

重庆山地都市区土地利用地形特征分异研究

周启刚, 陈 丹

(重庆工商大学 旅游与国土资源学院, 重庆 400067)

摘 要:在我国快速城市化的背景下,随着城市建设用地的不断扩张,地形因子对土地利用的制约性更加凸显。以地形特征明显的重庆都市区为例,以 DEM 数据和 TM 数据为基础数据源,提取 2010 年区域土地利用现状数据和坡度数据,研究区域的土地利用在不同高程等级、坡度等级以及地形位等级中的分布指数,分析重庆都市区 2010 年的土地利用在地形上的分布特征。结果表明:重庆都市区各土地利用类型在不同地形因子等级下分布指数的分异特征明显;在各地形因子等级区域中,优势土地利用类型分布差异突出;随着城市用地扩张,各种类型的土地利用在高程为 500~1 200 m 的平地、400~600 m 的低缓坡以及 500 m 以下的高缓坡区域,呈现出明显的竞争趋势,是人地关系协调的重点区域;伴随城市扩展,建设用地侵占耕地和陡坡耕地大量存在的现象需要进一步关注。

关键词:土地利用;地形分异;地形位指数;分布指数;重庆都市区

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)03-0086-06

Researched on the Topographic Differentiation of Land Use in Chongqing Mountainous Metropolitan Area

ZHOU Qi-gang, CHEN Dan

(School of Tourism and Land Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: With the continuous expansion of construction land, the conditionality of land topography on land use is more and more outstanding under the background of the high-speed development of Urbanization. Chongqing Mountainous Metropolitan Area was taken as an example and the data of the land use status and slope were extracted from DEM and TM of study area in 2010. Researching the distribution index of land use in different altitude, slope and terrain niche was conducted to analysis the topography distribution characteristics of land use in the studied area. The results indicated that the distribution index of different land utilization types in different terrain factor had significant differentiation characteristics. Dominant land use type had obvious difference in each of the topography grade. Along with the expansion of construction land, various types of land use in the flatland of 500~1 200 m, low gentle slope of 400~600 m and high gentle slope less than 500 m, had a clear trend of competition. These regions are the key regions where the relationship between human and land should be adjusted. The phenomenon of construction land occupying cultivated land and many farmland existing on steep slope should be concerned.

Key words: land use; topographic differentiation; terrain niche index; distribution index; Chongqing Mountainous Metropolitan Area

土地利用是人类基于社会经济目的,对土地进行长期经营的各类活动。人类对土地的使用和改造受自然条件制约,特别是地形坡度和高程高度^[1]。地形坡度和高程高度的组合,对土地利用类型,作物种植类型与方式,水土保持等土地利用的方式、难易程度等产生巨大影响^[2]。区域土地利用变化程度和社会经济发展也受制于区域地形与高程组合^[3]。我国地

形起伏大,人地关系矛盾突出,众多学者对合理利用土地问题进行了大量的研究^[4-5]。特别是在土地利用类型在地形梯度上的分异特征、地形对土地利用程度的影响、土地利用变化与地形分布关系等方面进行了系统的研究^[6-8]。这些研究多以自然流域、区县、省等为具体范围的土地利用为研究对象^[9],对人地矛盾最为突出的城市区域研究相对较少,特别是典型山地城

收稿日期:2012-11-07

修回日期:2012-12-13

资助项目:国家自然科学基金项目(41101503);国家社科基金重大项目(11&·ZD161)

作者简介:周启刚(1976—),男,重庆铜梁人,博士,副教授,主要研究方向:3S 理论与应用和土地资源管理。E-mail:cd1105@163.com

市研究相对比较缺乏。

重庆市都市区是典型的山地城市区,城市扩展受地形约束性强,人地矛盾凸出。本研究以重庆市都市区2010年土地利用为研究对象,通过研究土地利用在地形上的分布变化特征,归纳各类用地基于地形因子的空间分布规律,来反映近年来重庆都市区内的人类活动特征。研究结果旨在为制定土地利用相关制度和政策提供参考。

