

# 滇池流域土地利用变化图谱的地形梯度效应

王启名<sup>1,2</sup>, 杨 昆<sup>2,3</sup>, 许泉立<sup>1,2</sup>, 李鸣蝉<sup>1,2</sup>, 肖 茜<sup>1,2</sup>

(1. 云南师范大学 旅游与地理科学学院, 昆明 650500;

2. 西部资源环境地理信息技术教育部工程研究中心, 昆明 650500; 3. 云南师范大学 信息学院, 昆明 650500)

**摘 要:**土地利用变化图谱的地形梯度效应是土地利用/覆被变化(LUCC)的重要研究内容之一。以滇池流域为研究地区,以 2000 年、2007 年 Landsat TM 和 2014 年 Landsat8 OLI 为数据源,从土地利用结构和地学信息图谱两个角度运用土地利用变化图谱和分布指数等方法分析了研究区土地利用结构和图谱总趋势、土地利用图谱的地形梯度效应及成因。结果表明:(1) 土地利用类型以耕地、林地、草地和未利用地为主,主要土地利用类型由 2000 年的耕地、林地和草地为主转化为 2014 年的耕地、林地和建设用地为主。(2) 土地利用变化图谱主要以最大图谱“林地—林地—林地”的稳定型和“草地—林地—林地”的前期变化型为主,两者占总面积的 62.59%,主要分布在滇池及滇池的东部和北部。(3) 土地利用变化图谱的地形梯度层次性明显,稳定型主要分布在低和高地形梯度,前期变化型的优势分布区为中高和高地形梯度,其他 3 类图谱主要分布在低和中低地形梯度并向中高地形梯度推进。(4) 土地利用变化图谱的地形梯度效应主要受基础的地形位、起推动作用的城镇化和人口密度、起调控作用的林业资源转型和水土保持政策共同影响。该研究为实现滇池流域土地资源的合理配置和可持续发展提供依据。

**关键词:**地学信息图谱; 地形梯度; 分布指数; 滇池流域

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)03-0237-08

## Effect of Terrain Gradient on Geo-Spectrum of Land Use Change in Dianchi Basin

WANG Qiming<sup>1,2</sup>, YANG Kun<sup>2,3</sup>, XU Quanli<sup>1,2</sup>, LI Mingchan<sup>1,2</sup>, XIAO Qian<sup>1,2</sup>

(1. School of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China;

2. Western Resources Environment Geographic Information Technology Engineering Research Center, Ministry of Education, Kunming 650500, China; 3. School of Information, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

**Abstract:** Terrain gradient effect on geo-spectrum of land use change is one of the important research topics of land use/cover change (LUCC). Based on the remote sensing data of TM images in 2000, 2007 and Landsat8 OLI image in 2014, we took the Dianchi Basin as study area and analyzed the general trend of land use structure and geo-information spectrum, the effect and cause of terrain gradient on geo-spectrum of land use change by using method of geo-spectrum of land use change and distribution index from the perspective of the structure and geo-spectrum. The results showed that: (1) the main land use types of the study region were cultivated land, woodland, grassland and construction land, and types were transferred from cultivated land, woodland and grassland in 2000 to cultivated land, woodland and construction land in 2014; (2) geo-spectrum of land use change gave priority to stable type of the largest geo-spectrum ‘woodland—woodland—woodland’ and prophase change type of the largest geo-spectrum of ‘grassland—woodland—woodland’, both accounting for 62.59% of the total area, mainly distributed in Dianchi Lake and the north and east of Dianchi Lake; (3) geo-spectrum of land use change was clear hierarchy at terrain gradient, stable type mainly distributed at low and high terrain gradients, prophase changes type was at mid-high and high terrain gradients, the other three types of geo-spectrum land use change mainly distributed at low and mid-low terrain gradients and

收稿日期:2017-08-15

修回日期:2017-09-10

资助项目:国家自然科学基金“城镇化进程中基于蚁群行为规则的滇池流域不透水表面扩张智能体建模与模拟”(41461038);高等学校博士学科点专项联合基金“盘龙江子流域城市非点源污染的地理空间模拟模型研究”(20115303110002);十二五国家水体污染控制与治理科技重大专项“数字化排水系统规划设计平台”(2012ZX07102001-002)

第一作者:王启名(1988—),男,陕西蒲城人,硕士研究生,研究方向为 GIS 与土地资源系统研究。E-mail:305848964@qq.com

通信作者:许泉立(1975—),男,湖北武汉人,博士,副教授,研究方向为 GIS 开发、应用与建模。E-mail:go2happiness@163.com

moved forward to mid-high terrain gradients; (4) the terrain gradient effect of geo-spectrum of land use change was mainly affected by mutual effect of basic the terrain niche, urbanization and population density, regulatory forestry resources transformation and soil and water conservation policy. This study can provided the basis for realization of reasonable allocation and sustainable development of land resources in Dianchi Basin.

