

滇池流域土地利用格局变化的地形梯度效应

王启名^{1,2}, 杨昆^{2,3}, 许泉立^{1,2}, 高蓉⁴

(1. 云南师范大学 旅游与地理科学学院, 云南 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, 云南 昆明 650500; 3. 云南师范大学 信息学院, 云南 昆明 650500; 4. 东北师范大学 商学院, 吉林 长春 130000)

摘要: [目的] 分析滇池流域的土地利用变化的总趋势和地形梯度格局及影响因素, 为土地利用模式的优化配置和土地资源的可持续发展提供依据。[方法] 采用土地利用幅度和动态度分析了土地利用变化的总趋势, 从地形因子(地形起伏度、坡度、坡向、地形位)角度用地形分布指数法分析了土地利用的地形梯度格局, 用定性分析法分析了地形梯度效应的影响因素。[结果] (1) 2000—2014 年研究区土地利用类型以耕地、林地、草地和建设用地为主, 建设用地增速最快, 草地减速最快。(2) 土地利用在不同地形梯度上有明显的层次分布格局和变化趋势。随着地形梯度的升高, 水域、耕地和建设用、草地和未利用地、林地的优势分布区逐渐升高, 分别在最低、低和中低、中低、中高和高地形梯度上占绝对优势; 水域、耕地和建设用(除后两者最低一级梯度)分布指数随之减少, 草地和未利用地分布指数变化不明显, 林地分布指数则不断增加。(3) 土地利用格局变化的地形梯度效应受基础的地形因素、起推动的社会经济因素和宏观调控的政策因素的共同影响。[结论] 滇池流域土地利用地形梯度格局变化明显, 并受地形、社会经济和政策因素共同影响。

关键词: 土地利用; 滇池流域; 地形分级; 分布指数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)04-0106-08

中图分类号: F301.2

文献参数: 王启名, 杨昆, 许泉立, 等. 滇池流域土地利用格局变化的地形梯度效应[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4):106-113. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.018; Wang Qiming, Yang Kun, Xu Quanli, et al. Terrain gradient effect of land use pattern change in Dianchi watershed[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4):106-113. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.018

Terrain Gradient Effect of Land Use Pattern Change in Dianchi Watershed

WANG Qiming^{1,2}, YANG Kun^{2,3}, XU Quanli^{1,2}, GAO Rong⁴

(1. School of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China; 2. Western Resources Environment Geographic Information Technology Engineering Research Center of the Ministry of Education, Kunming, Yunnan 650500, China; 3. School of Information, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China; 4. School of Business, Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130000, China)

Abstract: [Objective] General trend and terrain gradient distribution pattern and the influence factors of land use change in Dianchi watershed were analyzed to provide the optimal allocation of land use pattern and the reference for the sustainable development of land resources. [Methods] We used range and dynamic degree of land use to analyze the general trend of land use change. The terrain distribution index method with respect to the terrain factors(landform relief, slope, aspect, terrain niche) was analyzed. Influence factors of the terrain gradient effect were analyzed by qualitative analysis method. [Results] (1) The main land use types of the study region from 2000 to 2014 were cultivated land, forest land, grassland and construction land, among which, grassland had obviously decreased and construction land obviously increased. (2) The pattern of land use type in different terrain gradient has obvious level distribution and change trend. With the increase of

收稿日期: 2017-04-09

修回日期: 2017-04-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“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)

第一作者: 王启名(1988—), 男(汉族), 陕西省蒲城县人, 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.

通讯作者: 杨昆(1963—), 男(汉族), 云南省曲靖市人, 硕士, 教授, 博士生导师, 主要从事地理信息系统及应用研究。E-mail: kmdecynu@163.com.

topographic gradient, the proportional coverage by water area, cultivated land and construction land, grassland and unused land, woodland gradually increased. These land use types preponderated at lowest, low and mid-low, mid-low, mid-high and high terrain gradients, respectively. With the increase of topographic gradient, the distribution index of water area, cultivated land and construction land(except the lowest level gradient of cultivated land and construction) declined, the distribution index of grassland and unused land didn't change obviously, the distribution index of forest distribution increased. (3) Terrain gradient effect of land use pattern change is mutually influenced by basic terrain factors, promoted social and economic factors and control policy factors of macroeconomic regulation. [Conclusion] The terrain gradient distribution pattern of land use in Dianchi watershed changed distinctly and was affected by terrain, social economy and policy.

Keywords: land use; Dianchi watershed; terrain classification; distribution index

土地利用/覆被变化(land use/cover change, LUCC)是地球表面一个最明显的景观格局变化特征,已成为全球气候变化、生态环境变化和可持续发展的核心研究命题之一^[1-5],而土地利用格局变化反映了自然环境和人类活动以不同程度和速度在地球表面的作用,因此土地利用格局变化也成为土地利用/覆被变化研究的重要内容^[6]。地形因素是影响土地利用变化格局的基本地理要素^[7],地形的变化会引起不同地形梯度上的土地利用格局水热组合和能量收支平衡,从而引起土地利用的结构和功能在土地利用方式和程度上的差异,形成土地利用变化的地形格局差异,也促使 LUCC 的变化备受关注。近几年,在地形梯度上的土地利用格局变化也在备受相关学者的关注^[8-13]。但更多进行高度、地形位上的土地利用空间格局变化分析,而对地形起伏度、坡度和坡向上的土地利用空间格局变化分析较少^[8]。滇池流域位于云南省中东部,该地区地形起伏较大,从滇池向四周海拔不断升高,分别为盆地区、丘陵区、山地区,使得土地利用类型在不同地形梯度上的利用方式和用途分布不同,并且在不同的海拔、坡度、坡向及地形位上表现不同的土地利用变化分布格局。近年来,由于人类活动超越了地形梯度约束下的土地利用类型的变化,引起城镇的剧烈扩张、农业和生态结构的调整,导致土地利用的方式和方向发生很大的转变,使得环滇池区生态环境变得脆弱,对人类的生存和发展带来了影响。目前,没有关于滇池流域土地利用格局的地形梯度方面的研究,因此,本文从地形起伏度、坡度、坡向、地形位 4 个宏观地形因子,综合研究滇池流域的土地利用空间格局在地形梯度上的时空变化,期为土地资源提供合理利用方式并提高利用效率、为相关部门的合理规划和布局提供理论依据。

