ⅱ级区为第 1 类,理论上是最适宜居住的人类聚居区,聚类结果与人居环境指数空间格局基本一致;Ⅲ和Ⅳ级区为第 2 类,理论上是最不适宜居住的地方,聚类结果与人居环境指数空间格局不一

致;Ⅴ和Ⅵ级区为第 3 类,理论上是最适宜居住的地方,聚类结果与人居环境指数空间格局不一致。人居环境指数空间格局与聚类结果的不一致是小区域环境下“人类系统”影响较大所致。依据各级区中主要因子变化幅度数据,对各级区进行 Hopfield 神经网络聚类,结果表明Ⅰ,Ⅴ和Ⅵ级区被聚为一类,3 种主要因子的变化幅度都较小。最后结合实际判断Ⅰ,Ⅴ和Ⅵ这 3 个级区最适宜居住的级区:Ⅰ级区中主要限制性因子为海拔高度,且影响较大;Ⅵ级区中限制性因子较多,不仅包括自然因子,而且还包括社会因子,故Ⅰ和Ⅵ均不适合居住,而Ⅴ级区受到自然和社会因子影像都较小,最适宜人类居住。

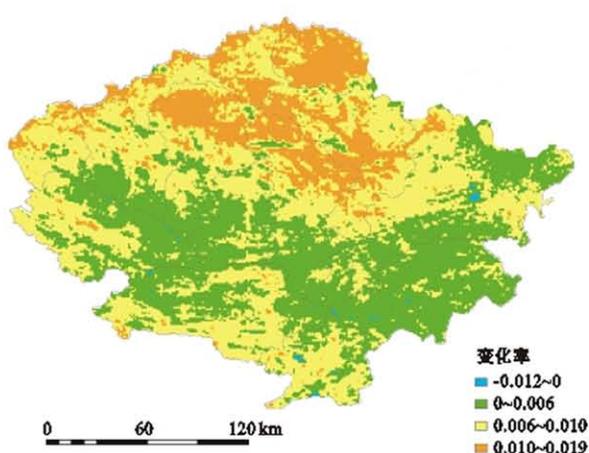
(4) 一般情况下,在大区域环境下,人居环境指数与人口密度呈现出一致的趋势,但是若以小区域为研究对象则需要考虑到“人类系统”的影响因素,而本研究的不足之处就是未考虑此因素,如何结合这些因素来深入分析小区域范围内人居环境的适宜性,是今后进一步研究的方向。

[参 考 文 献]

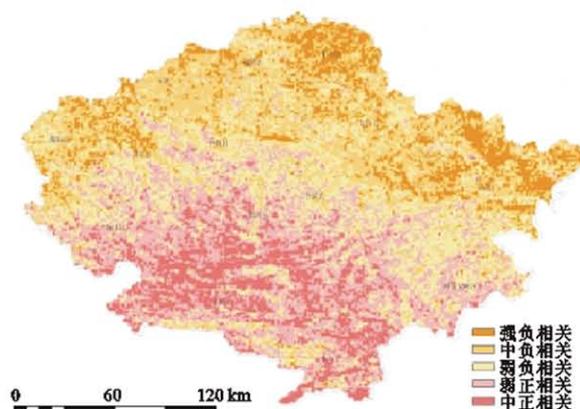
- [1] 贺勇. 适宜性人居环境研究“基本人居生态单元”的概念与方法[D]. 浙江 杭州: 浙江大学.
- [2] 吴良镛. 人居环境科学的探索[J]. 规划师 2001, 17(6): 5-8.
- [3] 吴良镛. 关于人居环境科学[J]. 城市发展研究, 1996(1): 1-5.
- [4] 吴良镛. 致力于人居环境科学的探索[J]. 规划研究, 2001(5): 11-13.
- [5] 虞春隆, 周若祁. 基于栅格数据的小流域人居环境适宜性评价方法研究[J]. 华中建筑 2008, 26(1): 4-7.
- [6] 郝慧梅, 任志远. 基于栅格数据的陕西省人居环境自然适宜性测评[J]. 地理学报 2009, 64(4): 498-505.
- [7] 刘春红, 刘邵权. 四川省汶川地震重灾区人居环境适宜性评价[J]. 四川大学学报: 工程科学版 2009, 41(S1): 102-108.
- [8] 孙志芬. 呼和浩特市城市人居环境适宜性评价分析[D]. 内蒙古 呼和浩特: 内蒙古师范大学 2005.
- [9] 李爽, 王羊, 李双成. 中国近 30 年气候要素时空变化特征[J]. 地理研究 2009, 28(6): 1593-1605.
- [10] 黄晖. 马克威软件与当代数据分析[M]. 北京: 中国统计出版社 2006.
- [11] 汤国安, 刘学军, 房量, 等. DEM 及数字地形分析中尺度问题研究综述[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(12): 1059-1066.
- [12] 封志明, 唐焰, 杨艳昭, 等. 基于 GIS 的中国人居环境指数模型的建立与应用[J]. 地理学报, 2008, 63(12): 1327-1336.