**Keywords:** geo-information spectrum, terrain gradient, distribution index, Dianchi Basin

土地利用/覆被变化(LUCC)是人类与其生存环境对土地资源系统最直接作用的结果<sup>[1-2]</sup>。与此同时,LUCC在不同的时间和空间尺度影响着人类和自然系统<sup>[3]</sup>。自 20 世纪 90 年代至今,LUCC 一直是全球气候变化、全球环境变化和可持续发展的核心主题和热点问题之一,已经成为经济学、生态学、地理学、及相关交叉学科研究的重点和热点领域之一<sup>[4-7]</sup>。地形因素是最基本自然地理要素<sup>[8]</sup>,直接影响不同地形梯度上的土地利用变化的水热组合和能量收支平衡,使土地利用格局和过程变化的梯度效应差异明显,因此,基于地形梯度的土地利用格局和过程变化也成为 LUCC 研究的重要内容之一<sup>[8-10]</sup>。

土地利用格局和过程的变化需要通过时空复合方法来进行量化研究,而地学信息图谱具有这样的功能,它以遥感技术、地理信息科学、计算机制图等学科为基础,能够综合反映 LUCC 在空间格局的“图”和时间序列的“谱”的二元特征,解决 LUCC 的非空间属性信息在空间位置上的定位信息和可视化表达<sup>[11-12]</sup>。目前,已有研究表明<sup>[13-14]</sup>,土地利用变化图谱能很好地表达土地利用变化的空间—属性—过程一体化时空分布格局,并将这些分布格局用信息图谱单元来表示,在空间位置和空间行为上都具有一定的指示性。近些年,土地利用变化的图谱特征研究备受学者的关注<sup>[12-15]</sup>,成为分析土地利用格局与过程变化的重要组成部分。但从地形角度对土地利用信息图谱变化的研究较少。

滇池流域地处云南省中东部,是昆明城市发展的核心区域,该地区地形地貌起伏较大,使得土地利用在不同地形梯度上的利用方式和用途分布不同,在不同的地形梯度形成不同的土地利用变化图谱特征。近年来,人类活动不断加强改变了地形梯度约束下的土地利用方式和方向,也改变了土地利用变化图谱模式,影响滇池流域生态环境,威胁人类的生存和发展。目前,没有关于滇池流域土地利用变化图谱的地形梯度效应方面的研究,本文以 2000 年、2007 年、2014 年遥感影像为数据源生成土地利用变化图谱,从地形位、坡向 2 个宏观地形因子,综合研究滇池流域的土地利用变化图谱在地形梯度上的格局变化特征,以期土地资源可持续发展、土地利用的合理布局提供理论依据。

## 1 研究区概况

滇池流域处长江、珠江和红河 3 大水系分水岭地带,地理位置在  $102^{\circ}29' - 103^{\circ}1'E$ ,  $24^{\circ}28' - 25^{\circ}28'N$ , 是地质构造形成的南北长,东西窄的湖盆地,包括昆明市中部的五华区、盘龙区、官渡区、西山区和呈贡区,北部的寻甸回族彝族自治县、富民县和嵩明县和南部的晋宁县 9 个县级行政区,面积为  $290\,431.89\text{ km}^2$ ,仅占云南省总面积的  $0.75\%$ ,却是滇中城市经济圈发展的核心,人口密度、城镇化程度和社会经济发展速度远远高于云南省其他区域。该研究区海拔高度起伏较大,在  $1\,753 \sim 2\,875\text{ m}$  之间,东北高,西南低,从滇池向四周不断升高(见图 1A),海拔的起伏不同使得土地利用类型在不同的地形梯度上转化程度不同,造成土地利用变化图谱在地形梯度上变化程度不同。

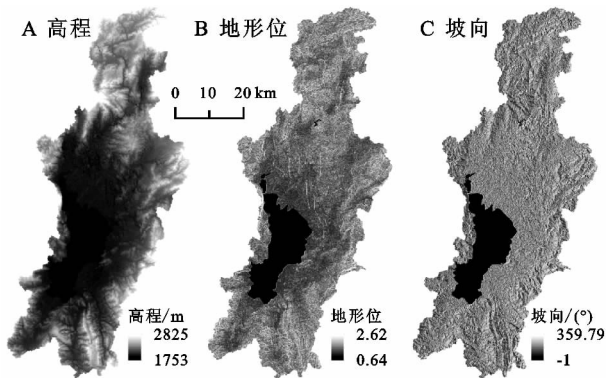


图 1 研究区高程、地形位和坡向

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 数据来源与处理

本文以中国地理空间数据云的 2000 年、2007 年的 Landsat TM 和 2014 年 Landsat8 OLI 为数据源,运用 ENVI5.1 对以上 3 期遥感数据进行预处理、边界裁剪、解译,得到目标土地里利用分布图。土地利用类型分类参考国土资源部 2007 年颁布的《土地利用现状分类标准》及滇池流域的地域特点,将土地利用类型分为耕地、林地、草地、建设用地、水域和未利用地,并对分类的 3 期土地利用类型遥感影像进行精度检验,总体分类精度分别为  $86.53\%$ ,  $87.12\%$  和  $90.35\%$ ,