1 研究区概况

滇池流域地处云南省中东部,包括昆明市的中部的 5 区(五华区、盘龙区、官渡区、西山区和呈贡区)、

北部的 3 县(寻甸回族彝族自治县、富民县和嵩明县)和南部的晋宁县 9 个县级区县,地形地貌变化趋势明显,地形沿滇池向周围不断升高,地貌沿滇池由近及远呈现为盆地、丘陵和山地,其总面积占云南省 0.75%,但却是云南省人口最稠密、城镇化程度最高和经济最发达的地区,使得滇池流域内土地利用格局在地形梯度上发生了很大的改变,使得土地利用各个方面的承受力严重超出了自身的使用程度和方式。所以本文研究滇池流域土地利用格局变化的地形梯度效应分析,目的是促进土地资源的可持续利用、土地利用格局的协调和经济的生态适宜发展。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源与处理

本文选取土地利用数据来源于中国地理空间数据云的 Landsat 遥感影像,以 2000,2005,2009 年的 Landsat TM 和 2014 年 Landsat 8 OLI 为数据源,运用 ENVI 5.1 对以上 4 期遥感数据进行几何校正、图像融合、流域边界裁剪,得到滇池流域的遥感影像,按照 1 调和过渡时期的土地利用现状分类指标标准和滇池流域的地域特点,将土地利用分为耕地、林地、草地、建设用地、水域和未利用地,采用监督分类和目视解译相结合的方法,以 Google Earth 影像为辅助,将研究区土地利用进行分类,对以上 4 期的遥感影像进行精度检验,总解译精度分别为 86.23%,86.88%,87.78%和 91.92%,kappa 系数分别为 0.78,0.81,0.83,0.85,均达到研究需要。并将分类的 4 期遥感影像分别保存为栅格格式,并且栅格单元大小统一为 30 m×30 m。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用动态度 土地资源变化快慢程度可以用土地利用动态度进行度量。土地利用动态度表示研究区在起止时间段某种土地利用类型数量变化多少^[19]。其表达式为:

$$V = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: V ——土地利用的动态度; U_a, U_b ——研究区初末期某种土地利用类型的面积; T ——土地利用变化的起止时间段,若 T 为年,则 V 表示某种土地利用的年变化速度。

2.2.2 地形梯度等级的划分 根据地形的起伏变化情况,选取地形起伏度、坡度、坡向和地形位 4 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空间格局的分布和影响。

地形起伏度表征地形起伏差别的宏观地形特征,是研究区域内最大海拔高度值减去最低海拔高度值,利用 ArcGIS 软件中的空间分析—邻域分析—焦点统计工具进行计算,根据均值变点分析法^[14]确定矩形领域高度和宽度 10×10 像元为最佳地形起伏度计算单元,生成的地形起伏度示意图如图 1 所示。坡度

是指高程在水平表面的变化率,反映了地形陡缓程度的特征,利用 ArcGIS 软件中的空间分析—表面分析—坡度工具进行计算,生成的坡度示意图见图 1。而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 软件中的空间分析—表面分析—坡向工具进行计算,生成的坡向示意图见图 1。地形位表征了高程和坡度结合的综和地形因素对土地利用格局的分布和影响,利用公式^[7-8,15-16](1)进行计算,生成的地形位示意图(图 1)。公式(2)如下:

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

式中: T_n ——地形位指数; E, \bar{E} ——研究区域中任意一点的高程值和领域周围平均高程值; S, \bar{S} ——研究区域中任意一点的坡度值和领域周围平均坡度值。随着高程值和坡度的增加,地形位指数也随之升高;反之亦然。

