

文章编号: 1004-8227(2009)09-0865-06

基于 GIS 的金沙江流域(云南段) 生态潜力空间分布特征

夏既胜^{1,2}, 杨树华¹, 万 晔², 王玉朝², 曾洪云², 文列金²

(1. 云南大学生态学与植物学研究所, 云南 昆明 650091; 2. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091)

摘 要: 生态潜力是衡量多种生态因子综合配合效果的指标。金沙江流域(云南段)从上游到下游地貌类型多样, 地形、土壤物化特性差异明显, 导致流域内各地貌单元的生态潜力值空间分布特征不一样。GIS 的强大空间分析功能, 为流域内复杂的生态潜力空间分布规律研究提供了快捷的分析工具。利用 ArcGIS 空间分析软件, 在植被分类图的基础上, 对金沙江流域(云南段)生态潜力进行三维透视、空间变异规律等研究。并在此基础上, 选取土壤因子, 分别对流域内不同地貌单元的生态潜力与土壤空间分布相关性进行了对比研究。结果表明, 流域的生态潜力总体上往西北方向递增; 变异函数分析得出流域内的生态潜力具有各向异性特点, 且生态潜力沿流域走向具有很好的空间自相关性; 土壤类型在生态潜力的空间分布特征上具有一定的控制作用。研究中所使用的 GIS 技术与方法, 特别是三维透视与变异函数的应用, 为其它地区的类似研究提供了参考; 另外, 计算得出的金沙江流域生态潜力的分布规律, 为该区域的生态保护提供了一定的理论依据。

关键词: 金沙江流域; GIS; 生态潜力; 变异函数

文献标识码: A

生态潜力是一个综合反映区域光、温度、水和土壤资源等配合效果的定量指标, 它是景观要素的植被演替阶段和景观要素植被生产力的综合表达, 因此, 通常用植被景观要素生态潜力来反映区域内生态功能的综合潜力^[1~4]。流域作为一个整体, 从上游到下游, 由于其土壤、温度、水、海拔等因子呈现梯度变化, 导致其生态潜力值呈现一定的空间分布规律。金沙江流域, 从上游到下游, 地形变化明显, 地貌特征差异大, 其生态潜力的空间分布特征既具有总体上的规律性, 又趋向于局部的差异性与复杂性。杨树华等, 曾基于 1996 年的植被类型图, 对金沙江流域(云南段)的生态潜力进行了评价^[3], 对流域内 28 种成图植被类型的生态潜力值进行打分, 并绘制出流域内 1996 年的生态潜力图; 夏既胜等, 又基于 1996 年与 2006 年的两期植被类型图, 对流域内生态潜力 10 年期间的变化进行了研究^[4], 计算出流域内各地区生态潜力的变化量, 并认为生态潜力的变化主要是受人为干扰所制。然而, 这些研究在分析流域内生态潜力空间分布规律方面尚有欠缺, 特别是缺少详细的空间趋势分析与空间变异分析。GIS

在显示、表达、分析生态学的综合信息方面, 具有其独特的优越性, 特别是其强大的空间分析与三维建模功能, 可为流域内生态潜力的研究提供便利的技术支撑。本研究在前述基础上, 运用 GIS 软件, 从三维趋势分析、空间变异规律与土壤因子的空间相关性分析等角度, 对流域内的生态潜力空间分布特征进行研究, 以期对流域内生态潜力分布的总体概况及其分布原因进行探讨。

1 研究区概况

金沙江为长江上游干流, 全长 3 496 km, 流域面积 47.32 万 km², 河道总落差 5 142 m, 占长江干流总落差的 95% 以上^[5]。其云南部分(以下简称云南金沙江流域)为金沙江中、下游地段, 地处青藏高原东南缘向四川盆地过渡地带。从迪庆藏族自治州德钦县的德拉附近进入云南经昭通市的水富县流入四川, 江面海拔由 2 300 m 降至出口的 260 m, 落差达 2 000 m, 全长 1 560 km, 在云南的流域面积 11.2 万 km²。

