

昆明市中部城-郊-乡土地梯度带的划分及景观分异¹

何云玲, 张淑洁, 李同艳

(云南大学资源环境与地球科学学院, 云南昆明 650201)

【摘要】: 基于遥感影像, 分别采用监督分类、目视解译的方法获取昆明市土地利用数据, 并利用地理信息系统 (ArcGIS10.2) 和景观格局分析软件 (Fragstats4.2), 选用 4 个城市化指标, 并用 SPSS22.0 软件进行主成分分析 (PCA) 和多元线性回归分析, 构建城-郊-乡梯度模型, 对研究区域城-郊-乡土地梯度带划分及景观分异进行研究。结果表明: (1) 所选用的城市化物理指标和景观指标, 能够用于城市化水平基础上的城-郊-乡梯度划分; (2) 随着城-郊-乡梯度的变化, 城市化各指标值呈现逐渐减小的趋势, 城区的不透水下垫面面积比例 (80%左右)、道路网密度 (14km/km²左右)、景观形状指数、香农多样性指数均最高; (3) 昆明市各区内的城市化指数 UI 平均值表现为: 官渡区 > 五华区 > 西山区 > 盘龙区, 其中官渡区的变异系数最小, 五华区的变异系数最大; (4) 昆明市中部总体来说城市区域的发展较为集中, 郊区与城区的分界并不明显, 其主要原因可能是受地形因素的限制。

【关键词】: 城市化 城-郊-乡梯度 土地景观 遥感影像 地理信息系统

【中图分类号】: X24 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227 (2018) 09-2022-09

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201809013

城市化是人类社会发展的必然趋势和现代化的必经阶段, 1990 年世界上只有 10% 的人生活在城市, 到了 1980 年增加到 40%, 2000 年达到了 50%, 预计在 2025 年将要达到 66%^[1]。区域城市化扩展的过程, 实质是区域自然生态系统和农业生态系统向城市生态系统不断转化的过程^[2]。随着城市化进程不断加速, 对由农村土地利用方式转变为城市土地利用方式所形成的生态环境效应的研郭显得愈加重要^[3]。在城市化过程中, 导致城市景观结构发生剧烈变化; 同一时期内, 从城市中心区到郊区形成一个综合的环境梯度, 即城乡梯度^[4]。

梯度分析方法最早应用于植被生态学, 20 世纪 90 年代开始应用于研究城市的生态、结构和功能的变化; 很多学者通过沿着这条梯度检验生态系统特征可以分析城市化强度的差异对生态系统产生的影响^[5]。早期人们对城-郊-乡梯度的划分多是基于主观定义法^[6]、人口密度^[7]、距市中心城区距离^[8]、不透水下垫面比例^[9]和城市环线等单一因素来确定。但是城-郊-乡梯度应该是多个因子相互作用的结果, 因此越来越多的学者开始研究如何量化城-郊-乡梯度。例如 Hahs^[11] (2006) 首先分析了包括人口变量、物理变量、景观格局指数等 17 个指标, 然后使用 S+ 软件对所有指标进行主成分分析, 最后选取了综合指标、人口密度、景观形状指数和土地利用类型指数 4 个指标进行城-郊-乡梯度的量化研究。Toit 等^[12]通过 FA 和 PCA 分析检验, 选出人口密度, 城市用地面积与景观形状指数来量化城乡梯度。李明泽等^[13]选取了建筑密度与道路网密度对哈尔滨东部的城乡土地梯度带进行了划分, 并发现道路网的空间结构在一定程度上能够反映出城市化方向的趋势。

使用梯度分析为研究基本生态过程和城镇实际环境问题提供了一个新的方法, 可以获得有关城镇本质对自然生态系统作用

¹收稿日期: 2017-12-08; 修回日期: 2018-01-26

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0502105); 中国科学院西部之光青年学者项目

作者简介: 何云玲 (1978~), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为区域生态环境变化及其影响. E-mail: hy1610@126.com

方面的重要信息和理解,这对制定城市规划及管理策略是很有帮助的^[13]。昆明市因其独特的地理位置和气候条件,近年来城市快速发展,建设用地扩张速度逐年增加,城市土地利用和景观格局以前所未有的速度发生着剧烈的变化,城市环境发生了很大的改变。本研究在 ArcGIS、ERDASImage 和 Fragstats 软件支持下,利用遥感影像数据和大量实地调研,通过定量分析昆明市城-郊-乡土地梯度带的划分,科学合理认识其城市化的空间格局,对研究区域未来的城乡景观建设和可持续发展提供科学依据。