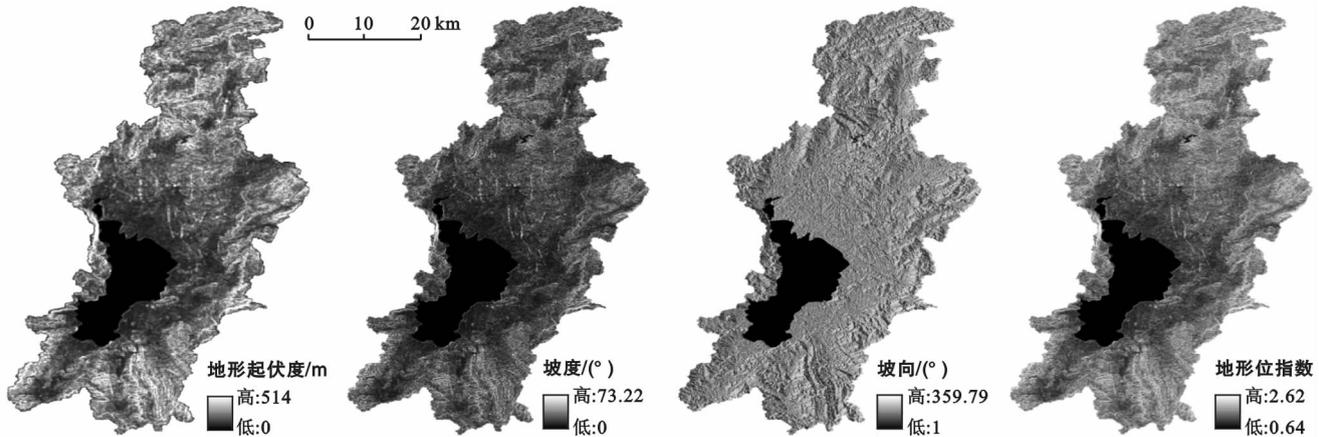


图 1 研究区地形起伏度、坡度变率、坡向和地形位示意

对地形因子进行分级,利用地形梯度的明显变点来进行各级别临界值的划分,能达到很好地分类效果。采用自然间断点分级法进行划分能够使各级别中的变异总和达到最小,使突变点更明显,运用突变点进行划分,因为对于地形起伏度没有很优的划分方法,故采用自然间断点分级法。根据土壤侵蚀在不同坡度影响程度,将坡度分为 $0^\circ \sim 3^\circ, 3^\circ \sim 8^\circ, 8^\circ \sim 15^\circ, 15^\circ \sim 25^\circ, 25^\circ \sim 35^\circ, >35^\circ$ 。坡向根据地形接受太阳辐射方向不同分为 5 种级别,以 0° 为东顺时针递增直至 360° ,即平坡(-1°)、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 $315^\circ \sim 359.79^\circ$)。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。

2.2.3 地形分布指数效应 采用分布指数(distribution index, DI)分析土地利用类型在不同地形梯度上的概率分布特征情况,因为 DI 是一个无量纲化的单位^[15,17],可以消除地形梯度间和土地利用类型间的面积差异的影响,其公式为^[7-8,11,18]:

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

式中: DI——地形分布指数; j ——地形因子梯度; i ——土地利用类型; T_i ——第 i 种土地利用类型的总面积; T_{ij} ——第 i 种土地利用类型在第 j 地形梯度上的总面积; T_j ——第 j 地形梯度上的总面积; TA——研究区的总面积。当 $DI > 1$,表示该种土地利用类型在某个地形梯度上呈优势分布的特征,DI 值越高,优势度越明显;反之, $DI < 1$,表示该种土地利用类型在某个地形梯度上呈现劣势分布,DI 值越小,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分析

滇池流域 2000—2014 年土地利用类型结构面积和比例差异明显(表 1)。2000—2014 年 4 个时期中,耕地、林地、草地和建设用地的主要的土地利用类型,占总流域的 87%左右,水域和未利用地仅占总流域的 13%左右,土地利用结构主要是耕地和草地面积减少,而林地和建设用地面积增加,水域和未利用基本保持不变。从 2000 年以耕地、林地和草地为主(占总流域 76.55%)的土地利用类型,到 2014 年转换为耕地、林地和建设用地为主(占总流域 77.18%),耕地和草地占总流域比例不断减少,分别减少了 13.55%和 23.48%,而建设用地和林地所占比例不断增加,分别增加了 17.75%和 17.66%,上述变化由于滇池流域 2000 年严格实施“退耕还林”政策,加强了生态用地的保护并且 2006 年以后西部大开发政策及西南门户的大开放促进了昆明市经济发展,使建设用地不断扩张,这些变化促使土地利用模式发生明显

的变化。根据公式(1)计算 2000—2014 年 3 个时期的土地利用变化速度和总体变化速度,从表 1 可以看出,建设用地和林地总的变化速度增加,分别为 12.15%和 6.16%,而其他土地利用变化速度均不同程度地减少,其中草地和耕地减少速度最快,分别为 5.30%和 3.96%。在 3 个时期的变化速度中,其中速度增加方面,林地由快到慢,建设用地一直增长很快;而速度减少方面,耕地在 2009—2014 年减速很快,高达 9.21%,草地先减少很快后趋于缓慢,而水域先缓慢减少后微微增加,未利用地先缓慢增加后减少加快。造成以上变化主要是由于前期退耕还林政策的不断推进、城镇化及其经济的发展推动导致耕地、林地、草地和建设用地的速度发生明显变化,政府同时也重视未利用地开垦利用,在此期间在晋宁县建酸水塘水库、西山区建明朗水库进行蓄水以应对异常干旱情况使水域增加。土地利用的结构变化,反映了土地利用整体变化的最终状况,但对土地利用结构在地形格局上变化难以判断,须从地形梯度的层次角度分析土地利用结构的空格局变化特征。

表 1 研究区 2000—2014 年土地利用结构和速度变化分析

土地利用类型	2000 年		2005 年		2009 年		2014 年	
	面积/km ²	百分比/%						
耕地	725	24.41	645	21.72	598	20.12	323	10.86
林地	608	20.48	887	29.87	1 104	37.17	1 133	38.14
草地	940	31.66	560	18.86	236	7.96	243	8.18
建设用地	310	10.43	423	14.25	584	19.67	836	28.18
水域	310	10.43	309	10.41	301	10.12	301	10.13
未利用地	77	2.59	80	2.69	82	2.76	69	2.33

