

引用格式:周爽,刘邵权,彭立.基于地理探测器的成都市景观格局与生态系统服务的关联效应[J].山地学报,2021,39(2):262-274.

ZHOU Shuang, LIU Shaoquan, PENG Li. Correlation effect in the developing landscape patterns with changes in ecosystem services in Chengdu city, China [J]. Mountain Research, 2021, 39(2):262-274.

成都市景观格局与生态系统服务的关联效应

周爽^{1,2},刘邵权¹,彭立^{3*}

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所,成都 610041;

2. 中国科学院大学,北京 100049; 3. 四川师范大学 地理与资源科学学院,成都 610068)

摘要:随着城镇化进程的加快,城市景观格局发生巨大变化,进而引起城市生态系统过程和结构变化,降低了生态系统功能的发挥和服务供给。然而,目前关于城市景观格局与生态系统服务的时空变化关系的定量研究较为缺乏。本文以成都市为研究区,利用景观指数分析、InVEST模型和皮尔逊相关分析等方法,分析2000—2015年土地利用中景观格局、生态系统服务时空变化特征,并使用地理探测器模型甄别两者之间的关系。结果表明:(1)研究期内建设用地、林地面积呈增加趋势,耕地和草地面积呈减小趋势。土地利用类型主要是在耕地、草地、建设用地和林地之间转移。(2)成都市整体景观的破碎度和异质性增强。(3)生态系统服务中,碳固存、作物产量、产水量和生境质量呈减少趋势,水土保持呈增加趋势。产水量自西向东呈“龙门山区—成都平原—龙泉山区—西部丘陵区”梯度式变化。多重生态系统服务景观指数整体上呈增长趋势,这可能与生态系统服务间以协同关系为主、权衡关系为辅有关。(4)城市生态系统服务受城市景观格局的显著影响,是城市景观对生态系统多维度综合作用的表征。本研究结果可为成都市的规划和生态建设工作提供科学有效的支撑,对深入城市景观生态学研究、指导城市空间规划具有实践意义。

关键词:城市;景观生态效应;土地利用;地理探测器

中图分类号: P901

文献标志码: A

近年来,随着城镇化进程和社会经济的发展,人居环境得到很大改善。但该过程中粗放式发展导致土地利用方式发生变化,特别是生态用地和耕地向建设用地的转变,显著影响了区域景观格局和生态安全^[1]。在此背景下,城市景观格局演化的生态效应成为景观生态学研究的核心问题之一^[2-3]。城市景观格局作为自然和人文双重因素作用的综合表征^[4],是多种生态效应累积的结果。同时,城市景观格局的变化影响着生态系统的物质循环和能量流动,改变了生态系统的过程和结构,降低了城市生态系统的稳定性和抗干扰能力,不利于区域生态安

全和可持续发展^[5]。探索城市景观如何影响生态系统服务,有助于了解景观格局对生态系统服务的影响,对合理规划未来城市的空间布局、解决当前城市建设中的环境问题以及促进区域生态文明建设和可持续发展具有重要意义。

景观格局分析是对景观的要素组成和空间结构进行研究,并采用“斑块—廊道—基质”的模式进行统计描述^[6]。景观要素组成和结构的时空不均匀性,使得景观在空间和时间上具有复杂性和变异性,即景观异质性^[7]。对于景观异质性的研究一直是景观格局分析的重点。已有研究中常采用景观格局

收稿日期(Received date):2021-01-31;改回日期(Accepted date):2021-04-16

基金项目(Foundation item):国家自然科学基金(41771194)。[National Natural Science Foundation of China(41771194)]

作者简介(Biography):周爽(1998-),女,河南南阳人,硕士研究生,主要研究方向:区域生态安全。[ZHOU Shuang(1998-), female, born in Nanyang, Henan province, M. Sc. candidate, research on region ecology safety] E-mail: zhoushuang@imde.ac.cn

* 通讯作者(Corresponding author):彭立(1983-),男,博士,教授,主要研究方向:生态安全格局、空间利用与规划。[PENG Li(1983-), male, Ph. D., professor, specialized in ecological security pattern, space utilization and planning] E-mail: pengli@imde.ac.cn

指数方法进行景观异质性分析^[8],选取相关性较低的景观指数来定量地测量城市景观格局、描述城市景观的空间形态、结构和异质性^[9]。但是,景观指数虽可定量描述景观格局并识别景观组成,却不利于识别连续性的景观异质性在空间上的变化趋势和规律。因而,还需采用空间统计学方法来揭示景观格局的空间异质性规律并度量其空间依赖性,例如,借助半变异函数和移动窗口来识别研究区域景观异质性的尺度^[10]。随着研究的不断深入,学者们发现城市景观格局与城市生态系统间存在着复杂的联系,对两者关系的定量研究可为城市规划提供科学合理的指导,于是两者关系的研究逐渐成为景观生态学关注的重点。目前关于城市景观生态效应评估的方法有能值法^[11]、物质量法^[12]和价值量法^[13],相关研究内容主要集中于城市景观与生态效应空间分布特征^[14]、时空变化^[15]和影响因素^[16-18]等。