Kappa系数分别为 0.75, 0.80, 0.84, 均达到标准。并将栅格单元大小统一为  $30 \times 30$  m。

## 2.2 研究方法

2.2.1 土地利用变化图谱构建及分级 土地利用变化图谱是在地学信息图谱的理论基础上发展起来的, 利用地图代数运算把“空间单元特征的图”和“时间发展过程的谱”结合起来, 形成土地利用变化时空复合体。具体过程是利用 ArcGIS 10.2 软件对 2000 年、2007 年和 2014 年 3 期分类的土地利用分类图利用公式(1)进行地图代数运算以构建 2000—2014 年的土地利用信息图谱, 体现了土地利用变化格局时空复合特征。土地利用信息图谱计算公式<sup>[10,15]</sup>如下:

$$Y = C_1 \times 10^{n-1} + C_2 \times 10^{n-2} + \dots + C_n \times 10^{n-n} \quad (1)$$

式中:  $Y$  无数学意义, 表示  $n$  期土地利用类型代码的合成的  $n$  位编码时空复合数据;  $n$  为土地利用期数;  $C_1, C_2, \dots, C_n$  为第 1 期, 2 期,  $\dots$ ,  $n$  期不同时期土地利用单元所形成的土地利用图; 将  $C_1, C_2, \dots, C_n$  不同时期土地利用图进行叠加, 分别位于  $n$  位,  $\dots$ , 十位、个位, 形成  $n$  位编码时空复合数据。

根据土地利用类型在 3 个不同时间段的变化情况, 可将土地利用变化图谱分为 5 种图谱类型<sup>[16]</sup>, 即稳定型(土地利用类型在 2000—2014 年一直未发生变化)、前期变化型(土地利用类型只在 2000—2007 年发生变化, 其他时期不变)、后期变化型(土地利用类型只在 2007—2014 年发生变化, 其他时期不变)、反复变化型(2000—2014 年 3 个时期土地利用类型发生变化且末期土地利用类型和初期相同)和持续变化型(2000—2014 年 3 个时期土地利用类型发生变化且末期土地利用类型和初期不同)。

2.2.2 地形梯度等级的划分 根据地形的起伏变化情况, 选取地形位和坡向 2 个地形宏观因子进行地形梯度的划分, 分析地形在垂直梯度上对土地利用变化图谱特征。地形位结合了高程和坡度 2 个地形因素对土地利用变化图谱的分布和影响, 具有高程和坡度共有的地形优势, 利用公式<sup>[17]</sup> (1) 进行计算, 生成地形位图(图 1B)。公式(1)如下:

$$T_n = \ln \left[ \frac{\left( \frac{E}{\bar{E}+1} \right)}{\left( \frac{S}{\bar{S}+1} \right)} \right] \quad (2)$$

式中:  $T_n$  表示地形位指数;  $E, \bar{E}$  表示研究区域中任意一点的高程值和邻域周围平均高程值;  $S, \bar{S}$  表示研究区域中任意一点的坡度值和邻域周围平均坡度值。

高程值越高、坡度值越大的区域, 其地形位指数值也就越大; 反之亦然。地形位分级采用等数量重分类法对地形位分为 16 个等级(等间隔为 0.124), 并将 16 个等级合并为 4 个不同地形位, 即 1~3 等级合并为低地形位、4~5 等级合并为中低地形位、6~8 等级合并为中高地形位、9~16 等级合并为高地形位。

坡向表示坡面在水平方向上投影的方向, 直接影响地形区域接受太阳辐射强度的大小及日照时间的长短, 利用 ArcGIS 软件中空间分析, 生成坡向图(图 1C)。坡向根据地形接受太阳辐射方向不同分为 5 种级别, 即平坡( $-1^\circ$ )、阳坡( $135^\circ \sim 225^\circ$ )、半阳坡( $90^\circ \sim 135^\circ$  和  $225^\circ \sim 270^\circ$ )、半阴坡( $45^\circ \sim 90^\circ$  和  $270^\circ \sim 315^\circ$ ) 和阴坡( $0^\circ \sim 45^\circ$  和  $315^\circ \sim 360^\circ$ )。

2.2.3 地形分布指数效应 分布指数(distribution index, DI)能够很好分析土地利用变化图谱在不同地形梯度上的概率分布, 因为 DI 是一个无量纲单位<sup>[18-19]</sup>, 可以消除地形梯度和土地利用变化图谱间的面积差异的影响, 其公式为<sup>[8-9,15,20]</sup>:

$$DI = \left( \frac{T_{ij}}{T_i} \right) / \left( \frac{T_j}{TA} \right) \quad (3)$$

式中: DI 为地形分布指数;  $j$  为地形因子梯度;  $i$  为土地利用变化图谱类型;  $T_i$  为第  $i$  土地利用变化图谱的总面积;  $T_{ij}$  为第  $i$  土地利用变化图谱在第  $j$  形梯度上的总面积;  $T_j$  为第  $j$  地形梯度上的总面积; TA 为研究区的总面积。当  $DI > 1$  表示该种土地利用变化图谱在某个地形梯度上呈现优势分布, DI 越高, 优势度越明显; 反之, 表示该种土地利用变化图谱在某个地形梯度上呈现劣势分布, DI 越小, 劣势度越明显。