土地利用类型	变化速度/%			
	2000—2005 年	2005—2009 年	2009—2014 年	2000—2014 年
耕地	-2.21	-1.84	-9.21	-3.96
林地	9.17	6.11	0.52	6.16
草地	-8.09	-14.45	0.55	-5.30
建设用地	7.34	9.51	8.63	12.15
水域	-0.04	-0.68	0.02	-0.20
未利用地	0.79	0.60	-3.07	-0.71

3.2 土地利用结构的地形梯度效应

3.2.1 土地利用结构的地形起伏度梯度差异 滇池流域土地利用结构在不同的地形起伏度上梯度变化差异明显(表 2)。土地利用类型(除水域)比例集中在地形起伏度 >19~108 m,而水域则集中在 0~19 m。水域分布指数在地形起伏度 0~19 m 占绝对优势,水域主要分布在低海拔区域;耕地和建设用地分布指数在地形起伏度 >19~77 m 具有优势,这个区

域是人类活动最频繁的区域,对耕地和建设用地的开发程度较高;林地在地形起伏度在 >50~514 具有优势分布且优势度向低地形起伏度范围扩展,由于中低区域被耕地和建设用地所占迫使林地分布在较高地形起伏度区域;草地和未利用地对地形起伏度的选择性较强,草地的优势分布幅度缩小并转向低梯度,地形起伏度从 2000 年的 >50~514 m 变为 2014 年的 >19~77 m,未利用地的优势分布幅度增加并转向高

梯度,地形起伏度从 2000 年的 $>19\sim 77$ m 变为 2014 年 $>50\sim 514$ m,近年来人们不断重视居住地生态环境建设并加大对中低地形起伏度未垦荒地的开发。

在 $>77\sim 514$ m 地形起伏度等级上,各土地利用类型(除耕地)所占比例随着地形起伏度的增加而不断减少,耕地、建设用地、草地和未利用地所占比例集中在 $>19\sim 77$ m 地形起伏度等级,水域和林地所占比例则集中在 $0\sim 19$ m 和 $>50\sim 150$ m 地形起伏度等级。2014 年与 2000 年相比,林地和草地所占比例在 $0\sim 77$ m 梯度增加,在 $>77\sim 514$ m 梯度减少,说

明退耕还林还草政策初见成效,人们也不断重视生态环境保护地环境;建设用地所占比例在 $0\sim 50$ m 梯度增加,在 $>50\sim 514$ m 梯度间减少,由于经济的发展和人口的增加促使居民地和工矿用地不断扩展;未利用地所占比例在 $0\sim 77$ m 梯度增加,在 $>77\sim 514$ m 梯度减少,人们在低地形起伏度对土地资源的需求增加从而不断开垦利用荒地;耕地所占比例在 $0\sim 50$ m 梯度减少,在 $>50\sim 514$ m 梯度增加,耕地在中低地形起伏度被建设用地所占迫使其向更高地形起伏度扩展。

表 2 研究区 2000—2014 年土地利用类型的地形起伏度梯度差异

地形起伏度 分级/m	不同土地类型分布指数											
	耕地		林地		草地		建设用地		水域		未利用地	
	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014
0~19	0.07	0.07	0.00	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	8.71	8.61	0.02	0.01
>19~50	1.77	1.49	0.19	0.39	0.85	1.54	1.89	1.98	0.22	0.30	1.70	0.74
>50~77	1.07	1.17	0.92	1.04	1.23	1.33	1.16	1.11	0.12	0.10	1.45	1.37
>77~108	0.70	0.85	1.77	1.63	1.26	0.72	0.52	0.50	0.06	0.05	0.52	1.30
>108~150	0.48	0.60	2.33	1.92	1.17	0.41	0.33	0.26	0.02	0.02	0.15	1.09
>150~514	0.33	0.54	2.54	2.02	1.20	0.35	0.23	0.15	0.02	0.01	0.04	1.09

地形起伏度 分级/m	不同土地类型面积比例/%											
	耕地		林地		草地		建设用地		水域		未利用地	
	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014
0~19	0.76	0.73	0.01	0.07	0.3	0.42	0.49	0.7	88.9	87.8	0.16	0.07
>19~50	49.5	41.5	5.39	10.8	23.8	43	52.8	55.3	6.25	8.27	47.6	20.7
>50~77	29.1	32	25.1	28.5	33.6	36.2	31.7	30.3	3.3	2.63	39.7	37.7
>77~108	14.4	17.7	36.7	33.8	26.1	14.8	10.7	10.4	1.28	0.99	10.9	26.8
>108~150	5.36	6.67	26	21.4	13	4.56	3.69	2.94	0.23	0.25	1.61	12.2
>150~514	0.88	1.46	6.89	5.47	3.24	0.95	0.63	0.41	0.04	0.04	0.12	2.96