收稿日期: 2008-07-25; 修回日期: 2008-10-24

基金项目: 云南省自然科学基金项目(2008 CD 073); 国家自然科学基金项目(40761019); 云南大学中青年骨干教师培养项目

作者简介: 夏既胜(1974~), 男, 湖南省武冈人, 讲师, 博士生, 主要从事景观生态学与 GIS 应用方面研究。E-mail: xiajsh@ynu.edu.cn

云南金沙江流域,从上游到下游地貌单元变化明显^[6](图 1),就流域上游而言,德钦与中甸地区为极高山峡谷、喀斯特高原峡谷地貌,而至鹤庆-宁蒗地区却呈现中山宽谷湖盆地貌;流域中上游的楚雄地区发育了丘状高原地貌,而位居流域中游的昆明及周边地区却发育了高原峡谷、高原湖盆地貌;到下游时,地貌也有所变化,如曲靖地区的中山丘陵峡谷地貌,到昭通地区的喀斯特中山峡谷地貌。这种地貌单元的梯度变化,导致植被分布的生境条件差异大,也使得生态潜力的空间分布规律研究具有很好的意义。

云南金沙江流域这种复杂多样的地貌条件,孕育了极为复杂多样的森林植被类型。在薛纪如等、吴征镒等划分的云南森林植被类型中^[7,8],除热带植被类型以外,其余的森林植被型、亚型和类型在流域内都有分布。据初步统计,流域内有森林类型 70 余种。云南金沙江流域虽然具有丰富多样的植被类型,但近年来人为破坏严重,特别是人口集中的下游地区,森林植被曾遭到大面积破坏,使得该地区已成为云南省生态最为脆弱的地区之一^[3]。

2 流域生态潜力空间分布特征

2.1 生态潜力整体空间分布特征

本研究采用 2006 年的 TM 遥感数据,选用其 5、4、3 波段进行组合,在野外 GPS 定点样区的基础上,借鉴 1996 年的植被分类图(杨树华等),采用 ERDAS 软件对遥感影像进行二进制数据转换、几何校正、拼接和研究区裁剪处理,再根据野外定点及借助 1996 年的植被分类图,建立分类模板,最后采用监督分类的方法,制作成流域内的植被类型图。根据野外实地检验,本次分类精度达 85% 以上,由于流域范围大,可以满足生态潜力的研究。

根据流域内 28 种成图植被类型的性质和群落特征,对所有植被类型按 0~5 级进行排序^[4]:最高级为地带性或原生森林植被(包括常绿阔叶林、冷杉林、温凉性针叶林等),次高级为次生性持续森林(包括暖温性针叶林、原生灌丛、草甸、水生植被等),第 3 级为次生性灌丛、草甸,第 4 级为灌草丛,最低级为栽培植被。以排序级别作为该植被类型的生态潜力分值,最后借助 ArcGIS 软件绘制了云南金沙江流域生态潜力图(图 2)。

从绘制的生态潜力图可以看出,流域的生态潜力总体分布规律为:上游>中游>下游。东部和西

部的生态潜力有明显的差别,东部以生态潜力值为 1 的区域为主,生态潜力值高的原生性植被类型较少见;而西部地区原生性植被类型保存较多。

2.2 生态潜力空间变化趋势的三维透视分析

三维趋势分析是将采样点数据转换为以属性值为高度的三维透视图,允许用户从不同视角分析采样数据集的全局趋势,用户可以任意改变投影视角和仰角,在不同水平方向观察它。在三维趋势分析图中,Z 轴表示生态潜力值,X 和 Y 轴表示样点位置。样点数据被投影到一个东西向的和一个南北向的正交平面上,通过投影点可以做出一条最佳拟合线,并用它来模拟特定方向上存在的趋势。

为了便于三维透视分析,需将面元数据转为点元数据。在云南金沙江流域生态潜力分布图的基础上,将流域内所有生态潜力的斑块,转换为以每个斑块几何中心点为坐标的点状数据。最后,选用 ArcGIS 9.0 的地统计模块(Geostatistical Analyst),制作了该流域生态潜力值的三维透视分析图(图 3)。

