

# 云南高原盆地城市水源地土地利用空间结构

杨帆<sup>1</sup>, 曾建军<sup>2</sup>, 苏旺德<sup>1</sup>, 肖梦景<sup>1</sup>, 徐建宁<sup>3</sup>

(1. 云南师范大学 旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500; 2. 甘肃省水利科学研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. 兰州交通大学 测绘与地理信息学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** [目的] 探究云南高原盆地城市水源地土地利用空间结构, 为该区城市水源地土地利用结构调整提供依据。[方法] 以洛伦兹曲线和分形方法相结合, 对云南省 9 个典型高原盆地城市水源地土地利用空间结构进行了分析。[结果] 9 个典型高原盆地城市水源地土地利用类型中建设用地、草地和未利用地当前分布欠缺合理性, 很不均衡, 而未利用地和水域的空间结构镶嵌程度复杂, 稳定性差。[结论] 各个水源地现存的土地利用空间结构缺乏从水源保护角度出发的统一规划, 土地利用问题突出。

**关键词:** 高原盆地城市水源地; 土地利用空间结构; 洛伦兹曲线; 分形

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0254-04

中图分类号: F301.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20150716.001

## Spatial Structural Analyses on Use types of Urban Water-source Lands in Basin Area of Yunnan Plateau

YANG Fan<sup>1</sup>, ZENG Jianjun<sup>2</sup>, SU Wangde<sup>1</sup>, XIAO Mengjing<sup>1</sup>, XU Jianning<sup>3</sup>

(1. College of Tourism & Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China; 2. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou, Gansu 730000, China; 3. Faculty of Geometrics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** [Objective] The spatial structural of use types of water source lands in basin area of Yunnan Plateau was analyzed to provide bases for the transformation of land use types. [Methods] Lorenz curve and fractal method were used to analyze the spatial structural of urban water-source land use in basin area of Yunnan Plateau. [Results] The results showed that, currently, the water-source land use in basin area of Yunnan Plateau with respect to construction land, grass land and unutilized land was uneven and unreasonable. Moreover, the unutilized lands mosaicked messily with aquatorium and they were unstable. [Conclusion] The current land-use in basin area lacked a well-designed plan and an elaborative scheme regarding with water source protection should be conducted.

**Keywords:** urban water-source lands in plateau basin; land-use spatial structure; Lorenz curve; fractal method

土地利用的空间结构反映了土地利用类型在空间上的配置及其对比关系, 能否实现土地资源的可持续利用, 不仅取决于是否合理、高效地利用各类土地, 还取决于不同土地类型间组合关系的合理性<sup>[1]</sup>。对土地利用结构的区域差异性与合理性进行分析, 便于人们更好地认识土地利用与人口、自然、社会和经济的的相关性及土地利用类型的空间分布规律<sup>[2]</sup>。关于土地利用空间结构相关研究当前已取得较多成果, 诸如应用 RS-GIS、马尔可夫链、最优线性规划、景观指数、信息熵、神经网络等多种方法在研究土地利用空间结构都取得了一定成果, 但这些方法基本都是传统的地理学或者数学方法, 研究过程复杂且结果不够直观<sup>[3]</sup>。

洛伦兹曲线(Lorrenze curvers)是美国经济统计学家 Lorrenz 在 20 世纪初期利用频率累计数绘制成的曲线来刻画社会财富、土地和工资收入等不平等(集中或分散)程度而提出的, 经济学中利用该方法对地区之间收入差距或财富不平等进行分析<sup>[4]</sup>。1975 年法国数学家曼德尔布罗特(Mandelbrot)提出分形(fractal)概念, 土地斑块为自然界中最典型的分形几何体, 对各土地生态类型的形态结构可以运用分形理论进行定量化研究<sup>[5]</sup>。利用空间洛伦兹曲线可直观地从图形上反映土地利用类型在地域上配置的合理性; 基尼系数则可以对洛伦兹曲线得出的结果合理性进行定量化研究; 而分形可用来揭示土地利用空间结

收稿日期: 2014-12-27

修回日期: 2014-12-27

资助项目: 水利部公益性行业项目“高原盆地城市水源地脆弱性诊断研究”(201001058); 云南省科技计划项目(2012CA024)