3.2.2 土地利用结构的坡度梯度差异 滇池流域土地利用结构在不同的坡度上梯度变化差异明显(表 3)。土地利用结构比例集中在坡度梯度 $0^\circ\sim 25^\circ$ 之间。水域分布指数在 $0^\circ\sim 5^\circ$ 坡度等级上具有绝对优势,坡度对水域具有严格的限制性;耕地和建设用地分布指数在 $>5^\circ\sim 15^\circ$ 坡度等级上具有优势,因为在坡度较小的梯度上,适合农作物的生长和耕种、人类的生产生活;林地分布指数在 $>25^\circ$ 坡度等级上具有优势,因为低坡度区被耕地、建设用地和水域所占,使林地向高坡度梯度上发展;草地和未利用地对坡度的选择性很弱,草地的优势分布幅度减少并转向低梯度,从 2000 年的 $>5^\circ$ 坡度等级减少为 2014 年的 $>5^\circ\sim 15^\circ$ 坡度等级,而未利用地的优势分布幅度增加并转向高梯度,从 2000 年的 $>5^\circ\sim 15^\circ$ 坡度等级扩大为 2014 年的 $>5^\circ$ 坡度等级,说明人类对生态保护区和山地的开发利用程度不断加大。

随着坡度的增加,各土地利用结构(除水域)所占

比例以 $8^\circ\sim 15^\circ$ 为分界先增加后减少,耕地、草地、建设用地和未利用地所占比例集中在 $0^\circ\sim 25^\circ$ 坡度等级上,水域和林地所占比例则集中在 $0^\circ\sim 5^\circ$ 和 $>8^\circ\sim 35^\circ$ 坡度等级上。

2014 与 2000 年相比,在 $0\sim 15^\circ$ 坡度等级上,2014 年耕地和未利用地所占比例和分布指数均减少,而林地、草地、建设用地所占比例和分布指数均增加,主要是由于社会经济发展和人口的壓力对缓坡土地资源需求增长,使得耕地和未利用地减少,建设用地增加,同时人们更注重居住地生态保护,林地和草地则不断增长;在 $15^\circ\sim 35^\circ$ 坡度等级上,2014 年耕地和未利用地所占比例和分布指数均增加,而林地、草地、建设用地所占比例和分布指数均减少,由于缓坡建成地的扩张使耕地不断向陡坡发展,陡坡耕地增加,侵占林地和草地,水土保持下降使得未利用地增加,同时陡坡不适宜人类的居住,生态移民使得陡坡度上建设用地减少。

表 3 研究区 2000—2014 年土地利用类型的坡度梯度差异

坡度分级/ (°)	不同土地类型分布指数											
	耕地		林地		草地		建设用地		水域		未利用土地	
	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014
0—5	0.87	0.78	0.27	0.35	0.52	0.75	0.86	0.91	4.35	4.33	0.80	0.47
>5—8	1.47	1.35	0.62	0.75	1.02	1.39	1.45	1.55	0.08	0.11	1.49	0.99
>8—15	1.20	1.19	0.91	0.99	1.13	1.26	1.23	1.24	0.07	0.08	1.33	1.16
>15—25	0.82	0.92	1.49	1.40	1.19	0.91	0.81	0.76	0.07	0.07	0.82	1.23
>25—35	0.57	0.68	2.02	1.72	1.15	0.55	0.54	0.43	0.08	0.07	0.37	1.12
>35	0.45	0.60	2.21	1.83	1.15	0.42	0.48	0.32	0.08	0.08	0.16	1.07

坡度分级/ (°)	不同土地类型面积比例/%											
	耕地		林地		草地		建设用地		水域		未利用土地	
	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014
0—5	18.83	16.88	5.86	7.64	11.24	13.2	18.51	19.63	94.18	93.59	17.27	10.19
>5—8	20.04	18.38	8.43	10.19	13.93	18.9	19.79	21.08	1.05	1.45	20.24	13.53
>8—15	35.51	35.22	26.94	29.15	33.26	37.2	36.26	36.55	2.19	2.44	39.16	34.26
>15—25	19.78	22.15	35.83	33.62	28.74	21.9	19.54	18.18	1.72	1.67	19.77	29.68
>25—35	4.92	5.88	17.44	14.85	9.95	4.74	4.70	3.75	0.67	0.65	3.17	9.68
>35	1.12	1.50	5.50	4.55	2.87	1.05	1.20	0.81	0.19	0.20	0.39	2.67

3.2.3 土地利用结构的坡向梯度差异 滇池流域土地利用结构在不同的坡向上梯度变化差异明显(表 4)。在平坡等级上,水域所占比例和分布指数具有绝对优势,而其他土地利用结构所占比例和分布指数完全不具优势;在其他坡向等级上,水域所占比例和分布指数完全不具优势,而其他土地利用结构所占比例在各个等级上比例基本相同,分布指数也具有优势。这说明水域主要分布在平坡,而其他地类坡向分布均

衡。2014 与 2000 年相比,水域在各个坡向上所占比例均增加;耕地、林地和建设用地在阳坡和半阳坡上所占比例增加,而在半阴坡和阴坡所占比例减少;草地和未利用地在半阴坡和阴坡上所占比例增加,而在阳坡和半阳坡减少。由于水库的建设使水域逐渐增加,耕地、林地和居民地对光照时间和光照强度的趋向性较强,使得耕地、林地和建设用地在阳坡和半阳坡上增加,而草地和未利用地对太阳辐射的选择性不强。

表 4 研究区 2000—2014 年土地利用类型的坡向梯度差异

坡向 分级	不同土地类型分布指数											
	耕地		林地		草地		建设用地		水域		未利用土地	
	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014
平坡	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.09	0.07	8.95	8.95	0.05	0.04
阳坡	1.15	1.22	0.88	1.02	1.22	1.22	1.11	1.17	0.08	0.09	1.24	1.23
半阳坡	1.17	1.21	1.07	1.1	1.09	1.04	1.13	1.14	0.07	0.09	1.05	0.92
半阴坡	1.05	1.01	1.13	1.12	1.13	1.16	1.13	1.09	0.09	0.1	1.14	1.28
阴坡	1.07	1.01	1.37	1.21	1	1.02	1.04	1.03	0.08	0.09	1	1