1 研究区概况

重庆位于我国西南部,是长江上游经济中心和金融中心,国家五大中心城市之一,更是国家重要现代制造业基地、高新技术产业基地以及生态文明示范区。这个别称山城的城市历史悠久,多山环绕,地貌类型以山地和丘陵为主;多江流经,气候湿润温和,属典型的亚热带季风气候。重庆都市区由重庆主城区9区组成,包括:渝中区、大渡口区、江北区、南岸区、沙坪坝区、九龙坡区、北碚区、渝北区、巴南区;9个区域连成一片,位居重庆东南部,都市区地跨铜锣山系(包括铜锣山、明月山)和中梁山系(包括中梁山、歌乐山),区内山地特征典型,长江和嘉陵江汇聚都市区内,土地利用结构相对复杂。重庆地区平均高程大约为400 m,由东南到东北逐渐升高。

重庆作为我国直辖市之一,是多项政策的试点区域,近年来都市区城市化步伐迅速,第二产业和第三产业的大力发展,人口城镇化,用地非农化发展,推进了城市建设用地的快速扩张,但由于重庆特殊的山地城市的地形地貌,导致了重庆都市区用地矛盾突出。对重庆都市区的土地利用研究具有代表性,能够很好地揭示出重庆市目前的土地利用地形特征,从而分析土地利用过程中的规律性和存在的问题。

2 数据源与研究方法

2.1 数据源

采用美国陆地卫星2010年TM遥感数据作为研究区的影像数据源,其空间分辨率为30 m;并收集重庆市都市区1:5万DEM数据和相关社会经济统计数据。

2.2 数据处理

2.2.1 遥感数据处理 利用Erdas软件对重庆市都市区2010年Landsat TM遥感数据进行辐射校正和几何精校正处理,以减少遥感数据收集和处理过程中产生的误差与形变。采用Albers投影,105°的中央经线,25°和47°的双标准纬线。通过图像增强改善图像视觉效果,更有利于对遥感影像数据的识别。根据TM遥感数据的光谱特征,结合本次研究的目的,提

取遥感影像的2,3,4波段数据,形成易于识别的TM假彩色显示数据,用来提取土地资源信息数据。

2.2.2 土地利用分类与解译 以遥感影像数据作为背景,将人机交互识别与目视判读相结合,提取重庆市都市区土地利用现状数据,如附图12所示。土地利用现状数据的分类体系采用中国科学院“八五”期间“国家资源环境遥感宏观调查、动态分析与遥感技术前沿的研究”项目中所制定的分类体系,将土地利用类型划分为6个一级类,即耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地^[10]。

2.2.3 坡度分级 在ArcGIS软件支持下,利用1:5万DEM数据生成重庆市都市区坡度数据。根据国际地理学联合会地貌调查与地貌制图委员会和全国第二次土地调查中的耕地坡度分级标准^[11],结合重庆山地城市的地形地貌特征,将研究区坡度划分为0°~2°,2°~6°,6°~15°,15°~25°,25°~35°, >35°共6个坡度级。以下分别用1,2,3,4,5,6依次代表6个坡度等级。

2.2.4 高程分级 根据学者们对重庆都市区及具有类似地形区域的研究,重庆都市区及其周围区县的城区的高程大多在300 m以内,300~600 m高程范围内的土地利用类型呈现明显的多样性特征,1 200 m高程以上的土地利用类型趋于单一^[12]。依据本次研究收集的DEM数据,重庆市都市区的高程区间为100~1 600 m,故将研究区内100~300 m高程划分为一类,高程为300~1 200 m和大于1 200 m分别划分为一类。高程在300~600 m范围内,土地利用强度大,随高程变化,土地利用变化明显,为充分研究该范围内高程对土地利用的影响,采用内插法以100 m进行细分。因此,结合重庆都市区实际情况将研究区高程划分为:100~300 m,300~400 m,400~500 m,500~600 m,600~1 200 m, >1 200 m共6个级别,以下分别用1,2,3,4,5,6依次代表6个高程等级。