## 3 结果与分析

### 3.1 研究区土地利用结构变化

基于土地利用图可得出研究区土地利用结构变化趋势。从表 1 可以看出, 滇池流域 2000—2014 年土地利用类型结构面积和比例差异明显。2000—2014 年, 土地利用类型以耕地、林地、草地和未利用地为主, 占总面积的 87% 左右, 主要土地利用类型也发生了转化, 2000 年的耕地、林地和草地为主转化为 2014 年的耕地、林地和建设用地为主。耕地和草地面积减少幅度明显(减少了 37.33%), 林地和建设用面积增加幅度很快(增加了 36.65%), 水域和未利用地面积基本保持不变。主要是由于昆明市政府不断落实耕地“退耕还林”政策以及积极响应西部大开发战略, 促进昆明市社会经济的发展导致耕地和草地面积的减少、林地和建设用地的面积的增加。

表 1 2000—2014 年滇池流域土地利用结构

土地利用 类型	2000 年		2007 年		2014 年	
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
耕地	72518.70	24.97	67477.23	23.23	33864.50	11.66
林地	60767.90	20.92	114780.96	39.51	123396.00	42.47
草地	94036.90	32.38	20949.12	7.21	24286.70	8.36
建设用地	24438.10	8.42	47354.94	16.30	68340.10	23.52
水域	30974.10	10.66	31193.10	10.74	31399.30	10.81
未利用地	7696.26	2.65	8764.20	3.02	9233.28	3.18

研究区土地利用结构变化只能总体上分析土地利用变化的总趋势,并不能看出土地利用变化的方向和方式,需通过土地利用变化图谱单元来准确反映。

3.2 研究区土地利用变化图谱

对 2000—2014 年 3 期的土地利用图利用公式(1)进行叠加运算得到时空一体的土地利用变化图谱单元,并将其分级为 5 个图谱类型,统计图谱类型及最大图谱面积和比例,从而有利于分析土地利用类型的数量和过程变化,见表 2。土地利用变化图谱类型主要以稳定型和前期变化型为主,两者占总面积的 62.59%,大片分布在滇池及滇池的东部和北部,少量分布在滇池流域的边缘部分。

(1) 稳定型主要分布在滇池及滇池北部、海拔较高边缘部分,占图谱类型总面积的 38.71%,其中“林地—林地—林地”为最大图谱类型,占稳定型总面积的 50.56%,超过一半,滇池流域地处亚热带地区,林业资源优势明显,发展核桃、油橄榄和板栗等经果林有利于提高农民收入,促进生态经济快速发展;其次为“水域—水域—水域”图谱,占稳定型总面积的 26.37%,水域对于昆明市气候环境具有一定的调节。

(2) 前期变化型主要分布在嵩明县、呈贡区和晋宁县,占图谱类型总面积的 23.88%,其中“草地—林地—林地”为最大图谱类型,占前期变化型总面积的 48.15%,昆明市政府依托其林业资源优势,并大力推行“防林护林造林”策略,促进草地→林地;其次为“耕地—建设用地—建设用地”图谱,占前期变化总面积的 13.29%,随着 2007 年来,人口大量涌入城市,社会经济和城镇化的发展迅速,促使对建设用地需求的不断增加,迫使耕地→建设用地。

(3) 后期变化型主要分布在滇池周围的东北部和西南部,占总面积的 14.72%,其中耕地—耕地—建设用地为最大图谱类型,占后期变化型总面积的 42.36%,城市人口的持续增加、城镇化速率加快,致使耕地→建设用地在持续增长;其次为“耕地—林地—林地”图谱,占后期变化型总面积的 10.99%,昆

明市的地形气候条件有利于发展林业经济,2000 年国家施行“退耕还林”政策,昆明市政府的贯彻实行,促进滇池流域耕地→林地,尤其是坡耕地。

(4) 反复变化型广泛分布在整个流域(除滇池),占总面积的 6.97%,其中最大图谱“草地—耕地—草地”仅占反复变化型总面积的 16.46%,不具有明显的优势,2000—2007 年,城镇化发展使得耕地被建设用地侵占,增加了耕地需求和粮食供求,促使草地→耕地;2007 年后耕地→草地归因于国家继续推进退耕还草政策,当地政府不断重视生态环境建设。

(5) 持续变化型主要分布在滇池东部和南部,占总面积的 15.72%,其中最大图谱“草地—耕地—建设用地”占持续变化型总面积的 15.79%,该图谱表明随着社会经济的发展,城镇化扩张,建设用地需求增加,使人们开始不断加大对草地的开垦利用。

3.3 研究区土地利用变化图谱的地形梯度

将土地利用信息图谱与地形位分级图、坡向分级图分别进行叠加,得到不同地形位和坡向上的土地利用变化图谱的面积,利用公式(3)进行计算得到不同地形位和坡向上分布指数。

表 2 2000—2014 年滇池流域土地利用变化图谱结构

图谱类型	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	最大图谱类型	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
稳定型	112418.37	38.71	2→2→2	56839.05	50.56
前期变化型	69361.92	23.88	3→2→2	33394.95	48.15
后期变化型	42757.02	14.72	1→1→4	18110.79	42.36
反复变化型	20239.47	6.97	3→1→3	3331.98	16.46
持续变化型	45655.11	15.72	3→1→4	7210.62	15.79