从云南金沙江流域生态潜力空间分布的三维透视图看出,生态潜力随 X 坐标值增大(往东)而递减、随 Y 坐标值增大(往北)而递增,即总体上,流域内生态潜力空间分布规律为:上游(西北)地区>中游(中部)地区>下游(东部)地区。滇西北地区的生态潜力值要高于其它地区,生态潜力高峰值处于香格里拉地区,而再往西北方向,随海拔增高与纬度的增加,到德钦的北部,潜力值反而又有下降的趋势。

2.3 生态潜力空间变异分析

变异函数是分析变量自相关程度的函数,它是地统计分析的特有函数,表达式为^[9]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E[Z(x) - Z(x+h)]^2$$

式中: $\gamma(h)$ 为理论变异函数; $Z(x)$ 为区域化变量; $Z(x+h)$ 为区域化变量的增量; h 为距离。

在实践中,样品的数目总是有限的,把有限实测样品构制的变异函数称之为试验变异函数,记为 $\gamma^*(h)$,即:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2$$

式中: $\gamma^*(h)$ 是理论变异函数的 $\gamma(h)$ 估计值; $N(h)$ 为样点对数。

变异函数的理论模型有多种,其中基台模型是最常见的模型之一。在该模型中,有块金值、基台值、

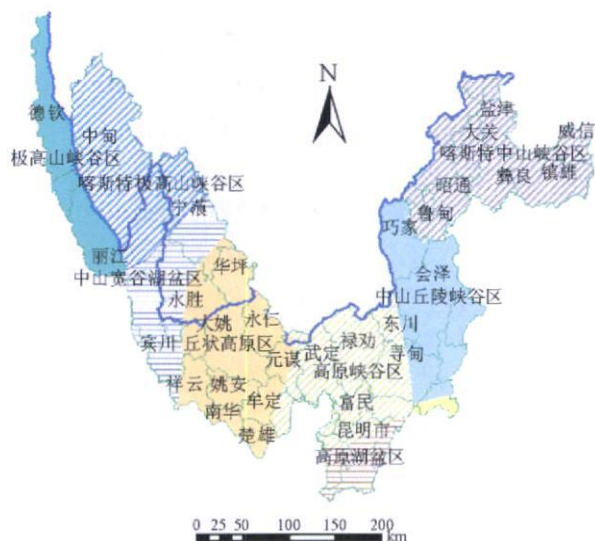


图 1 云南金沙江流域地貌类型图^[7]

Fig. 1 Physiognomy Type Plot of Jinsha River Watershed (Yunnan Part)

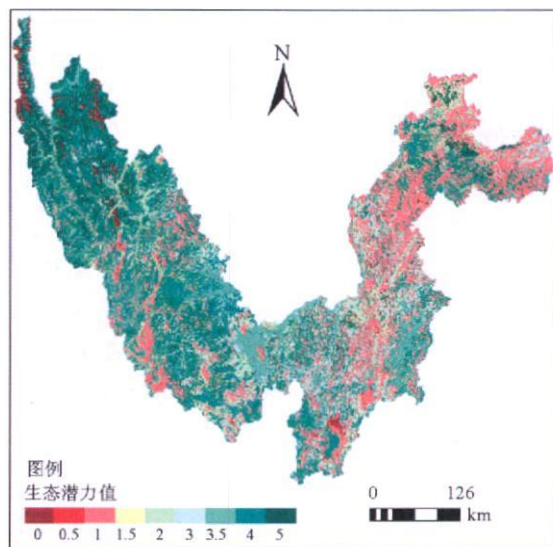


图 2 云南金沙江流域生态潜力评价图^[4]

Fig. 2 Ecological Potential Evaluation of Jinsha Watershed (Yunnan part)