坡向 分级	不同土地类型面积比例/%											
	耕地		林地		草地		建设用地		水域		未利用土地	
	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014
平坡	0.63	0.54	0.37	0.42	0.47	0.55	0.96	0.68	93	99.9	0.54	0.41
阳坡	25.6	27.2	19.7	22.7	27.1	27.1	24.8	26	1.68	1.96	27.6	27.3
半阳坡	25.9	26.6	23.6	24.2	24	22.9	24.9	25.1	1.59	1.88	23.2	20.2
半阴坡	24.9	23.8	26.8	26.6	26.9	27.5	26.8	25.9	2.03	2.31	27.1	39.5
阴坡	23.1	21.8	29.6	26.1	21.6	22	22.6	22.4	1.72	1.94	21.5	21.6

3.2.4 土地利用结构的地形位梯度差异 地形位能很好体现高程和坡度组合的中间状态下概率分布状态不明显问题,因此,不同等级地形位梯度可以明显

反映土地利用类型分布差异特征。从图 2 可以看出,2000—2014 年,耕地、林地、建设用地和草地在不同地形梯度上地形位指数分布趋势基本不变,而草地和

未利用地则变化较大。

耕地、建设用地分布指数随地形位梯度等级的增加而减少(从 2 级地形位起),其优势分布指数在 2~7 级的低、中低和中高地形位上,主要是因为耕地和建设用地受海拔和坡度的共同约束较强;林地分布指数随地形位梯度的增加不断增加,其优势分布区在 >7 级中高和高地形位上,说明林地对地形的适应性很强;水域分布指数随地形位梯度的增加不断减少,且 1~2 级梯度减少最为明显,其优势度在 1 级地形梯度占绝对优势,说明水域主要分布在自然条件好的平缓区域并且受地形的严格限制;草地和未利用地分布指数随地形位梯度变化趋势不明显,草地优势度指数

幅度减少并向低地形位梯度转移,而未利用地优势度指数幅度增加并向高地形位梯度转移,说明草地和未利用地对地形的适宜性较强。2014 与 2000 年相比较,在 ≤ 6 级梯度时,耕地、未利用地分布指数减少,而林地、草地和建设用地分布指数增加;在 > 6 级梯度时,耕地、未利用地分布指数增加,而林地、草地和建设用地分布指数减少。在低和中低地形梯度上,人口的增加和经济的发展对建成地的需求不断增加,大量荒地开垦,耕地不断被侵占,使耕地向着更高地形梯度扩展,耕地的适应性被拉大,同时人们也不断注重生态环境建设,不断保护生态用地,使草地和林地不断增加。