注:1 为耕地,2 为林地,3 为草地,4 为建设用地,5 为水域,6 为未利用地,下同。

3.3.1 研究区土地利用变化图谱的地形位梯度 研究区土地利用变化图谱的地形位梯度差异明显(图 2)。随着地形位梯度增加,稳定型分布指数先减少后增加最后趋于稳定,在 1,9~16 级具有分布优势,主要是因为水域受地形位梯度严格约束,林地则主要分布在高地形位梯度上。前期变化型随地形位梯度级别增加呈现先增加趋于稳定后有减少的趋势,在 4~

13级具有分布优势,中高和高地形位上受林业资源所带来的经济利益所驱使促使草地→林地,城镇化的扩张加剧及人地矛盾的加剧促使耕地→建设用地向中低地形位上推进。反复变化型、后期变化型和持续变化型变化趋势基本相似,随着地形位级别的增加呈先增加后减少又增加的趋势,主要都在2~8级具有分布优势,社会经济活动不断向高地地形位梯度推进,促使中低和高地形位梯度上的土地利用的模式不断发生转变。

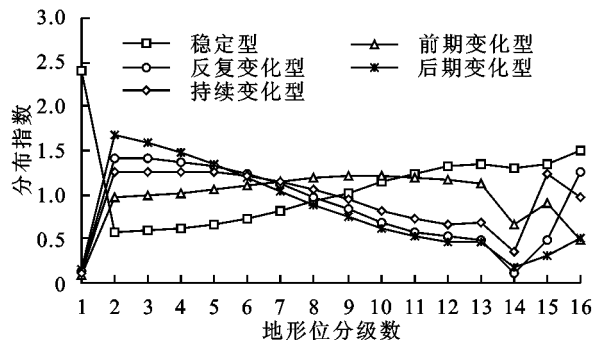


图2 2000—2014年滇池流域土地利用变化图谱地形位梯度

不同地形位梯度对研究区图谱类型优势分布影响存在差异,但对土地利用类型变化不具有明确指示性,所以引入地形分级上的最大图谱类型的分布指数,以探讨地形因素和人类活动对土地利用模式的影响程度。

由表3可知:(1)稳定型。研究区域在低地形位和中高、高地形位上具有明显分布优势。在低地形位上最大面积图谱为“水域—水域—水域”和“建设用地—建设用地—建设用地”,该梯度分布指数具有优势,尤其“水域—水域—水域”分布指数高达8.98,主要是因为水域受地形位梯度的严格约束,滇池流域是昆明市城市发展的主要区域,并且该地形位梯度小,地势平坦,有利于城镇化稳定发展;在中高和高地形位上最大图谱面积为“林地—林地—林地”,该梯度分布优势明显且稳定增长,表明中高和高地形位梯度是林地的优势分布区。(2)前期变化型。“耕地—建设用地—建设用地”是低地形位上的最大面积图谱,分布指数优势明显,主要由于人口大量涌入昆明市使人地矛盾加大,城市化扩张,使得建设用地需求不断增加,迫使2000—2007年不断侵占耕地;“草地—林地—林地”是中高和高地形位梯度上的最大面积图谱,分布优势稳定增长,高地形梯度适合林地的生长,在前期经济利益的刺激下,人们在高地形位上大量种植核桃、油橄榄、板栗等经果林占用的大量的草地,使土地利用方式在前期发生转变。(3)后期变化型。

“耕地—耕地—建设用地”分布指数在低和中低地形位优势明显,耕地→林地还在持续进行,并且向中低地形位推进,由于人地矛盾和城镇扩张加剧,致使耕地面积在中低地形位上减少明显,但在中高和高地形位上不具分布优势,同时表明地形位对建设用地有一定的约束性;“草地—草地—耕地”在高地形上具有一定优势分布,表面该梯度毁草开荒比较明显,虽然当地政府也一直推行退耕还草政策,但由于建设用地侵占耕地向高地形位持续进行,为了“占补平衡”和满足更多的粮食需求,迫使后期高地形位上草地→耕地。(4)反复变化型。“建设用地—耕地—建设用地”是低、中低地形位上最大面积土地利用图谱,分布指数优势明显,2000—2007年农村人口大量涌入城市,使农业人口非农业化,使部分闲置的建设用地→耕地,2007年以后,由于社会经济的快速发展和城市化进程加快,致使城市不断向外扩张,致使城郊耕地→建设用地;在中高地形位上,“草地—建设用地(耕地)—草地”分布指数具有优势,2000—2007年,主要由于人类生产生活范围扩张,不断向中高地形位上的推移,使草地→建设用地(耕地),2007年以后,当地政府不断重视生态环境建设以及实行“生态移民”政策,使中高地形位上建设用地(耕地)→草地。(5)持续变化型。“草地—耕地—建设用地”是低、中低和中高地形位上的最大面积图谱,具有分布优势,粮食需求和经济利益的追求,致使部分草地→耕地,城市化发展迅速和城镇人口的不断增加,使得耕地→建设用地;“草地—未利用地—林地”在高地形位上具有分布优势,前期由于水土保持力度不够,使草地→未利用地,后期昆明市政府加大水土保持力度和生态环境建设使未利用地→林地。