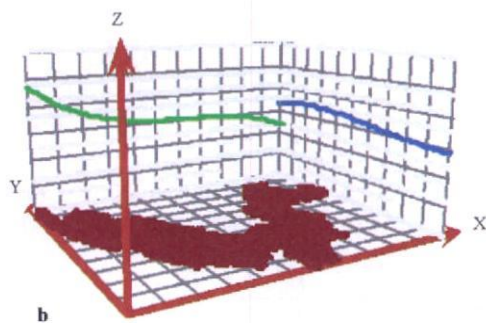
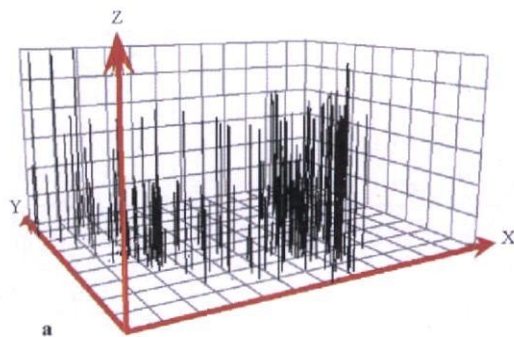


图 3 云南金沙江流域生态潜力空间分布趋势三维透视图

Fig. 3 3D Plot of Ecological Potential Spatial Trend of Jinsha River Watershed(Yunnan Part)

注:图 a 为生态潜力趋势图,X 轴指向东,Y 轴指向北,Z 轴为生态潜力值;图 b 为生态潜力的投影,蓝色曲线表示生态潜力在 YZ 平面的投影值,绿色曲线表示生态潜力在 XZ 平面的投影值,红色区为潜力值在 XY 平面的投影值。

偏基台值、变程等参数,其中,变程值在生态学研究中最有意义^[9]。当变异函数的取值由初始的块金值达到基台值时,采样点的间隔距离称为变程。变程表示了在某种观测尺度下,空间相关性的作用范围。在变程范围内,样点间的距离越小,其相似性,即空间相关性越大。当距离大于变程时,区域化变量 $Z(x)$ 的空间相关性不存在。因此,变程在生态潜力研究中的意义体现为,首先通过对比各个方向生态潜力的变程值,可判断出其各向异性或各向同性的特点;另外根据变程值的大小,可以研究某一方向生态潜力值的空间自相关性程度。

本次变异函数的分析在 ArcGIS 的 Geostatistic 模块中进行。根据植被分类图斑块的大小,本次变异函数分析选择的步长数为 2 km,分别在流域内

西北—东南、南北、东西 3 个方向进行了变异函数的分析。

分析得出, 3 个方向的变程不一致(表 1), 说明流域内生态潜力值呈现明显的各向异性。其中, 西北—东南方向(135°)的变程值与基台值都大于其它 2 个方向, 说明生态潜力在西北—东南方向有较强的空间相关性和变异性。

表 1 流域内生态潜力不同方向变异函数值

Tab.1 Variation Function of Ecological Potential at
Different Direction in Jinsha River Watershed(Yunnan Part)

方向	基台	变程(km)
0°	0. 65	3. 1
90°	0. 63	4. 3
135°	0. 70	5. 1

3 生态潜力与土壤空间分布的相关性

流域内的土壤分布既有水平地带性，又有垂直地带性^[3]。水平地带性方面，其分布与生物气候带基本吻合，自南而北大致可分为 2 个土壤带：红壤带和棕壤带，前者分布在北纬 24°~ 27°，属亚热带气候，为红壤、燥红土、黄壤为主的土壤带；后者分布在北纬 27°以北，属于以湿润冷凉为特点的生物气候^[8]，为黄棕壤、棕壤、暗棕壤等为主的土壤带，其次还分布有高山草甸土、高山寒漠土等高山土壤。垂直地带性方面，海拔从低到高，土壤的大致分布是：燥红土(< 1 000 m)、红壤(1 000~ 2 500 m)、黄棕壤(2 500~ 2 600 m)、棕壤(2 600~ 3 200 m)、暗棕壤(3 200~ 3 500 m)、棕色针叶林土(3 500~ 3 800 m)、亚高山草甸土(3 800~ 4 200 m)、高山草甸土(3 500~ 4 400 m)、高山寒漠土(> 4 200 m)。