1 研究区域概况

昆明市为云南省省会,中国面向东南亚、南亚开放的门户城市,西部地区重要的中心城市之一。其位于云贵高原中部,24° 24' ~26° 33' N,102° 10' ~103° 41' E 之间,主城区中心海拔 1891m,地势北高南低,三面环山;受地理位置和大气环流的影响,气候温和,四季不分明,而降雨量在干季(11~4月)和雨季(5~10月)差异显著。2015年昆明市建成区面积达到412km²,比2010年增加125km²,常住人口数也由2010年的643万人增加到667.7万人。伴随着昆明市人口不断增多与城市建设用地面积的急剧增长,昆明的城市化进程进一步加剧。昆明市的行政区划素有“四区八县”之称(后期规划中才新并入呈贡新区),四区即为昆明市的主要行政区和主要建成区所在地,分别为西山区、五华区、盘龙区和官渡区,主要位于昆明市的中部地区;考虑到其山间盆地的地貌类型,本文以这4个区的城乡交错带土地景观空间格局,东西宽34km,南北长35km的连续区域作为主体研究区。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究采用精度为30m的GDEM数据,

获得山体阴影图。通过2015年精度为2.5m卫星影像数据,获得道路网密度数据。同时使用昆明市2015年5月份的Landsat8遥感影像,其空间分辨率为30m,云量为0.48%,获得不透水下垫面比例、景观形状指数和香农多样性指数数据。并在ENVI5.1软件中,采用监督分类,结合《土地利用现状分类》国家标准(GB/T21010-2007)及昆明市具体的实际情况,并在该地区地形图(1:5万)、土地利用图等相关资料辅助下,提取土地利用类型信息,将其土地利用类型分为不透水下垫面、水域、绿色植被、其他用地4个类型(表1)。对照非遥感信息、结合野外实地调查、GPS测量数码相机拍照,配合实地调查进行目视修改,计算Kappa系数为0.8683,分类精度符合研究需要,符合实地调查验证结果。

表1 土地利用分类

Tab. 1 Land use classification

土地利用类型	具体土地类型
不透水下垫面	商业服务用地、工矿仓储用地、住宅用地、公共管理与公共服务用地、特殊用地与交通运输用地等
水域	自然水域、水库以及坑塘沟渠等
绿色植被	耕地、林地、园地、草地、田坎等用地
其他用地	空闲地、裸地、沼泽地、沙地等

2.2 城郊乡梯度划分指标的计算

考虑到数据的充分利用性和各类指数的特点,本文通过借鉴以往相关研究筛选出的城乡梯度划分指标,结合昆明市实际地理环境特征,通过前期大量实地调研反复比对和校正,最后选取了两类指标进行城市化指数的描述(表2):第一类为物理变量:包括不透水下垫面比例,道路网密度;第二类为景观变量:包括景观形状指数、香农多样性指数。

表 2 城市化各指数的描述

Tab. 2 Description of urbanization indexes

城市化指标	公式	描述
不透水下垫面比例(%)	$TIS = \frac{\text{不透水面积}}{\text{样地面积}} \times 100\%$	不透水下垫面面积占单位面积的百分比
道路网密度(km/km ²)	$DRN = \frac{\text{道路总长度}}{\text{区域面积}}$	一定区域内道路总长度与该地区面积之比
景观形状指数	$LSI = \frac{P}{4\sqrt{A}}$	斑块周长与斑块面积的比值。LSI 值越大,表明斑块形状越复杂,其值的理论范围为 1.0~2.0,1.0 代表形状最简单的正方形斑块,2.0 表示等面积下周边最复杂的斑块
香农多样性指数	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (p_i \times \ln p_i)$	景观中各斑块类型面积比重与其自然对数乘积的总和,然后再取相反数。SHDI=0 表明整个景观仅由一个斑块组成;SHDI 增大,说明斑块类型增加或各斑块类型在景观中呈均衡化趋势分布

其中不透水下垫面比例的计算是根据研究区范围,在 ArcGIS 10.2 中以 2kmX2km 为网格单位,建立 fishnet 网格,并用转面命令,将网格线转为网格面。将网格面与矢量化后的土地分类图进行相交叠加,导出叠加图的属性表,利用 Excel 计算各网格内不透水下垫面比例^[14]。

道路网密度的计算采用精度为 2.5m 的卫星影像数据,在 ArcGIS 10.2 中经过地理配准,对道路进行目视解译,得到研究区的道路网矢量图。建立 fishnet 网格,将网格面与道路网矢量图进行叠加,利用 Excel 计算各网格内的道路网密度。