3.3.2 研究区土地利用变化图谱的坡向梯度 探讨研究区不同坡向梯度对土地利用变化最大图谱的影响(表4),有利于分析不同坡向梯度上土地利用模式和过程。在平坡等级上,图谱类型差异明显,稳定型图谱在平坡上具有绝对优势分布,最大图谱类型为“水域—水域—水域”,分布指数高达9.33,说明水域分布主要分布在地势平坦区并受坡向的严格约束;在阳坡和半阳坡等级上,稳定型不具分布优势,其他图谱类型都具有分布优势,其中后期变化型的最大图谱“耕地—耕地—建设用地”、反复变化型的最大图谱“草地—耕地—草地”和持续变化型的最大图谱“草地—耕地—建设用地”,优势分布都很明显,主要由于阳坡和半阳坡接受的太阳辐射较多,光照时间

较强,利于农作物的生长和人类的生产生活活动;在半阴坡和阴坡等级上,稳定型分布指数不具优势但接近1,稳定型的最大图谱“林地—林地—林地”分布优势却很明显,表明“林地—林地—林地”对于稳定型优势分布具有很强的指示性;其他图谱类型都具分

布优势,其中以半阴坡等级上前期变化型最大图谱“草地—林地—林地”和反复变化型最大图谱“草地—建设用地—草地”的优势分布明显,半阴坡和阴坡接受较少的太阳辐射,但土壤持水性强,有利于草地和林地的生长。

表 3 2000—2014 年滇池流域土地利用变化最大图谱地形位梯度

地形位 分级数	稳定型		前期变化型		后期变化型		反复变化型		持续变化型	
	最大图谱 类型	分布 指数	最大图谱 类型	分布 指数	最大图谱 类型	分布 指数	最大图谱 类型	分布 指数	最大图谱 类型	分布 指数
1	5—5—5	8.98	1—4—4	0.21	1—1—4	0.20	4—1—4	0.17	3—1—4	0.16
2	4—4—4	1.90	1—4—4	2.24	1—1—4	2.17	4—1—4	2.00	3—1—4	1.88
3	2—2—2	0.40	1—4—4	2.01	1—1—4	1.98	4—1—4	1.84	3—1—4	1.74
4	2—2—2	0.51	3—2—2	0.67	1—1—4	1.76	4—1—4	1.71	3—1—4	1.62
5	2—2—2	0.66	3—2—2	0.83	1—1—4	1.50	4—1—4	1.49	3—1—4	1.43
6	2—2—2	0.86	3—2—2	1.03	1—1—4	1.19	3—4—3	1.33	3—1—4	1.22
7	2—2—2	1.12	3—2—2	1.23	1—1—4	0.90	3—1—3	1.13	3—1—4	1.01
8	2—2—2	1.42	3—2—2	1.42	1—1—4	0.67	3—1—3	0.96	3—1—4	0.82
9	2—2—2	1.72	3—2—2	1.57	1—1—4	0.49	3—1—3	0.82	3—6—2	1.44
10	2—2—2	2.02	3—2—2	1.65	1—1—4	0.35	3—1—3	0.65	3—6—2	1.37
11	2—2—2	2.27	3—2—2	1.71	1—1—4	0.28	3—1—3	0.52	3—6—2	1.29
12	2—2—2	2.47	3—2—2	1.67	1—1—4	0.21	3—1—3	0.51	3—6—2	1.23
13	2—2—2	2.51	3—2—2	1.68	3—3—1	1.32	3—1—3	0.55	3—6—2	1.41
14	2—2—2	2.47	3—2—2	1.57	3—3—1	1.38	3—1—3	0.87	3—6—2	1.61
15	2—2—2	2.60	3—2—2	1.51	1—1—4	0.21	3—4—3	0.98	3—4—1	5.12
16	2—2—2	2.92	3—2—2	0.91	1—1—4	0.28	3—4—3	2.13	3—1—2	3.35

表 4 2000—2014 年滇池流域土地利用变化最大图谱坡向梯度

坡向	稳定型		前期变化型		后期变化型		反复变化型		持续变化型	
	最大图谱 类型	分布 指数	最大图谱 类型	分布 指数	最大图谱 类型	分布 指数	最大图谱 类型	分布 指数	最大图谱 类型	分布 指数
平坡	5—5—5	9.33	3—2—2	0.03	1—1—4	0.06	5—2—5	0.96	3—1—4	0.05
阳坡	2—2—2	0.87	3—2—2	1.17	1—1—4	1.19	3—1—3	1.37	3—1—4	1.25
半阳坡	2—2—2	1.07	3—2—2	1.06	1—1—4	1.19	3—1—3	1.17	3—1—4	1.21
半阴坡	2—2—2	1.13	3—2—2	1.18	1—1—4	1.04	3—4—3	1.21	3—1—4	1.01
阴坡	2—2—2	1.38	3—2—2	1.03	1—1—4	1.02	3—4—3	1.03	3—1—4	0.97