2.3 研究方法

2.3.1 地形位指数及分级 地形是土地利用空间分异的重要影响因子之一,土地利用结构及其变化往往在地形梯度上表现出一定的分布规律。为了定量分析土地利用变化与地形梯度之间的相互关系,本研究借用地形位指数来度量地形梯度^[13]。利用地形位指数对地形特征的描述与表征,可以避免单一地形因子对研究区地形空间分异特征表述不全面的现象。利用地形位指数计算公式(1),计算2010年重庆都市区地形位指数(图1)。

$$T = \ln \left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \times \left(\frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (1)$$

式中: T ——地形指数; E ——空间任一坐标点的高程值; \bar{E} ——所在区域的平均高程值; S ——空间任一点

坡度值; \bar{S} ——所在区域平均坡度值。

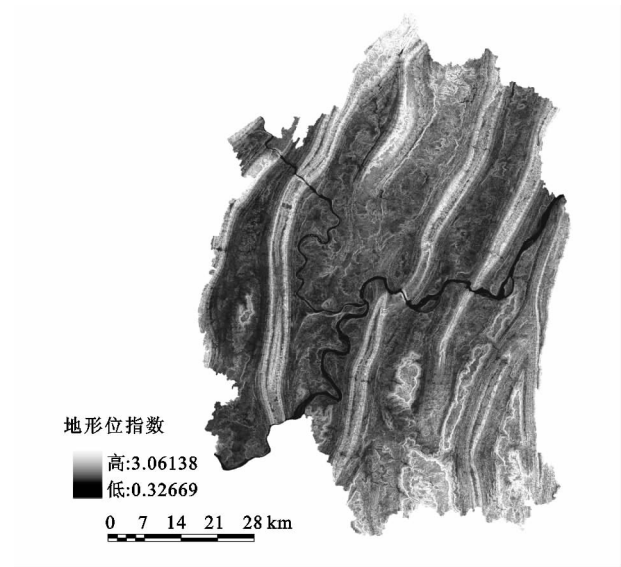


图 1 重庆市都市区地形位指数分布

根据高程分级中各级别的间隔点和坡度分级中各级别的间隔点,结合地形位指数计算方法,依次推算出相应地形位指数的分级间隔点,将地形位指数划分为 6 个级别:0~0.699,0.699~1.054,1.054~1.541,1.541~1.942,1.942~2.642。

2.3.2 分布指数 为了消除不同地形区段的面积差异和不同景观组分的面积比重差异的影响,本文引入分布指数来描述各土地利用各组分在地形梯度上的分布情况,其计算公式为^[13]:

$$P=\frac{S_{ie}}{S_i} \div \frac{S_e}{S} \quad (2)$$

式中: P ——分布指数; e ——地形因子; S_{ie} —— e 地形因子某等级下 i 种土地利用组分的面积; S_i ——研究区内第 i 种土地利用组分的总面积; S_e ——整个研究区内 e 地形因子某等级的总面积; S ——整个研究区的面积。

3 结果与分析

3.1 各土地利用类型在不同高程上的分布

利用重庆都市区土地利用现状数据和 DEM 高程分级数据,在 ArcGIS overlay 模块下生成各用地类型与高程等级的链接数据。结合分布指数计算方法,统计生成不同高程梯度下的土地利用分布指数图(图 2)。

从图 2 可以看出,重庆都市区不同土地利用类型的高程等级分布指数呈现明显的差异。耕地分布指数在 1,2 高程的级分布指数超过 1,后随高程级的增加而减少,至最高等级高程,分布指数趋近于零;表明重庆都市区耕地主要分布在低高程地区,并随高程增加其面积随之减少。建设用地在低高程地区分布指数较高,大多分布在 1—2 级的高程等级中,分布指数皆大于 1,在 100~400 m 范围内,随着高程上升,分