土壤类型是决定生态潜力的主要因素之一，而

流域内土壤的分布，既与生物气候带吻合，又与海拔、纬度关系密切。因此，本次研究选择土壤要素与生态潜力进行空间分布的相关性研究，以期从土壤因子方面，进一步探讨金沙江流域生态潜力空间分布特征形成的原因。

为了研究各类土壤斑块对应的生态潜力值，需将金沙江流域(云南段)生态潜力要素层与土壤类型图层在 ArcGIS 中叠加。由于每类土壤斑块对应的潜力值可能有多种，本次研究采用以面积为权值的加权平均算法，对流域内每类土壤的生态潜力进行综合计算，计算公式为：

STj = (Σ STi * Sum(Area i)) / Sum(Area j)

式中：*i* 为植被斑块编号；*j* 为土类编号；*STj* 表示第 *j* 种土类的综合生态潜力值；*STi* 表示 *j* 土壤斑块中第 *i* 个植被斑块生态潜力值；*Area* 为面积；*Sum* 为求面积的和。

按照上述公式，计算出整个流域内各土壤加权生态潜力值(表 2)。

表 2 各土壤类型综合生态潜力值表

Tab. 2 Weighted Ecological Potential for Different Kind of Soil Patch

土壤类型	黄壤	水稻土	燥红土	紫色土	红壤	黄棕壤	棕壤	亚高山草甸土	燥褐土	高山寒漠土	暗棕壤	高山草甸土	棕色针叶林土
潜力值	2.2	2.3	2.3	2.5	2.6	2.7	3	3.3	3.3	3.4	3.8	3.8	3.9

从上述研究结果可知，所有土类对应的加权生态潜力值基本上为 2.0~ 4.0，从大到小的顺序依次为棕色针叶林土-高山草甸土-暗棕壤-高山寒漠土-燥褐土-亚高山草甸土-棕壤-黄棕壤-红壤-紫色土-燥红土-水稻土-黄壤。这和土壤的水平地带性相似，说明生态潜力的空间分布受到土壤类型的影响。

另外，根据地貌类型的不同(图 1)，运用 GIS 的空间分类统计功能，选择几个较为典型的地貌类型，分别对不同的土类与生态潜力进行统计，分析土类中各生态潜力段的总面积。其中上游极高山峡谷区与下游中山丘陵区的统计图如图 4、图 5 所示。

从研究结果来看，高山峡谷区(主要分布在上游滇西北区)以亚高山草甸土、棕色针叶林土、高山寒漠土面积占多，且这类土中以生态潜力值大于 3.0 以上的斑块为主，而中山丘陵区(主要分布在下游滇东地区)以红壤、棕壤类土壤占多，且这类土中，以生态潜力值小于 3.0 的斑块为主。

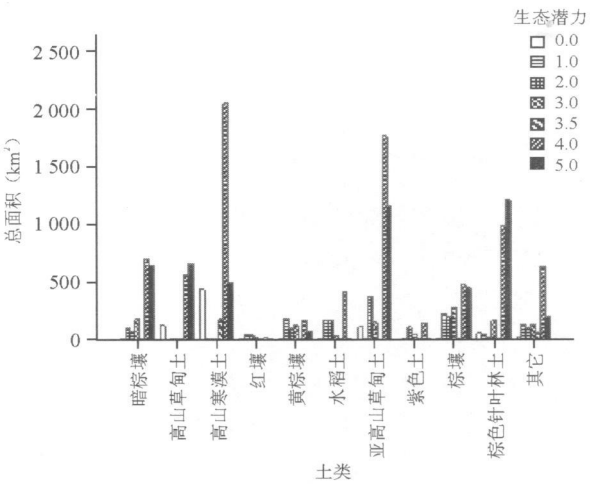


图 4 流域上游极高山峡谷区不同土壤类型生态潜力分布图

Fig. 4 Ecological Potential Distribution Graph of Different Soils in Alpine and Gorge Region of Jinsha River Upper Watershed