景观变量指标的计算用 Fragstates4.2 分析每个网格内的景观形状指数和香农多样性指数进行统计。

3 结果与分析

3.1 城市化各指数的特征变化

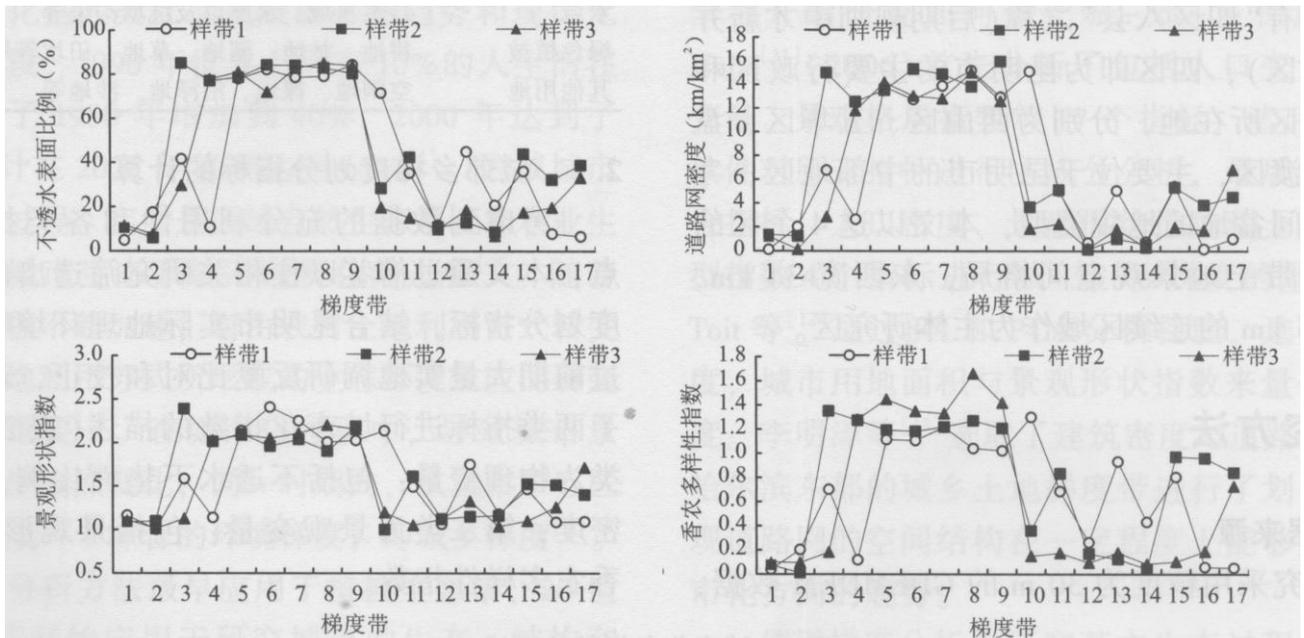


图 1 不同梯度带内城市化各指数的特征变化

Fig. 1 Urbanization indexes variation features in different gradient belts

选取面积相等的连续格网(东西方向 2km, 南北 2km)作为梯度带, 在研究区内由西向东, 共设置了 17 个连续梯度带, 分别记做序号 1, 2, ..., 17; 并且从北向南进行了连续的三组采样, 分别记做样带 1, 样带 2, 样带 3。

对这三组采样后的每一组 17 个连续梯度带的土地景观进行空间分析, 获得了昆明市中部区域 4 个城市化指数的梯度变化特征(图 1)。从图中可以看出, 三组采样得到的不透水下垫面比例、道路网密度、景观形状指数、香农多样性指数在每组 17 个梯度带中均具有相似的变化特征: 第 1 梯度带内数值均较小, 不透水下垫面比例 < 20%, 道路网密度 < 2km/km², 景观形状指数 < 1, 香农多样性指数 < 0.2; 第 2~3 梯度带内数值急剧增大; 第 4~10 梯度带内数值为高值区, 不透水下垫面比例达到 80% 左右, 道路网密度 14km/km² 左右, 景观形状指数 2.0~2.5 之间, 香农多样性指数 1.2~1.6 之间; 第 10~11 梯度带数值又急剧减小; 第 12~17 梯度带内数值为比较平稳的相对低值区, 不透水下垫面比例 20~30% 之间, 道路网密度 4km/km² 左右, 景观形状指数 1.5 左右, 香农多样性指数 0.2~1.0 之间。

3.2 城-郊-乡土地梯度带的划分

在 SPSS22.0 软件中对研究区每个网格内的不透水下垫面比例、道路网密度、景观形状指数与香农多样性指数进行标准化处理, 然后进行主成分分析(PCA)。基于主成分分析的结果, 构建城-郊-乡梯度模型^[15]:

$$UI_i = E_{i1} \times S_1 \times TIS_i + S_2 \times DRN_i + E_{i2} (S_3 \times LSI_i + S_4 \times SHDI_i) \quad (1)$$

式中: i 为网格编号; UI_i 为城市化指数(Urbanization Index, UI); E_{i1} 、 E_{i2} 分别为两个主成分的特征值; S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 分别为对应城市化指数的最高载荷量; TIS_i 为网格的不透水下垫面比例的标准值; DRN_i 为网格的道路网密度的标准值; LSI_i 为网格的景观形状指数的标准值; $SHDI_i$ 为网格的香农多样性指数的标准值。将上述过程中计算得到的各个网格的 4 个指标值在 SPSS22.0 中进行标准正态化后再进行主成分分析, 结果如表 3 和表 4 所示。

表 3 方差量解释
Tab. 3 Variance interpretation

成分	初始特征值		旋转平方和载重			
	2S. 4+ 方差的 口计(%)		累积 (%)	口计(%)		累积 (%)
1	1.793	44.824	44.824	1.785	44.635	44.635
2	1.177	29.425	74.248	1.185	29.613	74.248
3	0.848	21.189	95.437			
4	0.183	4.563	100.00			