布指数逐步趋于零值;由于地处多山地区,地形复杂,低高程平地不能满足城市发展的需要,重庆都市区在高程等级为 3 级(400~500 m)的区域建设用地分布指数仍然高达 0.5 以上,且在 3 级以上的高程还有一定的分布。草地在区内最小高程级和最大高程级分布都较少,在 300~600 m 高程范围内有较多的分布。林地分布指数随高程级的增加而增大,在 1 200 m 以上,分布指数达到了 3.5 以上;表明重庆都市区内,高程越高,林地保护越好。由于区内长江和嘉陵江分布面积广,水域在高程级为 1 时,分布指数非常高,在其它高程级分布指数非常低。未利用地在不同高程级分布波动性较大,无明显分布规律。

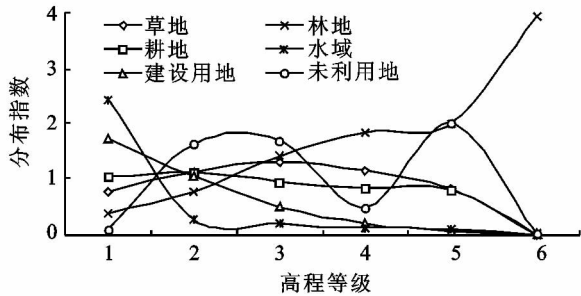


图 2 重庆都市区不同高程梯度下的土地利用分布指数

在不同高程等级范围内,各土地利用类型分布指数差异突出。在 1 级高程范围内,水域、建设用地和耕地分布指数较高,均超过 1,土地利用强度非常大;水域的分布指数最高。在 2 级高程范围内,草地、耕地、建设用地、未利用地分布指数均超过 1,表明这四种土地利用类型在 300~400 m 高程范围内占优势地位,同时,该高程等级中,各地类空间竞争也非常突出,人类活动相对较强,人地矛盾突出。在 3 级高程范围内,林地、草地和未利用地分布指数超过 1,自然用地类型在都市区的分布主要集中在 3 级高程范围;表明该高程级内人类活动强度较低,土地利用强度较弱。在 4 级高程范围内,林地分布指数占绝对统治地位,分布指数较大,人类高强度的土地利用方式表现非常微弱,自然生态环境得到非常好的保护。

由此可见,重庆都市区各高程等级内,土地利用类型的分布具有一定的规律性。高强度的土地利用方式主要集中在低高程区域,具有由低高程区域向较高高程区域迁移的趋势;目前,重庆都市区各地类的空间竞争关系表现最强烈的是 300~400 m 高程范围的区域,该区域是目前土地利用规划的重点,也是协调人地矛盾的核心区域。