4 讨论

总体看来,研究区不同地形梯度对土地利用变化图谱的影响程度不同,这与滇池流域的当地实际的自  
然因素和人口密度增加、社会经济持续发展、政府宏  
观调控等人为因素有密切的关系。

从自然因素看,人类活动受地形因子的约束,土  
地利用变化的 6 种最大图谱“水域—水域—水域”、  
“建设用地—建设用地—建设用地”、“耕地—建设用  
地—建设用地”、“耕地—耕地—建设用地”、“建设用  
地—耕地—建设用地”、“草地—耕地—建设用地”在

低地形位上呈优势分布,由于人类耕种、城镇化发展  
和工程建设等人类生产生活活动主要在低地形位上  
进行,致使水域、耕地和建设用地对地形的选择性较  
强。土地利用变化最大图谱“林地—林地—林地”和  
的“草地—林地—林地”在高地形位上分布指数最大  
且优势更明显,表明林地和高地形位优势更明显。

从社会经济因素看,人类活动范围的加强逐渐开  
始突破地形梯度的约束,土地利用变化的 3 种最大图  
谱“耕地—耕地—建设用地”、“建设用地—耕地—建  
设用地”、“草地—耕地—建设用地”优势分布从低地  
形位一直持续到中高地形位上,但分布指数呈减少趋

势,说明人口大量涌入扩大城市范围,社会经济大发展,增加了居住地、工矿用地和交通用地等建设用地需求,迫使耕地草地转化为建设用地向高地形位持续推进,但人类活动对地形影响逐渐减弱。

从政策因素来看,相关政策的实施,使中高和高地形位林地面积大幅增加,优势分布明显提高,土地利用变化的最大图谱“草地—林地—林地”分布指数在中高和高地形位具有优势,主要因为昆明市政府因地制宜,发挥高地形林业资源优势,鼓励农民大量种植的核桃、油橄榄、板栗等经果林的缘故,最大图谱“草地—未利用地—林地”在高地形梯度呈优势分布,但昆明市政府2007年开始注意在高地形上生态退化现象,制定了相关水土保持政策,开垦未利用地为林地,防止水土流失。

本文运用地形位和坡向2个地形因子分析了土地利用变化图谱的地形梯度效应。总体上看,地形位因子更能综合地反映土地利用变化图谱的垂直分布规律,并能够避免单一海拔和坡度的对土地利用图谱空间分布的偏离,这与薄广涛<sup>[9]</sup>、吴见<sup>[10]</sup>、龚文峰<sup>[15]</sup>等的研究结论基本相符。

## 5 结论

(1) 研究区土地利用类型以耕地、林地、草地和未利用地为主,占总面积的87%左右,主要土地利用类型由2000年的耕地、林地和草地为主转化为2014年的耕地、林地和建设用地为主。

(2) 研究区土地利用变化图谱中以“林地—林地—林地”为最大图谱的稳定型所占面积最多,占总面积的38.71%,主要分布滇池及滇池北部、海拔较高边缘部分;其次以“草地—林地—林地”为最大图谱的前期变化型,占总面积的23.88%,主要分布在嵩明县、呈贡区和晋宁县;持续变化型以“草地—耕地—建设用地”为其最大图谱类型;后期变化型以“耕地—耕地—建设用地”为其最大图谱类型;反复变化型仅占总面积的6.97%,以“草地—耕地—草地”其最大图谱类型。

(3) 研究区土地利用变化图谱在不同地形梯度存在差异。在低地形梯度上,5种土地利用变化图谱都具分布优势,但其最大图谱对地形具有选择性;在中低和中高梯度上,后期变化型的最大图谱“耕地—耕地—建设用地”、反复变化型的最大图谱“建设用地—耕地—建设用地”和持续变化型的最大图谱“草地—耕地—建设用地”一直持续并具有分布优势,但分布指数减少,主要因为人类活动范围逐渐突破地形

因素的约束但强度逐渐减弱,稳定型和前期变化型在中高地形梯度上也具有分布优势;在高地形梯度上,稳定型的最大图谱“林地—林地—林地”和前期变化型的最大图谱“草地—林地—林地”一直持续并具有分布优势,以“草地—未利用地—林地”为最大图谱的持续变化型也具有分布优势,林业经济利益的驱动和生态环境的保护使林业高地形分布优势更为明显。

(4) 研究区土地利用变化图谱受自然因素、社会经济因素和政策因素共同影响,其中自然因素以地形位为基础,社会经济因素以人口密度和城镇化为推动力量,政策因素以林业资源转型和水土保持为调控作用。