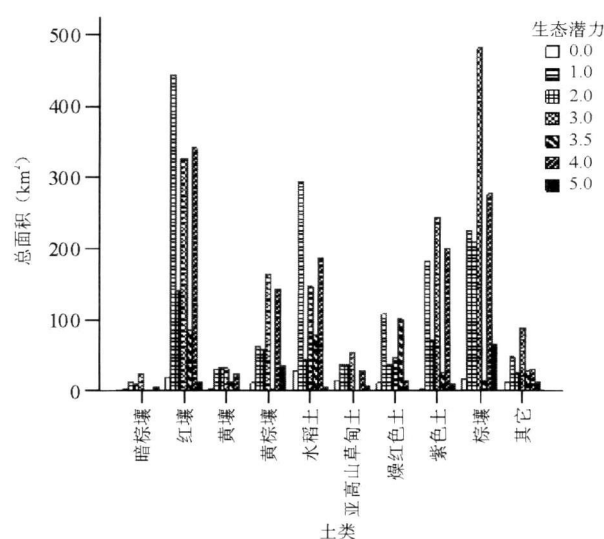


图 5 流域下游中山丘陵峡谷区不同土壤类型生态潜力分布图

Fig. 5 Ecological Potential Distribution Graph of Different Soils in Hilly Regions of Jinsha River Lower Watershed

4 讨论

从生态潜力的空间变异规律研究得出, 流域内的西北—东南方向具有较强的空间变异性, 而该方向是生态潜力较高的滇西北地区及流域内大部分地区的河流走向。地形、海拔、土壤等生态因子沿流域走向梯度变化明显, 这些因子是导致该方向生态潜力变异性增强的主要因素。其中, 土壤在流域内的梯度变化及分带规律最为明显。整个流域从上游到下游, 土类面积较大的依次为: 棕色针叶林土-紫色土-紫色土-红壤-红壤-黄壤; 而生态潜力值方面, 各级潜力值的总斑块面积的也具有这样的规律: 5、4-4、3、2-4、3、2-4、3、1-4、3、1-2、1, 即上游地区(滇西北)以生态潜力为 5 与 4 的斑块为主, 而到下游地区(滇东), 以生态潜力为 2 与 1 的斑块为主。这与流域内生态潜力总体空间分布规律(上游>中游>下游)吻合。因此, 土壤的空间梯度变化规律与生态潜力的分布规律存在很好的空间相关性。

而从夏既胜等人的研究成果来看^[4], 流域的中、下游地区是 10 年间生态潜力下降最快的地区, 并认为下降的主要原因是人为干扰所制。然而人口密度最大、人为活动最频繁的中游地区, 其生态潜力值却明显高于下游地区, 因此说明造成生态潜力变化(及导致的空间分布差异)的原因, 除人为干扰因素外,

自然因素起到了主要的控制作用。自然条件不一样, 特别是土壤条件的差异, 导致植被破坏后的恢复速度不一样。

当然, 造成流域内红壤、黄壤区生态潜力值较低的原因, 除土壤本身性质外, 还受到流域内中下游干热河谷特殊气候的影响。区域内的干热河谷区是黄壤、红壤分布的主要区域。河谷西南侧中高山脉的屏障, 阻挡了来自大洋的暖湿气流, 使暖湿气流在迎风坡降水, 越山脊线后下沉绝热增温, 在谷底形成焚风效应的干热气候, 形成生态潜力较低的疏林灌丛植被类型。这也是黄壤、红壤区生态潜力值较低的原因之一。

总体来说, 在流域整体范围内, 生态潜力与土壤类型的空间分布存在很好的相关性, 除局部地区受到人为、气候等因素的影响外, 土壤对于生态潜力的总体空间分布起到了很好的控制作用。