3.2 各土地利用类型在不同坡度上的分布

利用重庆市都市区土地利用现状数据和 DEM 高程生成的坡度分级数据,建立各用地类型与坡度等级的链接数据。结合分布指数计算方法,统计生成不

同坡度等级下的土地利用分布指数(图 3)。

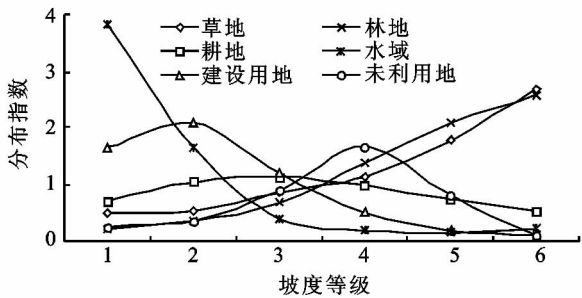


图 3 重庆都市区不同坡度等级下的土地利用分布指数图

如图 3 所示,从整体上看,重庆都市区各土地利用类型的分布指数在不同坡度等级下的分布状况与在不同高程等级下的分布状况具有一定的相似性,不同土地利用类型的坡度等级分布指数呈现明显的差异。水域分布指数变迁显著,淹没区主要分布在 1 级坡度等级(0~2°)的平地 and 微斜坡上。建设用地在 1—2 级中的分布指数较高,主要分布在 0~6°的平地、微斜坡和缓斜坡上;在坡度等级为 3 级的区域内,其分布指数也大于 1,这是由于重庆地形地貌复杂,地势相对陡峭,城市发展已占据 2 级坡度内的绝大部分空间,并不断向高坡度级延伸,充分体现高强度的土地利用方式对自然坡度的利用与改造作用。耕地在 2—4 级坡度等级(2°~25°)中的优势地位凸显;在 1 级坡度中耕地指数不占优势,主要因为城市发展过程中高强度的建设用地类型优先占用平地 and 耕地所致;在 5—6 级坡度中的分布指数超过 0.5,表明研究区内人多地少,陡坡耕地在一定范围内存在。林地随着坡度等级的升高逐步突显其优势地位,主要是由于在高坡度等级下高强度的土地利用方式受到一定的限制,同时研究区内实施的“森林重庆”工程也产生了一定的作用,使其分布优势明显;但对低坡度等级区域而言,由于城市扩展的占用,林地在低坡度的分布指数较低。草地在坡度等级上的整体分布趋势与林地相当,其分布指数在 3 级呈现明显上升趋势,侧面表明在 3 级坡度区域内还存在部分可供开发的土地。未利用地在 4 级坡度中的分布占优势地位,3 级坡度内的分布指数趋于 1,而在 1—2 级低坡度等级中,几乎不存在未利用土地。高强度的土地利用方式与低强度的土地利用方式在坡度等级 1—3 级下的分布指

数与 3—6 级下呈现相反的分布状况,充分说明坡度对土地利用方式的制约作用。

在各坡度等级中不同土地利用类型分布差异突出。在 1 级坡度范围内,水域和建设用地分布指数都在 1 以上,土地利用强度非常高;由于长江和嘉陵江流经重庆都市区内,水域覆盖的面积大,剩余的平地主要被利用作为建设用地。在 2 级坡度范围内,建设用地、水域和耕地分布指数都超过 1,该坡度级内土地利用强度大;表明除了水域的分布外,由于坡度较小,绝大部分区域仍被用于建设用地;该坡度级内仍有大量的耕地存在,表明该坡度级内建设用地仍有较大的发展空间。在坡度等级为 3 的区域内,各土地利用类型分布相对均匀,重庆都市区各类型用地在 6°~15°的坡度上分布差异性小,高强度的土地利用方式与低强度的土地利用方式在这个坡度等级上表现出强烈的竞争趋势。在 4 级以上的坡度级范围内,低强度的土地利用方式,主要是草地和林地分布指数逐级增加,高强度的土地利用方式分布指数逐级下降,表明陡坡不利于高强度的土地利用,同时低强度的草地与林地对陡坡地形有较好的适应性。

基于以上分析,可以发现重庆都市区土地利用的坡度分布特征为:高强度的土地利用方式主要集中在平地 and 低缓坡区域,低强度的土地利用方式主要集中在陡坡区域;由于城市的迅速扩展,建设用地基本完全占用了完可利用的平地,扩展的坡度重心主要集中在 2°~6°的低缓坡,并正在开展 6°~15°的缓坡地的争夺;6°~15°的缓坡地是研究区人地矛盾最突出的区域,各类用地分布较为均匀,是当前合理土地利用和协调人地关系的焦点区域。