表 4 旋转后的因子载荷矩阵
Tab. 4 Factor loadingmatrix after rotation

指数	成分	
	1	2
不透水下垫面	0.942	-0.108
道路网密度	0.944	0.150
景观形状指数	0.079	0.738
香农多样性指数	-0.044	0.778

从表 3 可以看出,前两个特征值大于 1 的公因子累积方差达到 74.248%,能够充分解释原有变量所包含的信息,故而提取前两个公因子的特征值分别为 E_{11} 、 E_{12} 。表 4 中,主成分 1 包含了不透水下垫面比例和道路网密度,两个描述城市物理特征的指数,它们与主成分 1 成正相关,在主成分 1 上的载荷量分别是 0.942 和 0.944;主成分 2 包含了景观形状指数和香农多样性指数,它们与主成分 2 成正相关,在主成分 2 上的载荷量分别是 0.738 和 0.778。根据主成分分析的结果,城-郊-乡梯度模型表示如下:

$$UI_i = 1.793 \times (0.942 \times TIS_i + 0.944 \times DRN_i) + 1.117 \times (0.738 \times LSI_i + 0.778 \times SHDI_i) \quad (2)$$

建立多元线性回归模型时,如果两个及以上的自变量之间存在线性相关,则会产生多重共线性现象。在这种情况下,当模型中增加或减少一个变量时,用最小二乘法估计的模型参数就会很不稳定,模型的变量系数也会发生较大的变化,在多重共线性现象较为严重的情况下,回归系数的估计值很容易引起误导或导致错误的结论;膨胀因子(VIF)可以检验共线性的存在,VIF 越大,自变量之间存在共线性的可能性越大(当 $0 < VIF < 10$,不存在多重共线性)^[15]。

在 SPSS22.0 中进行多重共线性的检验(表 5),从结果看出,不透水下垫面比例的 VIF 值为 2.976,道路网密度的 VIF 值为 2.887,景观形状指数的 VIF 值为 1.032,香农多远指数的 VIF 值为 1.171,说明它们之间不存在共线性问题,本文所选的 4 个指标和主成分分析方法适用于昆明市城-郊-乡梯度的划分。

表 5 共线性判断
Tab. 5 Collinear judgment

模型	非标准化系数		标准化系数		共线性计量	
	B	标准误差	试用版	允差	VIF	
UI (常量)	5.56E-18	0				
DRN	1.693	0	0.48	0.346	2.887	
TIS	1.689	0	0.479	0.336	2.976	
SHDI	0.916	0	0.26	0.854	1.171	
LSI	0.869	0	0.246	0.969	1.032	

在上述城-郊-乡梯度模型计算过程中,将水域面积大于 80%的网格定义为水域。根据模型计算结果,将其导入上述网格面与矢量化后的土地分类图的叠加图的属性表中,并与昆明市卫星影像数据进行对比分析,最后将 $-7.232 < UI < 1.413$ 的区域定义为乡村, $1.7124 < UI < 5.318$ 的区域定义为郊区, $6.730 < UI < 13.631$ 的区域定义为城区。

从划分结果看,总体来说昆明市的乡村面积 > 城区面积 > 郊区面积;城区集中分布在滇池东北方向上;郊区与城区的分界并不明显,散乱的分布在城区周边与乡村中。昆明城-郊乡空间分布特征,地形是主要影响因素之一,乡村所在的区域基本上为山地,城区地势平坦,郊区主要分布在山地之间地形较为平坦的区域。对比实际的遥感影像结果(图 2),符合城郊乡的基本特征,此划分方法具有良好的现实意义。