第一作者: 杨帆(1991—), 男(汉族), 甘肃省宁县人, 硕士研究生, 研究方向为自然资源利用。E-mail: yf8110@163.com。

构的复杂性和稳定性特征。当前,以上方法已经运用在土地利用空间结构分析中,但是利用洛伦兹曲线结合分形方法进行土地利用的空间结构分析还鲜有报道。本研究拟以洛伦兹曲线和分形方法相结合从不同侧面对云南高原盆地城市水源地土地利用空间结构进行分析,应用洛伦兹曲线和分形方法相结合进行土地利用空间结构的可行性分析,并为当地城市水源地土地利用结构调整提供依据。

## 1 研究区概况及数据来源

云南省位于我国西南边陲,以高原山地为主,山区、半山区占该省国土面积的 94%,坝区占该省国土面积的 6%。降水相对充沛,多年平均降雨量 1 000 mm 以上,但降水变率大且时空分布极不均匀,雨季(5—10 月)降水占全年降水量的 80% 以上<sup>[6]</sup>。由于云南省内城市大多位于地形相对封闭的断陷盆地中,少有大江大河经过,盆地上游水库成为城市最主要,甚至是唯一的水源<sup>[7]</sup>,其水库供水量  $4.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占总供水量的 61.7%。该省具有城市饮用水供水功能的大中型水源地共有 82 个,2009 年以来,云南省遭遇连续 4 a 干旱,使得缺少补给、生态环境脆弱的高原盆地城市水源地面临的供水压力日益增大<sup>[8]</sup>。针对上述情况,为保障城市供水安全,本研究从土地利用空间结构的角度对保山市北庙水库、玉溪市东风水库、红河州菲白水库、楚雄市九龙甸水库、曲靖市潇湘水库、普洱市信房水库、昭通市渔洞水库以及昆明市的云龙水库和松华坝水库共 9 个典型城市水源地进行分析。

以 2012 年 SPOT5 影像与 TM/ETM 影像作为遥感解译的基础数据,根据《土地利用现状分类》国家标准进行解译并结合实际需要将城市水源地土地利用类型分为:建筑用地、耕地、草地、林地、疏林地、水域以及未利用地等 7 大类。

## 2 土地利用结构分析

### 2.1 洛伦兹曲线的绘制

利用遥感解译的云南省高原盆地九大城市水源地土地利用数据,绘制出不同土地利用类型的洛伦兹曲线,表述各土地利用类型空间分布的分散或集中程度。利用水源地各地类土地利用类型面积的原始数据,分别求出 9 个水源地某地类的区位熵。区位熵主要被用来衡量某一要素的空间分布情况,指某一地区该土地利用类型面积占区域该土地利用类型总面积的比值与该地区土地总面积占区域土地总面积之比,计算公式为<sup>[9]</sup>:

$$Q = (A_1/A_2) / (A_3/A_4) \quad (1)$$

式中:Q——区位熵;  $A_1$ ——某水源地某种土地利用类型的面积 ( $\text{km}^2$ );  $A_2$ ——9 个水源地某土地利用类型总面积 ( $\text{km}^2$ );  $A_3$ ——某水源地土地总面积 ( $\text{km}^2$ );  $A_4$ ——9 个水源地土地总面积 ( $\text{km}^2$ )。

按照区位熵大小,由小到大依次列出各个水源地各地类面积占总土地面积百分比,并计算累计百分比(以耕地为例,表 1)。

表 1 云南省 9 个典型高原盆地城市水源地耕地累计比例

项目	$A_1/A_2$	$A_3/A_4$	区位熵	耕地 累计/%	总面积 累计/%
信房水库	0.003	0.008	0.324	0.252	0.778
云龙水库	0.199	0.245	0.811	20.151	25.312
松华坝水库	0.158	0.192	0.823	35.953	44.504
北庙水库	0.033	0.039	0.850	39.284	48.420
东风水库	0.096	0.103	0.928	48.844	58.726
九龙甸水库	0.086	0.090	0.949	57.414	67.759
渔洞水库	0.289	0.233	1.239	86.326	91.087
潇湘水库	0.100	0.069	1.436	96.289	98.023
菲白水库	0.037	0.020	1.877	100.000	100.000