5 结论

上述研究结果说明, 运用 GIS 技术对云南金沙江流域生态潜力进行的三维透视、空间变异、空间相关性分析等空间特征研究, 具有直观、快捷、实效等特点。研究得出:

(1) 云南金沙江流域生态潜力空间分布的总体趋势为: 上游(西北)地区> 中游(中部)地区> 下游(东部)地区;

(2) 生态潜力在流域内具有各向异性的特点, 且沿流域的整体走向具有很好的空间自相关性, 反映生态潜力沿流域走向具有梯度变化规律的特点;

(3) 土壤类型在决定生态潜力的空间分布方面, 起到了一定的控制作用。当然, 由于数据的缺乏, 本次研究没有结合地形、水、温度等进行生态潜力的空间相关性研究, 如果结合这些因子进行类似研究, 一方面可望分析出流域内生态潜力空间分布的综合原因; 另一方面, 可进一步说明该流域生态潜力评价的科学性。

参考文献:

[1] 江波, 袁位高, 戚连忠, 等. 滩地植被景观斑块分布特征与生态潜力评价[J]. 生态科学, 2005, 24 (2): 107~ 112.

[2] 娄安如. 中国北方农牧交错带怀来盆地的生态潜力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(4): 87~ 90.

[3] 杨树华, 王宝荣, 王崇云, 等. 流域生态系统的生态保护及其数字化管理——以云南金沙江流域为例[M]. 北京: 科学出版社,

- 2006: 25~ 67.
- [4] 夏既胜, 杨树华, 张林艳, 等. 金沙江流域(云南部分)生态潜力及其变化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(5): 798~ 802.
- [5] 夏既胜, 杨树华, 王玉朝, 等. 金沙江流域云南段景观格局特征及其变化研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4): 152~ 156.
- [6] 赵维城. 论云南地貌体系[J]. 云南地理环境研究, 1998, 10(增): 47~ 55.
- [7] 薛纪如, 姜汉侨. 云南森林[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1987: 16~ 45.
- [8] 吴征镒. 云南植被[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 20~ 59.
- [9] 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: 150~ 156.
- [10] 姚鑫, 戴福初, 陈剑. 金沙江干热河谷区地质灾害遥感研究[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(5): 655~ 660.

ON SPATIAL DISTRIBUTION OF ECOLOGICAL POTENTIAL BASED ON GIS IN JINSHA RIVER WATERSHED (YUNNAN PART)

XIA Ji-sheng^{1,2}, YANG Shu-hua¹, WAN Ye², WANG Yu-chao², ZENG Hong-yun², WEN Lie-jin²

(1. Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. School of Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming, 650091, China)

Abstract: Ecological Potential is an indicator to measure the comprehensive effects of multi-ecological factors confecting. Jinsha River watershed (Yunnan section) is abundant in landscapes and discrepancy in the topography and physical, chemical characteristics of the soil from the upper down to the lower of the watershed. These variations result in the different spatial distributions of the ecological potential in each landform unit. GIS is characterized by the powerful spatial analysis function, which provides the quick and convenient analysis tool for the study on the complex spatial distribution of the ecological potential. Using ArcGIS as the spatial analysis software, based on the vegetation classification map, this paper studied the spatial variation laws and made the 3-D fluoroscopy of the ecological potential power of Jinsha River watershed (Yunnan section). With these data, the paper compared the relationship of the ecological potential and soil spatial distribution in different landform units within the watershed by selecting the soil element. The results of this study are as follows. The ecological potential of the watershed increases in the direction of northwest gradually. From the result of Variation Function, the ecological potential of the watershed is of the anisotropy, and is of good autocorrelation along the strike of the watershed. The soil type plays a certain control role in the spatial distribution of ecological potential. The GIS methodologies adopted in this paper, particularly the 3-D fluoroscopy function and application of Variation Function provides references to the other similar researches. Additionally, the distribution laws of ecological potential in Jinsha River watershed (Yunnan section) calculated in this paper provides the theory base to the ecological protection in this region.

Key words: Jinsha River watershed; GIS; ecological potential; Variation Function