3.3 沿城-郊-乡样带城市化指标值的变化特征根据各个网格的城市化指标值分析其与城市

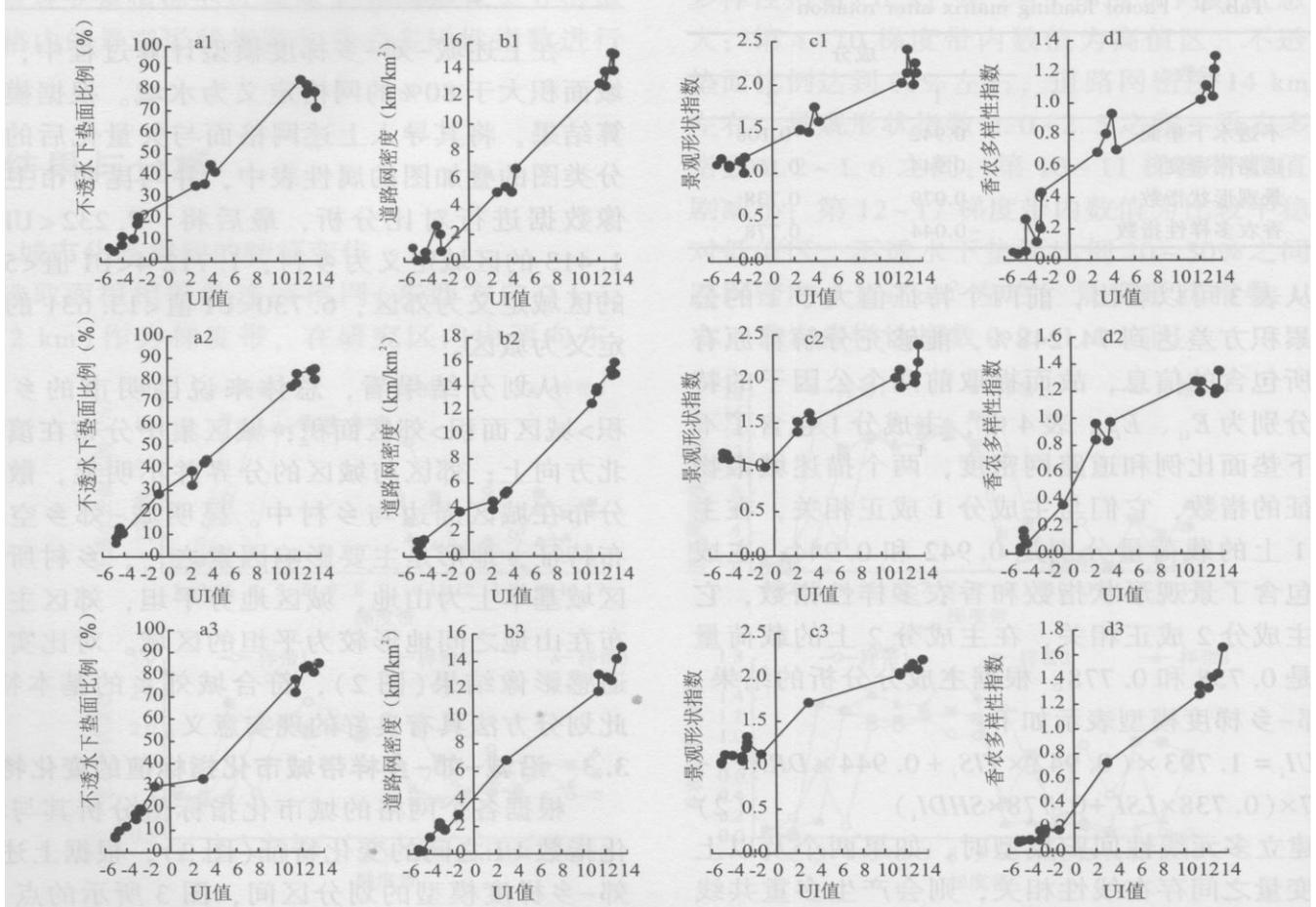
化指数 UI 之间的变化特征(图 3),根据上述城-郊-乡梯度模型的划分区间,图 3 所示的点 $-7 < UI < 0$ 的为乡村; $1 < UI < 5$ 的点为郊区; $10 < UI < 14$ 的点为城区。可以看出样带 1,样带 2,样带 3 内连续梯度带的城市化指标值具有相似的变化特征:不同的样带其不透水下垫面比例、道路网密度、景观形状指数和香农多样性指数与 UI 值均基本呈现正相关关系,随着从乡村到郊

区到城区梯度的变化, 各指标值也逐渐增大; 乡村的不透水下垫面面积与道路网密度均低于城区与郊区, 且城区的最高; 城区的景观形状指数与香农多样性指数最大, 表明城区的景观异质性最大, 且景观破碎化程度高于郊区与乡村。



图2 研究区内部分区域城-郊-乡梯度划分图

Fig. 2 Partition of urban-rural gradient of some areas in the study area



注: a1、b1、c1、d1 为样带 1 的城市化指标值沿城-郊-乡梯度变化特征; a2、b2、c2、d3 为样带 2 的城市化指标值沿城-郊-乡梯度变化特征; a3、b3、c3、d3 为样带 3 的城市化指标值沿城-郊-乡梯度变化特征。

图3 沿城-郊-乡样带城市化指标值变化特征

Fig. 3 Urbanization index variation features along the urban-rural gradient belts

3.4 区域城市化综合指数的差异

根据城-郊-乡梯度模型的计算结果，将其进行分区统计，统计结果如表 6。从表 6 中可以看出，基于各网格点统计的各区城市化指数 UI 的最大值从大到小排序为：五华区>官渡区>西山区>盘龙区；4 个区域的城市化指数 UI 的最小值相差不大；各区的城市化指数 UI 的平均值从大到小的排序为：官渡区>五华区>西山区>盘龙区；从变异系数可以看出，4 个区域的变异系数都较大，其中官渡区的变异系数最小，五华区的变异系数最大，西山区与盘龙区的变异系数较为接近。各区的城市化水平呈现出较大的空间分异，其中五华区的城市化发展最不均衡，西山区与盘龙区次之，官渡区的城市化发展相对均衡。结合研究区内部城-郊-乡梯度划分结果和实际情况，五华区、西山区、盘龙区的土地划分主要为城市与乡村，且乡村土地面积占主导，因此这 3 个区域的变异系数都较大；官渡区相对于其他区域而言城市占有面积增多，且郊区土地面积有所增加，因此相对而言其变异系数较小。