3.3 各土地利用类型在不同地形位上的分布

利用地形位指数公式,计算出重庆都市区地形位指数,并结合重庆市都市区土地利用现状数据,生成各用地类型与地形位等级的链接数据。利用公式(2),计算得到高程与坡度组合下的地形位的分布指数(表 1);结合分布指数计算方法和 ArcGIS 空间统计功能,统计生成不同地形位等级下的土地利用分布指数(图 4),并进一步分析得到各高程与坡度组合下的地形位分布指数对应级别(表 2)。

表 1 各高程与坡度组合下的地形位指数分布

| 坡度分级 | 高程 | | | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|
| | 1 级(100~300 m) | 2 级(300~400 m) | 3 级(400~500 m) | 4 级(500~600 m) | 5 级(600~1200 m) | 6 级(>1200 m) |
| 1 级 (0~2°) | 0.699 | 0.833 | 0.952 | 1.058 | 1.531 | 1.728 |
| 2 级 (2°~6°) | 0.919 | 1.054 | 1.173 | 1.279 | 1.751 | 1.949 |
| 3 级 (6°~15°) | 1.288 | 1.423 | 1.542 | 1.648 | 2.120 | 2.318 |
| 4 级 (15°~25°) | 1.583 | 1.718 | 1.836 | 1.942 | 2.415 | 2.612 |
| 5 级 (25°~35°) | 1.810 | 1.945 | 2.063 | 2.170 | 2.642 | 2.840 |
| 6 级 (>35°) | 2.499 | 2.634 | 2.753 | 2.859 | 3.331 | 3.529 |

表 2 各高程与坡度组合下的地形位分布指数级别

| 坡度分级 | 高程 | | | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|
| | 1 级(100~300 m) | 2 级(300~400 m) | 3 级(400~500 m) | 4 级(500~600 m) | 5 级(600~1200 m) | 6 级(>1200 m) |
| 1 级 (0~2°) | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| 2 级 (2°~6°) | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| 3 级 (6°~15°) | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| 4 级 (15°~25°) | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 5 级 (25°~35°) | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 |
| 6 级 (>35°) | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 |

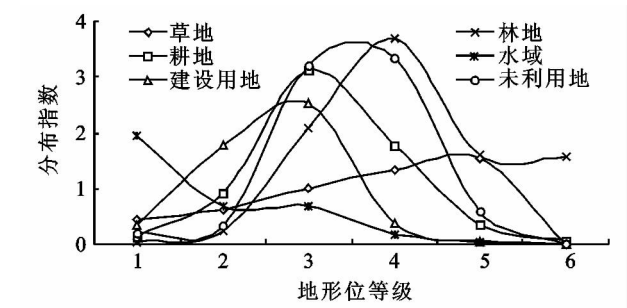


图 4 重庆都市区不同地形位等级下的土地利用分布指数图

由图 4 可看出,重庆都市区不同土地利用类型在各地形位等级下的分布指数差异明显。水域分布指数在地形位等级为 1 级(0~0.699)中最高,在 2 级的区域内,其分布指数下降趋势明显,这主要是由于水域对高程和坡度地形因子的特殊依赖性。建设用地位于地形位等级为 2—3 级中分布指数皆大于 1,处于优势地位,表明城市建设用地主要分布在较低高程和较低坡度级区域内;在 4,5,6 级中,随着地形位等级的升高,其分布指数逐渐趋于零,表明建设用地严重受制于高程和坡度地形因子。耕地分布指数在 3—4 级(1.054~1.942)地形位区域中大于 1,占据优势地位,并有向 4 级地形位逐步扩张的趋势,表明耕地大多分布在中等高程和中等坡度级别内;耕地在 2 级地形位区域中分布指数接近 1,说明此区域内的耕地需要进行重点保护。林地分布在 3—6 级地形位区域中的分布指数皆大于 1,表明林地受高程和坡度因子的约束性较弱。草地在区内最小地形位等级和最大地形位等级分布都比较少,在 3—5 级地形位区域中逐步凸显其优势地位。未利用地在各地形位等级中的分布差异性更为突出,在 3—4 级地形位中的分布优势显著。