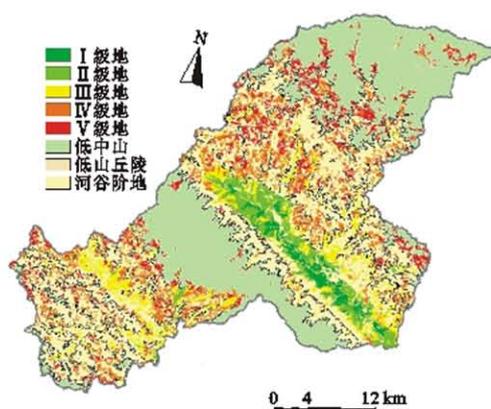
附图1 大巴山区年NDVI平均值空间分布



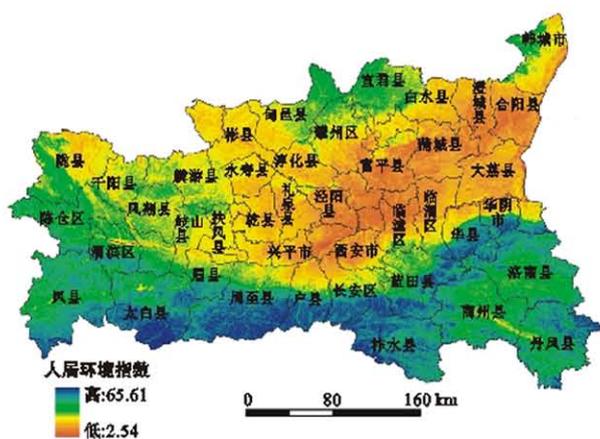
附图2 大巴山区各像元NDVI值逐年变化



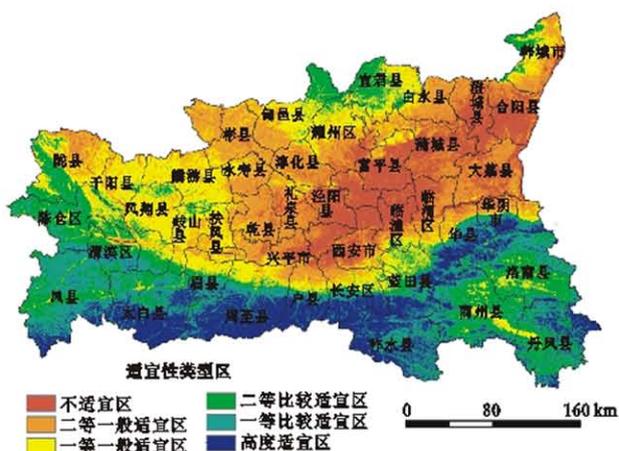
附图3 大巴山区各像元气温与NDVI相关系数



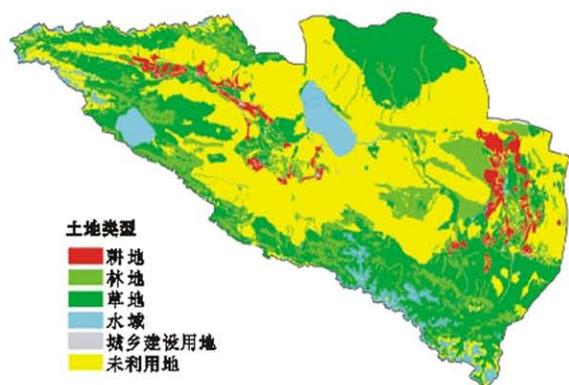
附图4 汉阴县耕地地力等级分布



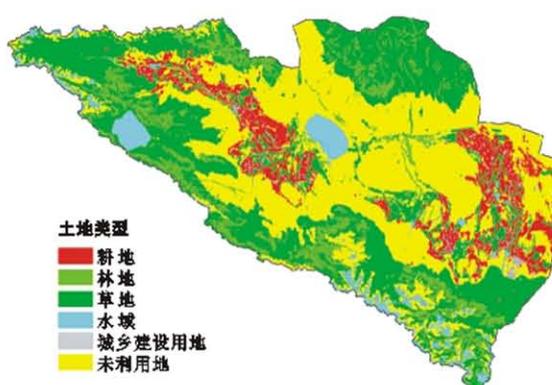
附图5 关中地区人居环境指数空间格局



附图6 关中地区自然适宜性空间格局



附图7 艾比湖流域1970年土地利用/覆被类型



附图8 艾比湖流域2009年土地利用/覆被类型