表 6 各区城市化水平概况

Tab. 6 A profile of regional urbanization level

区域	城市化指数				
	最大值	最小值	平均值±标准误差	标准差	变异系数 (%)
西山区	10.998	-7.210	-0.549±0.230	3.654	666.052
五华区	13.657	-6.652	0.550±0.347	4.002	727.051
盘龙区	10.618	-6.705	-0.574±0.350	3.722	648.402
官渡区	11.925	-6.787	1.434±0.315	4.248	296.176

3.5 不同区域土地景观的面积结构

对比城郊乡各区域的土地景观类型（图 4），从各区域土地景观类型组成来看，城区的不透水下垫面>绿色植被>其他用地>水域，其中不透水下垫面的面积约为绿色植被的 5 倍；郊区的绿色植被>不透水下垫面>其他用地>水域；乡村的绿色植被>不透水下垫面>其他用地>水域，其中绿色植被面积约为不透水下垫面面积的 6 倍，是乡村的主要土地利用类型。再从不同土地景观类型比例来看，城区的不透水下垫面比例高达 80%左右，郊区为 38%以下，乡村为 13%左右；绿色植被面积所占的比例则为乡村>郊区>城区，其中乡村的绿色植被面积高达 80%，郊区为 45%左右，城区为 17%以下；其他用地面积所占的比例为郊区>乡村>城区，郊区相对于城区与乡村有较多的土地处在开发利用阶段，因此郊区的其他用地面积最多；乡村、郊区与城区的水域面积较为接近，都在 1%以下。

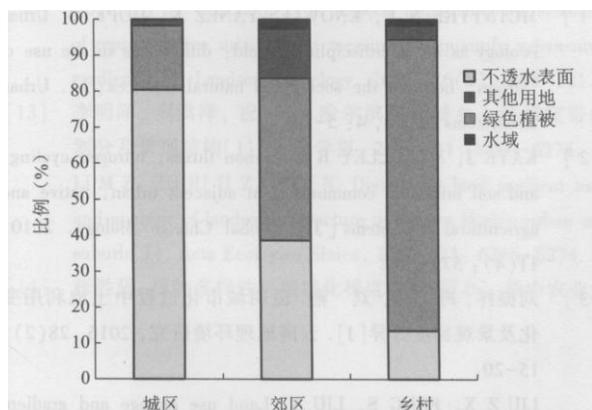


图 4 样带上城-郊-乡不同区域土地景观的面积结构

Fig. 4 Area ratio of different land use types of the urban-rural belt transect

4 小结与讨论

4.1 结论

(1) 沿研究区自西向东梯度带上表征土地景观的各城市化特征辑数呈现为最低值阶段，急剧上升阶段，急剧下降阶段，平稳较低值阶段的变化过程特征。

(2) 不透水下垫面比例、道路网密度、景观形状指数、香农多样性指数可以在一定程度上反映城市化进程，适用于昆明市城-郊-乡梯度的划分，据此将昆明市中部城乡区域划分为乡村、郊区和市区。

(3) 随着从乡村到郊区到城区梯度的变化，城市化各指标值也逐渐增大；乡村的不透水下垫面面积与道路网密度均低于城区与郊区，且城区的最高；城区的景观形状指数与香农多样性指数最大，表明城区的景观异质性最大，且景观破碎化程度高于郊区与乡村。

(4) 根据城市化综合指数衡量目前昆明市各主要行政区的城市化水平，呈现出较大的空间分异，其中五华区的城市化发展最不平衡，西山区与盘龙区次之，官渡区的城市化发展相对均衡。

(5) 对比城郊乡各区域的土地景观类型组成，城区的不透水下垫面比例高达 80%左右，郊区为 38%以下，乡村为 13%以下；乡村的绿色植被面积比例高达 80%，郊区为 45%左右，城区为 17%以下，差异较大。

4.2 讨论

(1) “城-郊-乡”梯度量化研究方面：本文利用遥感影像解译地类信息，结合 ArcGIS10.2 和 FragstatS4.2 等软件对不透水下垫面比例、道路网密度、景观形状指数和香农多样性指数进行指标数据的提取，通过主成分分析和线性回归建立城-郊-乡梯度模型，这种方法既克服了长久以来在大多数的城市化研究中，很少涉及“城-郊-乡”梯度城市化水平的量化，或只是从社会经济等人文学科的角度来衡量城市的发展程度^[16]，又避免了多指数产生的信息冗余并全面的表征了城市发展模式的特点，例如梁红^[9] (2014) 采用了城市不透水率进行城乡梯度的判定；赵倩等^[16] (2015) 选取不透水层比例、道路密度、住宅比例、最大斑块指数、平均斑块密度和香农多样性指数，基于主成分分析 (PCA) 和多元回归线性归模型构建城市化指数模型进行城乡梯度的判定。本研究得出的昆明城-郊-乡梯度的划分，呈现出乡村连续，郊区分散，城区集中的分布特点，这种城-郊-乡空间分布特征，可以为以后昆明的城市规划与建设提供依据，并为进行城市化水平与城市生态环境关系的研究提供良好的基础。