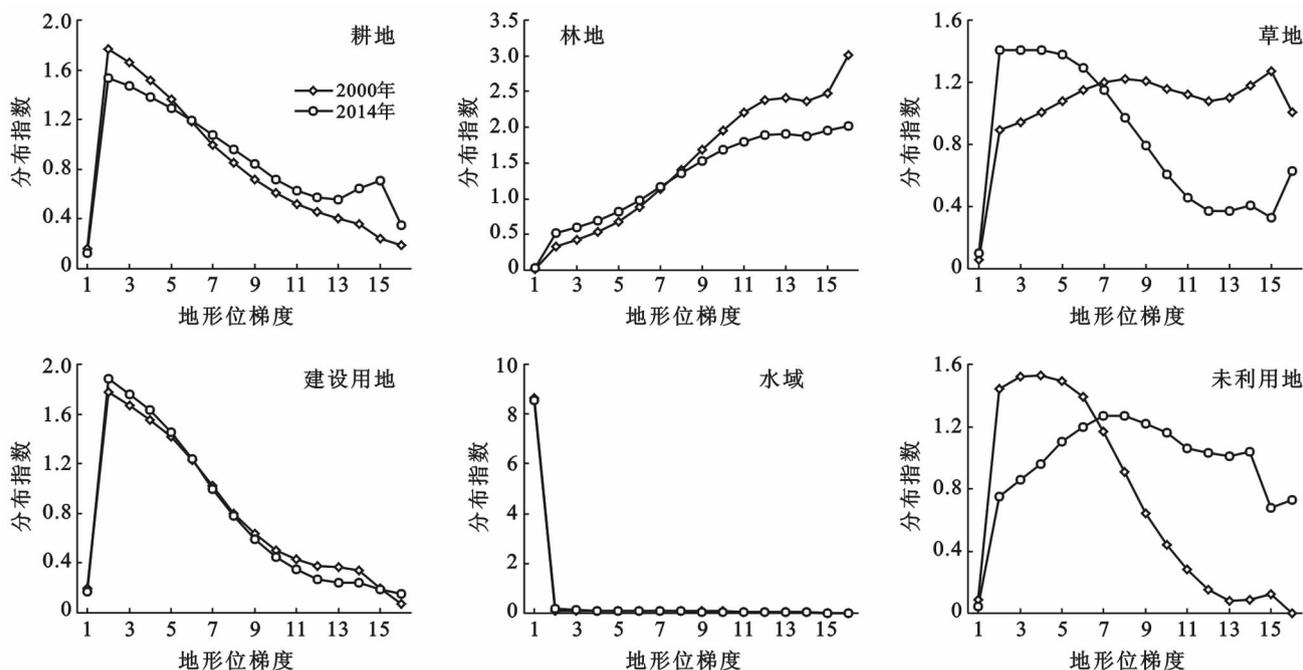


图 2 研究区 2000—2014 年土地利用类型在地形位梯度上的分布指数差异

4 讨论

研究区的土地利用在地形梯度上的分布差异和所占比例特征明显,这与滇池流域的实际地形地貌、气候等自然因素和人口增长、社会经济发展、城镇扩张等人为因素有密切的关系。从自然因素来看,地形起伏度、坡度、坡向和地形位等地形因素在垂直梯度上影响着不同地形上水热组合并且制约人类的活动。研究区土地利用类型面积主要分布在地形起 $> 19 \sim 108$ m、坡度梯度 $0 \sim 25^\circ$ 区间内,分别占总面积的 87.6% 和 89.65%,这个区段对土地利用空间分布起到了关键作用。由于地形因素制约了人类耕种、城镇扩张和工矿用地建设等人类生产生活活动,致使建设用地和耕地对地形梯度的选择性较强,使建设用地和

耕地的分布优势集中在地形起伏度较小、缓坡、低和中低地形梯度上,随着地形梯度(2 级起)的增加耕地和建设用地的分布指数呈减少趋势。林地分布优势主要在地形起伏度高、坡度大、中高和高地形位梯度上,主要由于低地形梯度被耕地和建设用地所占所致。水域分布指数在低地形梯度上占绝对优势,这就决定了水域对地形梯度有严格的选择性。草地和未利用地分布指数在中低地形梯度上具有优势,但优势分范围不断向上下梯度延伸,表明草地和未利用地对地形的适应性很强。从以上分析表明地形因素是研究区土地利用空间格局分布和变化的基础因素。

从社会经济因素来看,随着人类的社会经济活动在低地形梯度上的强度和速度不断增加,工矿、居民点和交通用地等建设用地需求不断增加,导致耕地向

建设用地转化,使建设用地优势分布在低和中低地形上的增加,致使耕地在较高地形上分布指数值提高。人类在低、中低地形上开发未利用地使其优势分布范围不断减少。人类对旅游资源的开发也使中高地形梯度林地优势分布值减少。从政策因素看,由于滇池流域低地形梯度的优质土地资源少,昆明市政府因地制宜,在较高海拔和坡度上调整农业生产结构,合理种植一些经果林,促使生态和经济双赢。社会经济因素和政策因素是土地利用变化的地形梯度效应的推动和宏观调控作用。

本文从地形因子(地形起伏度、坡度变率、坡向和地形位指数)分析了土地利用空间格局的地形梯度效应。总体上看,各个地形因子从某种程度上能够反映土地利用的空间分布,但地形位因子更能综合和明显地反映土地利用的空间分布规律,并能够避免单一地形因子对土地利用空间格局分布的偏离,这与李京京等^[9]、吴见等^[10]、陈楠等^[16]和高彦净等^[20]的研究结论基本相符。

5 结论

(1) 2000—2014 年研究区土地利用类型以耕地、林地、草地和建设用地为主,2000 年的耕地、林地和草地为主转换为 2014 年的耕地、林地和建设用地,建设用地增速最快,草地减速最快。

(2) 2000—2014 年研究区土地利用类型分布指数在不同地形梯度上呈现不同的层次格局和分布趋势。水域在低地形梯度上选择性和分布指数占绝对优势,其分布指数随着地形位梯度的增加而减少;耕地和建设用地在低、中低地形梯度上选择性强且分布优势明显,其分布指数随着地形梯度的增加而减少;草地和未利用地在中低梯度上具有分布优势,但在整个地形梯度上具有很强适应性,其分布指数趋势不明显;林地在中高、高地形梯度上选择性强、分布优势明显,其分布指数随着地形梯度的增加而增加。

(3) 研究区土地利用格局变化的地形梯度效应受自然因素、社会经济因素和政策因素的共同影响。其中自然因素是土地利用格局变化形成的基础,而社会经济因素和政策因素起推动作用和宏观政策调控作用。

本文通过土地利用变化的幅度、速度和地形分布指数的分析得出研究区 2000—2014 年土地利用变化的总体情况和地形梯度格局及变化。研究区土地利用总体结构分布基本合理,但建设用地不合理扩张导致草地和耕地减少加快,不利于土地资源系统的动态平衡发展,应根据土地利用类型在不同地形梯度分

布优势,来调整土地利用类型在空间上的合理分布,即在中高和高地形梯度上宜林地分布,在低和中低地形梯度上宜耕地和建设用地的分布,但低地形梯度人口集中和人类活动的加强促使建设用地加剧扩张导致耕地不断向中高地形位梯度扩展,而中高地形梯度坡耕地不断侵占林地分布,致使水土保持和地域生态环境受到影响。为了使土地利用分布格局更为合理和生态化,应充分利用考虑影响土地利用格局的自然和人为因素,平衡社会经济和生态环境发展。在低和中低地形区域,应划定基本农田保护区,提高农业生产效率,防止耕地被占,合理规划建成地,使建设用地有序高效发展;在中高和高地形区域,继续推进退耕还林政策,使中高地形增加的耕地转换为经果林,加大未利用地的植被覆盖率。综上,在进行土地利用规划与管理的过程中,应结合土地利用格局的地形梯度分布特征,进行科学规划和合理布局,以实现土地利用模式的优化配置和土地资源的可持续发展。