注:  $A_1$  表示某水源地某种土地利用类型的面积 ( $\text{km}^2$ );  $A_2$  表示 9 个水源地某土地利用类型总面积 ( $\text{km}^2$ );  $A_3$  表示某水源地土地总面积 ( $\text{km}^2$ );  $A_4$  表示 9 个水源地土地总面积 ( $\text{km}^2$ )。

最后以各水源地土地总面积占 9 个水源地土地总面积的累计百分比为横坐标,以各水源地某地类面积占 9 个水源地该地类总面积的累计百分比为纵坐标,各取 100 长度,绘出坐标图,以各累计数绘制坐标点,得到的曲线至绝对均匀线的离差就是该地类实际分布与其在全区均匀分布的差异程度(图 1)。越接近绝对均匀线,曲线离差较小,表明该土地利用类型在全区分布越均匀;反之,离绝对均匀线较远的曲线,表明该土地利用类型在全区中的区域分布差异较大,即分布相对分散<sup>[3]</sup>。

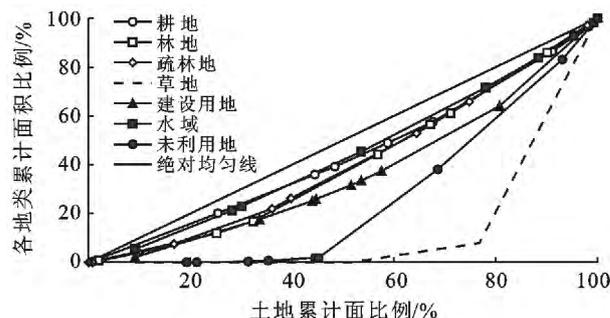


图 1 云南 9 个典型高原盆地城市水源地土地利用类型的洛伦兹曲线

## 2.2 空间基尼系数

洛伦兹曲线可以直观显示某种土地利用类型在全区空间分布的差异性,但是无法对差异(均衡或不均衡的)的程度进行定量描述。基尼系数可以进一步定量描述土地利用类型在各个水源地分布的差异程度,在洛伦兹曲线上,基尼系数反映的几何意义是曲线与绝对均匀线之间面积和绝对均匀线以上三角形面积之比,因此也被称为洛伦兹系数,基尼系数低于

0.2 表示分布绝对合理,0.2~0.3 表示比较合理,0.3~0.4 表示相对合理,0.4~0.5 表示差距较大,0.6 以上表示差距悬殊<sup>[10]</sup>。计算公式为<sup>[4]</sup>:

$$G = \sum_{i=1}^{n-1} (M_i Q_{i+1} - M_{i+1} Q_i) \quad (0 < i < 9) \quad (2)$$

式中:G——基尼系数;M<sub>i</sub>——某水源地某一土地利用类型面积累计百分比;Q<sub>i</sub>——某水源地土地在 9 个水源地土地总面积的累计比例。基尼系数计算结果详见表 2。

表 2 云南省 9 个典型高原盆地城市水源地土地利用类型基尼系数

地类	耕地	林地	疏林地	草地	建设用地	水域	未利用地
基尼系数	0.125	0.186	0.178	0.728	0.271	0.116	0.480

## 2.3 分形维数

分形(fractal)指其局部结构放大后以某种方式与整体相似的形体,是研究不规则自相似体系的理论,具有自相似性和标度不变性<sup>[11]</sup>。一个系统的自相似性是指某种结构或过程的特征从不同的时间尺度或空间尺度上看都是相似的,标度不变性是指自相似性的系统不具有特征长度,具有自相似的结构一定满足标度不变性<sup>[12]</sup>。各地类空间结构分维的计算首先要进行各地类斑块周长—面积关系的建立,计算公式为<sup>[13]</sup>:

$$A = kP^{\frac{2}{D}} \quad (3)$$

式中:A——某一斑块面积;P——同一斑块周长;D——分维;k——待定常数。对上式进行双对数变换可得:

$$\lg A = \frac{2}{D} \lg P + C \quad (4)$$

D 值越大,表示空间上的镶嵌结构越复杂。地类空间结构稳定性指数 SK 计算公式为<sup>[14]</sup>:

$$SK = |1.5 - D| \quad (5)$$

SK 值越大,表示空间结构越稳定。据此,绘制各土地利用类型的周长—面积散点图(图略),并经过回归分析后分别计算出分维数和稳定性指数(表 3)。

表 3 云南省 9 个典型高原盆地城市水源地土地利用类型分形模型、分维数与稳定性指数

地类	模型(回归方程)	R <sup>2</sup>	分维数	稳定性指数
耕地	$\lg A = 1.488 \lg P - 0.027$	0.944	1.343	0.157
林地	$\lg A = 1.455 \lg P + 0.05$	0.948	1.375	0.125
疏林地	$\lg A = 1.496 \lg P - 0.119$	0.947	1.028	0.472
草地	$\lg A = 1.434 \lg P - 0.077$	0.942	1.395	0.105
建设用地	$\lg A = 1.543 \lg P - 0.146$	0.925	1.296	0.204
水域	$\lg A = 1.308 \lg P - 0.429$	0.903	1.529	0.029
未利用地	$\lg A = 1.284 \lg P - 0.456$	0.921	1.558	0.058

## 3 结果分析

### 3.1 洛伦兹曲线结果分析

从图 1 可以看出,耕地、水域、林地和疏林地距离绝对均匀线较近,说明这几种用地类型在 9 个水源地分布较为分散,分布在各个水源地的面积比例大致相等。建设用地、草地和未利用地离绝对均匀线较远,表明这 3 种用地类型在 9 个水源地分布较不均衡,其中草地距绝对均匀线最远,即草地在各个水源地所占比例不一。

### 3.2 基尼系数结果分析

用基尼系数对云南省 9 个高原盆地城市水源地土地利用类型的分析结果与洛伦兹曲线分析出的结果基本一致。其中,耕地、水域、林地和疏林地基尼系数均小于 0.2,表示上述几种用地类型分布很合理,建设用地基尼系数为 0.271,处在比较合理的范围内,未利用地基尼系数为 0.480,分布的差距较大,草地基尼系数为 0.728,表明草地在 9 个水源地的分布差距悬殊。

### 3.3 分形结果分析

云南省高原盆地城市水源地不同土地利用类型的分维数排序为:未利用地>水域>草地>林地>耕地>建设用地>疏林地。其中未利用地和水域的分维数较大,表明这两种用地类型的空间结构最复杂,镶嵌程度最高。水域的稳定性指数最低,仅为 0.029 表明水域的空间结构稳定性最差,其次为未利用地。而建设用地和疏林地分维数最小,空间结构最简单,其中疏林地稳定性指数为 0.472,稳定性最高。

## 4 讨论

水源地土地利用空间结构直接影响着地表径流

和水源供给能力,土地利用变化通过改变下垫面状况进而影响水源供给,下垫面是水分循环的重要场所,不仅影响陆面的实际蒸散发,还影响土壤理化性质和水分状况<sup>[15]</sup>。结合遥感解译得到的土地利用类型数据,菲白水库与潇湘水库的耕地面积均超过水库总面积的40%;菲白水库与鱼洞水库的林地面积不足20%;同时云龙水库与潇湘水库的未利用地的面积达到10%左右;9个水源地内的居民地面积均在2%~3%,而松华坝水库的居民地面积达到6%。耕地和未利用地与林地相比水源涵养功能较弱,且容易发生水土流失,水源地内耕地和未利用地所占面积过大会对水源涵养功能造成负面影响。实地调查情况也表明各个水库内土地利用类型的空间结构均缺乏合理性,现有的土地利用类型并不利于水源地的水源涵养。另一方面,由于各个水源地内均分布有数量众多的农业人口,且源区内地表径流复杂,河流水库等易受人为影响,农业面源污染和水土流失现象突出,人为因素不仅对水源地土地利用空间结构影响较大,而且对水源地供水能力和水质安全起着至关重要的作用。由于不同植被带在控制水分和养分的运动上可起到重要作用<sup>[16]</sup>,不同土地利用方式在空间上的组合可以显著地影响土壤中养分、水分和水土流失<sup>[17]</sup>。通过土地利用空间结构的合理分布和规划,从而控制土壤水分和养分流失,以及防止水体污染。