量化“城-郊-乡”梯度是比较城市内部和城市之间研究的第一步^[17]。以往研究结果也表明许多环境因子沿城乡梯度的变化是单调递增或递减的，生态过程随着城-郊-乡梯度会有一些的变化，例如植物多样性^[18]、鸟类物种多样性^[19]、土壤重金属含量^[20]、景观格局^[21]等。城市化过程的生态效应受到广泛关注，城-郊-乡梯度法可以综合分析造成城市化的多种因素，对解决城市生态问题和城镇环境问题提供帮助。

(2) 研究区域城乡景观建设思考与建议方面：根据文中研究发现城区的不透水下垫面比例高达 80%左右，绿地面积远远小于不透水下垫面面积；城区与郊区、乡村的土地利用类型呈现较大的差异，这一现象对城市总体发展具有不利影响。现阶段伴随着全球城市化发展，城市中不透水面积比例均较大，据美国、洛杉矶等 10 个大城市统计，市内住宅、工厂和商店等建筑物占地约占全市总面积 50%，人工铺设道路约占全市总面积 23%；我国上海中心区不透水面积高达 80%，世界上城市不透水面积大都在 50%以上^[22]。绝大部分城市的产生及城市面积日积月累的向周边发展扩大的过程都是从绿地被破坏开始，这一行为(现象)现在仍然存在着，对于发展中国家更是如此^[13]。现代大多数城市发展中都提出“大地园林化”的建设愿景，从城乡总体规划的角度出发，预留好景观绿地，使城市与乡村相互包容、引导城乡区域整体的发展，建立城乡间的平衡。

从区域地理景观尺度来看,绿地可以被作为本底,城市可作为非绿地的斑块,在面积一定时城市发展的“减少或停止摊大饼式地向周边扩展,使周边乡镇向城镇或卫星城市发展”模式可使所产生斑块的破碎度增大,城市化对区域景观生态的负面影响容易被本底所“吸收”;把城市放在区域的整体景观基质中,并用廊道有机地联系成景观网络结构,使之成为区域整体景观生态格局的有机组成部分,在一定程度内不会显著减弱系统的稳定性^[13]。特别是在本研究中所确定为郊区的区域,在扩大城市规模的同时应该兼顾小城镇以及农田景观的绿地建设。

(3) 不足与展望方面:利用遥感影像进行地类解译,结合其他软件获取指标数据是目前进行城-郊-乡梯度量化的有效途径。此方法突破了以往人们对城-郊-乡梯度划分的认识,综合分析了造成城市化的多重因素,利用该手段对昆明市的城市土地梯度划分尚属一种有意义的尝试。本文采用的不透水下垫面比例、道路网密度、景观形状指数和香农多样性指数可以在一定程度上反映出城市化进程造成的差异,但是由于城-郊-乡梯度的复杂性,还需结合更多能体现城-郊-乡梯度特点的指标,例如人口因素与社会经济等因素,才能更加准确的进行城-郊-乡梯度的划分。城-郊-乡梯度量化的方法仍存在不足之处,需要进行不断的改进与完善,才能进一步帮助与加深我们对城市化和生态系统之间关系的理解,提高城市生态质量,维护城市生态安全,使我们更好的解决城市发展与环境之间的问题。

参考文献:

[1] MCTNTYRE N E, KNOWLES-YANEZ K, HOPE D. Urban ecology as an interdisciplinary field: differences in the use of “urban” between the social and natural sciences [J]. Urban Ecosystems, 2000, 4: 5-24.

[2] KAYE J, MCCULLEY R I. Carbon fluxes, nitrogen cycling, and soil microbial communities in adjacent urban, native and agricultural ecosystems [J] • Global Change Biology, 2010, 11(4) : 575-587.

[3] 刘振祥,冯石,刘燕.昆明城市化过程中土地利用变化及景观梯度分异[J].云南地理环境研究,2016,28(2):15-20.

LIU Z X, FENG S, LIU Y. Land use change and gradient differentiation of landscape in kunming during its urbanization [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2016, 28(2) : 15-20.

[4] 隆茜.上海城乡梯度上重金属污染格局及其磁学响应[D].华东师范大学,2013.

LONG Q. Patterns and magnetic to heavy metal pollution along urban-rural gradient, Shanghai[D]. East China Normal University, 2013.

[5] 黄正良,钟慧润.西安市土地利用空间分异研究[J].地域研究与开发,2011,30(4):108-111.