在各地形位等级中土地利用类型分布的差异性突出。在 1 级地形位区域中,水域分布指数非常高,说明研究区中低高程平地主要被水域所占用;其它土地利用类型的分布指数全小于 1,这主要表明重庆地势复杂,最佳土地利用的低高程平地区可用面积稀少,且不利于集中利用。在 2 级地形位中,只有建设用地分布指数大于 1,表明研究区中,较低高程的低缓坡区域主

要用于建设用地;在该地形等级中还有其它地类的分布,表明其它零星地块用作其它土地利用类型。在 3 级地形位区域中,耕地、草地、建设用地、林地等分布指数均超过 1,且分布指数差异不大,表明在该地形位中各土地利用类型空间竞争关系非常突出,人地矛盾非常剧烈。在 4 级地形位区域中,低强度的土地利用方式占优势地位,最高的为林地和草地;同时耕地分布指数也超过 1,在较高高程的较陡坡度仍有大量分布,表明区域耕地保护压力大。在 5 级以上的地形位区域,由于高程和坡度的组合,高强度的土地利用方式已不适合,主要是林地和草地。

重庆都市区各土地利用类型在各地形位分布指数的差异性显著。在 3 级地形位区域,人地矛盾最为突出,500~1 200 m 高程的平地、400~600 m 高程的低缓坡以及 500 m 以下的高缓坡区域是高强度土地利用方式和低强度土地利用方面争夺最强的区域;如果城市继续扩展,则说明该区域内建设用地大量占用了其它土地,特别是耕地。

4 结论与讨论

基于 3S 技术,通过对 2010 年重庆山地都市区土地利用在高程、坡度以及地形位三种地形特征因子下的分布指数进行了系统分析,得到的主要结论如下:

(1) 重庆都市区各地类在不同高程等级下分布指数的分异特征明显,在各高程等级区域中,优势土地利用类型分布差异突出;各地类在不同坡度等级下的分布指数具有明显的差异性特征,不同坡度等级下的地类分布有明显差异;不同用地类型在各地形位等级下的分布指数分异特征也十分显著。

(2) 地形位等级为 3 级,特别是 500~1 200 m 高程的平地、400~600 m 高程的低缓坡以及 500 m 以下的高缓坡区域,人地矛盾特别突出;该区域范围内各种土地利用类型分布指数趋于均匀,随着城市进一步发展,各类型用地对该区域的竞争将愈演愈烈,对于该区域土地的合理、均衡利用有待进一步研究。

(3) 建设用地侵占耕地的现象应得到进一步关注。近年来,重庆城市化进程中对于建设用地的需求不断

增大,重庆都市区复杂地形迫使城市建设用地逐步向较高高程和较大坡度地区扩张;在城市发展过程中,建设用地将会首先占用耕地,因此,合理规划开发城市建设用地具有深远意义。同时,耕地在坡度大于 25°区域内仍有分布,推进退耕还林还草工程有待延续和加强。

参考文献:

[1] 冯朝阳,于勇,高吉喜,等. 地形因子对京西门头沟区土地利用/覆盖变化的影响[J]. 山地学报,2007,25(3):274-279.

[2] 罗广元,唐志红,文倩. 不同地形条件下的土地利用格局与变化分析:以湖南醴陵市为例[J]. 湖南农业科学,2009(9):62-65.

[3] 封志明,张丹,杨艳昭. 中国分县地形起伏度及其与人口分布和经济发展的相关性[J]. 吉林大学社会科学学报,2011,51(1):146-160.

[4] 吕国,宋唯一,郑爱珍. 甘肃西部地区土地与气候资源现状及农业可持续发展战略[J]. 水土保持研究,2010,17(1):265-269.

[5] 周启刚,周万村. 基于 RS 和 GIS 三江并流区土地利用/覆盖现状格局研究[J]. 水土保持研究,2006,13(6):156-162.