[参 考 文 献]

- [1] Basanta P, Zhang Yili, Li Shicheng, et al. Review of studies on land use and land cover change in Nepal[J]. *Journal of Mountain Science*, 2016,13(4):643-660.
- [2] Wu Kaiya, Ye Xinyue, Qi Zhifang, et al. Impacts of landuse/land cover change and socio-economic development on regional ecosystem services: The case of fast-growing Hang zhou metropolitan area[J]. *Cities*, 2013, 31(2):276-284.
- [3] Radoslava K, Miriam K, Jozef N, et al. Land-use and land-cover changes in rural areas during different political systems: A case study of Slovakia from 1782 to 2006 [J]. *Land Use Policy*, 2014,36(1):554-566.
- [4] Mooney H 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(9):3665-3672.
- [5] 李名勇,晏路明,王丽丽,等. 基于高程约束的区域 LUCC 及其生态效应研究:以福州市为例[J]. *地理科学*, 2013,33(1):75-82.
- [6] 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.
- [7] 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.

4 结论

(1) 不同林地类型枯落物各层的现存量均存在较大的差异,其范围在 5.75~1 313.70 t/hm²。乔木林样地的枯落物厚度及现存量均比灌木林的大,同时天然林大于人工林。

(2) 5 种森林群落枯落物的最大持水量有所不同,其大小顺序与枯落物总储量排序一致,表明枯落物最大持水量与其蓄积量密切相关。枯落物最大持水量、最大持水率及有效拦蓄量最大的是赤杨林,分别为 221.4 mm,3.52%,292.6 mm。

(3) 枯落物厚度对表层土壤是有显著的影响,赤杨样地的土壤含水率为最高。4 个灌木林样地的土壤含水率为很低,而 6 个乔木林样地的很高。不同林分类型的天然林下的表层土壤的含水率高于人工林。

[参 考 文 献]

- [1] Kelliher F M, Lloyd J, Arneth A, et al. Evaporation from a central siberian pine forest[J]. Journal of Hydrology, 1998,205(3/4):279-296.
- [2] 刘春江,杨玉盛,马祥庆. 欧亚大陆地上森林凋落物的研究[J]. 林业研究,2003,14(1):27-34.
- [3] 周永文,黄文辉,陈红跃,等. 不同人工林分枯落物的土壤持水能力研究[J]. 生态环境,2003,12(4):449-451.
- [4] 张洪江,程金花,余新晓,等. 贡嘎山冷杉纯林枯落物含量及其持水特性[J]. 林业科学,2003,39(5):147-157.
- [5] 王佑民. 中国林地枯落物持水保土作用研究概况[J]. 水土保持学报,2000,14(4):110-115.
- [6] 申卫军,彭少麟,周国逸,等. 马占相思(*Acacia mangium*)与湿地松(*Pinus elliotii*)人工林枯枝落叶层的水文生态功能[J]. 生态学报,2001,21(5):846-850.
- [7] 卢洪健,李金涛,刘文杰. 西双版纳橡胶林枯落物的持水性能与截留特征[J]. 南京林业大学学报,2011,35(4):67-73.
- [8] 周祥,赵一鹤,张洪江,等. 云南高原典型林分林下枯落物持水特征研究[J]. 生态环境学报,2011,20(2):248-252.
- [9] 李良,翟洪波,姚凯,等. 不同林龄华北落叶松人工林枯落物储量及持水特性研究[J]. 中国水土保持,2010(3):32-46.
- [10] 张雷燕,刘常富,王彦辉,等. 宁夏六盘山南侧森林枯落物及土壤的水文生态功能研究[J]. 林业科学研究,2007,20(1):15-20.
- [11] 宋吉红. 重庆缙云山森林水文生态功能研究[D]. 北京:北京林业大学,2008.
- [12] 王卓,刘尚华. 鄂尔多斯退耕还林 6 种典型配置模式凋落物持水特性研究[J]. 内蒙古林业科技,2015,41(3):3-4.
- [13] 雷瑞德. 秦岭火地塘林区华山松林水源涵养功能的研究[J]. 西北林学院学报,1984(1):19-34.
- [14] 高人,周广柱. 辽宁东部山区几种主要森林植被类型枯枝落叶层持水性能研究[J]. 沈阳农业大学学报,2002,33(2):115-118.
- [15] 王士永,余新晓,贾国栋,等. 北京山区主要人工林枯落物水文效应[J]. 中国水土保持科学,2011,9(5):42-47.
- [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] 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.
- [12] 许宁,张广录,刘紫玉. 基于地形梯度的河北省太行山区土地利用时空变异研究[J]. 中国生态农业学报,2013,21(10):1284-1292.
- [13] 薄广涛,牛志君,郭义强,等. 冀西北间山盆地土地利用变化地形梯度效应[J]. 水土保持研究,2017,24(1):1-6.
- [14] 陈学兄,张小军,常庆瑞. 陕西省地形起伏度最佳计算单元研究[J]. 水土保持通报,2016,36(3):265-270.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展,1999,18(1):81-87.
- [20] 高彦净,巩杰,贾珍珍,等. 甘肃白龙江流域土地利用在地形梯度上的空间分布[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2014,60(5):680-686.

(上接第 113 页)