本文通过地形位和坡向两个地形因子运用地学信息图谱法和分布指数对研究区土地利用变化图谱的地形特征进行分析,得出滇池流域的不同地形梯度的土地利用变化图谱特征差异明显。研究区土地利用变化图谱结构基本合理,但最大图谱“耕地—耕地—建设用地”、“建设用地—耕地—建设用地”和“草地—耕地—建设用地”优势分布区不断向中高地形梯度的推移,反映了社会经济活动的增强和城市扩张向中高地形梯度推进,地形对耕地→建设用地的约束性减弱,不利于土地资源系统的动态平衡发展,应合理配置影响土地利用变化图谱的地形因素和人为因素,使土地利用变化图谱在不同地形梯度上合理分布,即在低和中低地形梯度,严格划定稳定型的耕地和建设用地,防止耕地被侵、建设用地的无序发展,在中高和高地形梯度,加大稳定型的林地优势,继续推行退耕还林和生态可持续发展政策,以实现土地利用变化的图谱的优化配置和土地资源的可持续发展。

### 参考文献:

- [1] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14.
- [2] 李想,李月辰,王凤友,等. 土地利用空间格局演变机理研究[J]. 资源开发与市场, 2014, 30(3): 271-274.
- [3] Valbuena D, Verburg P H, Bregt A K, et al. An agent-based approach to model land-use change at a regional scale[J]. Landscape Ecol., 2010, 25(2): 185-199.
- [4] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558.
- [5] Mooney H A, Duraipapp A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(11):

- 3665-3672.
- [6] Sterling S M., Ducharne A, Polcher J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle [J]. *Nature Climate Change*, 2012, 3(4):385-390.
- [7] 周忠学,任志远. 陕北土地利用变化与经济发展耦合关系研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(7):58-61.
- [8] 孙丕苓,许月卿,王数. 环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(14):277-288.
- [8] 张静,任志远. 秦巴山区土地利用时空格局及地形梯度效应[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(14):250-257.
- [9] 李京京,吕哲敏,石小平,等. 基于地形梯度的汾河流域土地利用时空变化分析[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(7):230-236.
- [10] 吴见,王帅帅,谭靖. 基于安徽省土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(2):239-248.
- [11] 叶庆华,刘高焕,田国良,等. 黄河三角洲土地利用时空复合变化图谱分析[J]. *中国科学:地球科学*, 2004, 34(5):461-474.
- [12] 常雄凯,刘森,李春林,等. 辽宁沿海土地利用变化的图谱特征[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(12):3459-3465.
- [13] 吕晓,史洋洋,黄贤金,等. 江苏省土地利用变化的图谱特征[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(4):1077-1084.
- [14] 王金亮,邵景安,李阳兵. 近 20 a 三峡库区农林地利用变化图谱特征分析[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(2):235-247.
- [15] 龚文峰,袁力,范文义. 基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(2):250-259.
- [16] 薄广涛,牛志君,郭义强,等. 冀西北间山盆地地区土地利用变化地形梯度效应[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(1):1-6.
- [17] 陈楠,杨武年,李娟. 巴中市丘陵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.
- [18] 庄逐舟,黄秋昊,石云. 黄土丘陵区土地利用变化与地形梯度关系研究[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(4):331-337.
- [19] 喻红,曾辉,江子瀛. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究[J]. *地理科学*, 2001, 21(1):64-69.
- [20] 郭洪峰,许月卿,吴艳芳. 基于地形梯度的土地利用格局与时空变化分析:以北京市平谷区为例[J]. *经济地理*, 2013, 33(1):160-166, 186.

~~~~~

(上接第 236 页)

- [13] Malmir M, Zarkesh M M K, Monavari S M, et al. Analysis of land suitability for urban development in Ahwaz County in southwestern Iran using fuzzy logic and analytic network process (ANP) [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, 188(8):1-23.
- [14] 王如松,欧阳志云. 社会—经济—自然复合生态系统与可持续发展[J]. *中国科学院院刊*, 2012, 27(3):337-345.
- [15] Saaty T. The analytic network process: decision making with dependence and feedback. [J]. *International*, 2001, 95(2):129-157.
- [16] Gong Q Y, Tan X G, Zhong X L. Analytic network process in urban green space optimization[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2008, 21(4):10-85.
- [17] Aminu M, Matori A N, Yusof K W, et al. Application of geographic information system(GIS)and analytic network process(ANP)for sustainable tourism planning in Cameron Highlands, Malaysia [J]. *Applied Mechanics & Materials*, 2016, 567:769-774.
- [18] 黎孔清,陈银蓉,陈家荣. 基于 ANP 的城市土地低碳集约利用评价模型研究:以南京市为例[J]. *经济地理*, 2013, 33(2):156-161.
- [19] Zhang X, Wu Y, Shen L. An evaluation framework for the sustainability of urban land use: A study of capital cities and municipalities in China[J]. *Habitat International*, 2011, 35(1):141-149.
- [20] Jayant A. An application of analytic network process (ANP) to evaluate green supply chain management strategies: A case study[R]// *Matec Web of Conferences*, 2016.
- [21] 王莲芬. 网络分析法(ANP)的理论与算法[J]. *系统工程理论与实践*, 2001, 21(3):44-50.
- [22] Saaty T L. Decision making with dependence and feedback: The analytic network process[J]. *International*, 1996, 95(2):129-157.