HUANG Z L, ZHONG H R. Researches on the spatial variation of land utilization in Xi'an city [J]. Areal Research and Development, 2011, 30(4) : 108-111.

[6] 肖以华,习丹,佟富春,等.广州市城乡梯度森林公园雨季空气PM_{2.5}浓度及水溶性离子特征[J].应用生态学报,2013,24(10):2905-2911.

XIAO Y H, XI D, TONG F C, et al. Characteristics of rain seasons atmospheric PM_{2.5} concentration and its water-soluble ions contents in forest parks along urban-rural gradient in guangzhou city of south China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(10) : 2905-2911.

-
- [7] THEOBALD D M. Land use dynamics beyond the american urban fringe [J]. Geographical Review, 2001, 91(3): 544- 564.
- [8] THEOBALD D M. Placing exurban land-use change in a human modification framework [J]. Frontiers in Ecology & the Environ-ment, 2004, 2(3) : 139-144.
- [9] 梁红. 城市化背景下青岛城市森林植被多样性格局成因 及其维持[D]. 华东师范大学, 2014.
- LIANG H. Diversity pattern forming reason and maintenance of urban forest along the urban-rural gradients of qingdao [D]. East China Normal University, 2014.
- [10] 田志慧. 上海城乡陆生生态系统杂草群落多样性格局及其 成因论研究[D]. 华东师范大学, 2011.
- TIAN Z H. Study on distribution pattern of weed communities of terrestrial ecosystem and forming reason in urban and rural of Shanghai [D]. East China Normal University, 2011.
- [11] HAHS A K, MCDONNELL MJ. Selecting independent measures to quantify melboume ’ s urban-rural gradient [J]. Landscape & Urban Planning, 2006, 78(4) : 435-448.
- [12] TOIT M J D, CILLIERS S S. Aspects influencing the selection of representative urbanization measures to quantify urban-rural gradients[J]. Landscape Ecology, 2011, 26(2) : 169-181.
- [13] 李明泽, 周洪泽, 祝宁. 哈尔滨东部城乡土地梯度带的 划分及景观结构[J]. 生态学报, 2009, 11: 6266-6274.
- LI M Z, ZHOU H Z, ZHU N. Division of land gradient zone and analysis of landscape structure in eastern Harbin urban and suburb[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009,11: 6266-6274.
- [14] 张胜强. 植物多样性对城市化梯度的响应[D]. 华中农业大学, 2012.
- ZHANG S Q. Plant diversity response to urbanization gradient [D] . Huazhong Agricultural University, 2012.
- [15] 赵倩. “城一郊一乡” 绿地群落组成结构与其储碳功能的 关系研究[D]. 上海师范大学, 2014.
- ZHAO Q. Community composition structure of green space and its carbon storage function in an “ urban-to-rural” gradient[D]. Shanghai Normal University, 2014.
- [16] 赵倩, 赵敏. 城市化过程及其绿地储碳研究——以上 海“城-郊-乡” 样带为例 U. 长江流域资源与环境, 2015, 24(4) : 531-538.
- ZHAO Q, ZHAO M. Carbon storage in urban green space — a case of urban-to-rural” gradient in Shanghai [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(4): 531 - 538.
- [17] MCDONNELL M J, HAHS A K. The use of gradient analysis studies in advancing our understanding of the ecology

-
- of urbanizing landscape: current status and future direction [J]. *Landscape Ecology*, 2008, 23: 1143-1155.
- [18] 黄荣花. 城市化对植物多样性的影响: 北海市的研究 [门]. *广西林业科学*, 2011, 40(2) : 116-120.
- HUANG R H. The effect of urbanization on plant diversity: a study in Beihai[J]. *Guangxi Forestry Science*, 2015, 24(4): 531-538.
- [19] 寿丹艺. 上海城乡梯度上公园绿地鸟类物种多样性格局 [D]. 华东师范大学, 2015.
- SHOU D Y. Avian diversity patterns along an urbanization gradient in Shanghai parks[D]. East China Normal University, 2015.
- [20] 方淑波, 崔曲, 庞慧焕, 等. 上海市城乡梯度上土壤重金属空间分布及其影响因素定量分析[J]. *环境科学学报*, 2015, 35(12) : 3976-3984.
- FANG S B, CUI Q, PANG H H, et al. Distribution and factor analysis of soil heavy metal by quantitative approaches on the urbanization gradient in Shanghai [J]. *Acta Scientiae Circum- stantiae*, 2015, 35(12) : 3976-3984.
- [21] 李俊祥, 王玉洁, 沈晓虹, 等. 上海市城乡梯度景观格局 分析[J]. *生态学报*, 2004, 24(9): 1973-1980.
- LI J X, WANG Y J, SHEN XH, et al. Landscape pattern anal- ysis along an urban-rural gradient in the Shanghai metropolitan region [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9) : 1973-1980.
- [22] 刘加平. 城市环境物理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- LIU J P. Urban environment physics [M]. Beijing: China Architecture&Building Press, 2011.