(上接第 85 页)

[5] 江洪青. 煤矸石对环境的危害及其综合治理与利用[J]. 煤炭加工与综合利用,2003(3):43-46.

[6] 吕春娟,白中科,陈卫国,等. 黄土区大型排土场植被根系的抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):35-38.

[7] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社,1999.

[8] 腊贵晓,顾怀胜,刘国顺,等. 喀斯特地区烟田土壤养分的空间变异特征[J]. 水土保持研究,2012,19(3):48-54.

[9] Tsegaye T, Hill R L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil physical properties [J]. Soil Science, 1998,163(2):143-154.

[10] Juan G C, Gerd D, Tsitsi Y, et al. Intergration of mid-infrared spectroscopy and geostatistics in the assessment of soil spatial variability at landscape level[J]. Geoderma,2010,158(3):398-411.

[11] 谭万能,李志安,邹碧,等. 地统计学方法在土壤学中的应用[J]. 热带地理,2005,25(4):307-311.

[12] 陈伏生,曾德慧. 科尔沁沙地退化草场土壤养分的空间结构分析[J]. 草业学报,2004,1(1):39-44.

[6] 梁发超,刘黎明. 基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析:以湖南省浏阳市为例[J]. 资源科学,2010,32(11):2138-2144.

[7] 张凡,赵卫权,张凤太,等. 基于地形起伏度的贵州省土地利用/土地覆盖空间结构分析[J]. 资源开发与市场,2010,26(8):737-739.

[8] 赵卫权,苏维词,袁俊. 基于地形起伏度的贵州省景观空间格局分异特征[J]. 水土保持研究,2010,17(2):110-115.

[9] 邸利,孙鹏举,李毅,等. 西部地区土地资源利用状况与土壤侵蚀关系研究[J]. 水土保持研究,2004,11(1):45-48.

[10] 刘纪远. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J]. 遥感学报,1997,1(3):225-230.

[11] TD/T1014-2007. 第二次全国土地调查技术规程[S]. 中华人民共和国国土资源部,2007.

[12] 黄海洋,杨庆媛,王成. 基于 DEM 的土地利用类型与地形因子关系研究:以重庆市酉阳县麻旺镇为例[J]. 西南大学学报:自然科学版,2009,31(4):159-164.

[13] 陈楠,杨武年,李娟. 巴中市丘陵山区土地利用在地形梯度上的分布特征[J]. 水土保持通报,2012,32(1):185-188.

[13] 孟宝,杨龙,张勃. 土壤特性的空间变异性与绿洲生态稳定性研究:以张掖绿洲为例[J]. 水土保持研究,2009,16(2):117-121.

[14] 胡振琪. 露天煤矿复垦土壤物理特性的空间变异性[J]. 中国矿业大学学报,1992,21(4):31-37.

[15] 王辉,韩宝平,卞正富. 充填复垦区土壤水分空间变异性研究[J]. 河南农业科学,2007(7):67-70.

[16] 黄龙. 海州露天矿排土场边坡土壤抗冲性空间变异性特征[J]. 亚热带水土保持,2011,23(1):1-5.

[17] 胡振琪,张光灿,魏忠义. 煤矸石山的植物种群生长及其对土壤理化特性的影响[J]. 中国矿业大学学报,2003,32(5):495-410.

[18] 胡建忠,周心澄,李文忠,等. 退耕地青海云杉人工林土壤抗冲性试验研究[J]. 水土保持学报,2004,18(6):6-10.

[19] 杨奇勇,蒋忠诚,马祖陆,等. 基于地统计学和遥感的岩溶区石漠化空间变异特征[J]. 农业工程学报,2012,28(4):243-247.

[20] 李海燕. 阜新孙家湾矸石山水土流失和沟蚀演变研究[D]. 辽宁阜新:辽宁工程技术大学,2009.