## 5 结论

(1) 利用空间洛伦茨曲线可直观地从图形上反映土地利用类型在地域上配置的合理性;基尼系数则可以对配置的合理性进行定量化研究;而分形可用来揭示土地利用空间结构的复杂性和稳定性特征。通过3种方法结合分析之后,得出云南省9个高原盆地城市水源地中建设用地、草地和未利用地的分布很不均衡,而水域的空间结构稳定性最差,镶嵌程度复杂,水源涵养功能较大的林地和草地分形维数较大,表面这两种土地利用类型镶嵌程度较高,破碎程度较大。

(2) 由于不同土地利用类型的水源涵养功能的强弱不同,因此土地利用空间结构的合理性对水源地水源供给至关重要,从本研究结果与实际调查情况表明,云南省9个典型高原盆地城市水源地土地利用空间结构问题突出,主要为水源地内耕地面积过大,农业生产活动强度较大,不利于水源保护;森林覆盖率较高但破碎程度较大,使得地表蒸发量过大,减弱了森林的水源涵养功能;水库内的未利用地面积较多,

裸露的地表造成一定规模的水土流失。水源地土地利用结构有待进一步调整与优化。

### [参 考 文 献]

- [1] 封志明,杨艳昭,宋玉,等.中国县域土地利用结构类型研究[J].自然资源学报,2003,18(5):552-561.
- [2] 黄裕锋,徐昌明,黄裕婕.洛伦茨曲线在江西省土地利用分析中的应用[J].江西师范大学学报:自然科学版,2003,27(2):177-180.
- [3] 潘竟虎,石培基.基于洛伦茨曲线和分形的甘肃省土地利用空间结构分析[J].农业系统科学与综合研究,2008,24(2):252-256.
- [4] 汪雪格,汤洁,李昭阳,等.基于洛伦茨曲线的吉林西部土地利用结构变化分析[J].农业现代化研究,2007,28(3):310-313.
- [5] 郭碧云,王光谦,傅旭东,等.黄河中游清涧河流域土地利用空间结构和分形模型[J].农业工程学报,2012,28(14):223-228.
- [6] 曾建军,史正涛,刘新有,等.基于集对分析的云南高原盆地城市水源地脆弱性评价[J].长江流域资源与环境,2014,23(7):1080-1086.
- [7] 常龙芳,史正涛,曾建军,等.滇中城市水源地森林枯落物及土壤持水特性[J].城市环境与城市生态,2013,20(6):33-36,40.
- [8] 张雷,王杰.云南高原盆地城市水源地保护研究[J].中国水土保持,2014(7):37-39.
- [9] 邓晶,刁承泰.基于空间洛伦茨曲线和基尼系数的土地利用结构分析:以重庆江津市为例[J].中国水运:学术版,2007(7):208-210.
- [10] 周清华.基尼系数的基本算法总结[J].统计教育,2002(1):12-13.
- [11] 杨涵,王芳芳,吴世新,等.基于分形理论的新疆土地利用空间格局分析[J].干旱区研究,2009,26(2):194-199.
- [12] 谢花林,李秀彬.基于分形理论的土地利用空间行为特征:以江西东江源流域为例[J].资源科学,2008,30(12):1866-1872.
- [13] 朱晓华,蔡运龙.中国土地利用空间分形结构及其机制[J].地理科学,2005,25(6):6671-6677.
- [14] 叶长盛,董玉祥.珠江三角洲土地利用分形特征及其影响机制[J].农业工程学报,2011,27(4):330-335,404.
- [15] 潘韬,吴绍洪,戴尔阜,等.基于InVEST模型的三江源区生态系统水源供给服务时空变化[J].应用生态学报,2013,24(1):183-189.
- [16] 陈利顶,傅伯杰.农田生态系统管理与非点源污染控制[J].环境科学,2000,21(2):98-100.
- [17] 傅伯杰,陈利顶,马克明.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响:以延安市羊圈沟流域为例[J].地理学报,1999,54(3):51-56.