定量分析景观格局变化和潜在的生态影响,可以帮助预判景观规划能否实现目标生态效应,重点关注生态系统的退化或扰动。城市景观格局和生态系统服务的变化与当地环境密切相关,不同区域两者关系具有较大的空间差异。然而,以往研究中常忽略其空间异质性,这可能导致统计分析出现错误,增加生态系统服务管理决策中的不确定性^[19]。另外,以往研究多采用静态数据进行规律探测^[20-21],但实际上动态变化指标相对于静态数据,更能反映生态系统服务的驱动力作用。因此,如何在考虑空间异质性的基础上,借助动态指标来分析两者变化规律,厘清其相互联系是本研究需要解决的问题。

成都市是成渝城市群建设的节点城市。成都市景观格局的变化在带来利益的同时,也产生一系列生态环境问题,主要表现为人均土地资源较少、生态脆弱、环境承载力有限等方面。然而,由于缺乏针对成都市域的景观格局与生态系统服务间的定量分析,使得城市在制定规划方案时缺乏数字依据。本文基于成都土地利用数据,借助相关软件分析2000—2015年城市景观格局及生态系统服务的时空变化特征;通过地理探测器模型就城市景观格局如何影响生态系统服务进行了初步探索。本文对成都市景观格局与生态系统服务的关联效应的案例分析,为合理规划中国城市土地利用布局、保障区域生态系统服务、促进区域经济平稳快速发展提供了实证案例。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

成都市位于102°54′~104°53′E和30°05′~31°26′N,处于四川盆地西部边缘,地势由西北向东南倾斜。西部以深丘和山地为主,海拔1000~3000 m;中部以平原为主;东部以平原、台地和部分低山丘陵组成为主,海拔高度约750 m。成都市属亚热带季风性湿润气候,夏季高温多雨,冬季温和少雨。巨大的海拔差异和气候分异,使成都市的土地资源类型多样,水资源、生物资源和矿产资源等十分丰富。研究区面积14 335 km²,其中建成区面积占6.62%。截至2019年,全市常住人口达1633.00万人,城镇化率为73.12%,包含20个区县,其中中心城区13个。全年地区生产总值(GDP)达17 012.65亿元,相较于2018年,人均地区生产总值增长6.00%。2018年,成都市生态环境状况良好,生态环境状况指数(EI)为66.7,20个区县生态环境状况指数为40.9~79.3。随着城镇化进程的推进,成都市水资源分布不均、环境承载力有限等问题日益凸显,需要在城市建设中合理规划城市空间布局,优化城市生态安全格局,实现生态保护和社会经济协同发展。

1.2 数据来源与预处理

本研究主要使用以下数据:数字高程模型(DEM)、土地利用数据、气象数据、归一化植被指数(NDVI)、作物产量数据等。DEM数据源于中国科学院资源环境数据中心(<http://www.resdc.cn/>)的SRTM.DEM 90 m数据。2000年和2015年的土地利用数据主要源于自然资源部提供的土地变更数据(<http://www.mnr.gov.cn/>),分辨率为30 m,鉴于成都市土地利用的现状及遥感影像的特点,利用ArcGIS软件分别创建1 km×1 km、3 km×3 km、6 km×6 km的渔网,并将土地利用数据按渔网进行划分,综合增量空间自相关分析与考虑最大化保留空间特征,最终将研究区划分为3 km×3 km的网格。地面气象数据来自中国科学院资源环境数据中心(<http://www.resdc.cn/>)的1980—2015年基于全国2400多个气象站点日观测数据,采用Anusplin方法得到年降水量数据。实际蒸散发数据来自于中国科学院青藏高原科学院TPE数据库(<http://www.tpdatabase.cn/>)的由张寅生团队发展的1982—

2015 年 0.1° 陆地蒸散发产品。归一化植被指数 (NDVI) 来自 NASA 的陆地过程分布式数据档案中心 (<https://lpdaac.usgs.gov/>) 的 MOD13A3 数据产品, 使用 MRT 工具对 NDVI 数据进行提取, 转换为栅格文件, 并使用 ArcGIS 软件获得各像元一年中最大 NDVI 和各县级行政区的 NDVI。作物产量数据来自 2000 年和 2015 年四川省统计年鉴, 最终建立 1590 × 12 的数据库。

2 研究方法

2.1 景观格局变化

(1) 土地利用转移矩阵

为了明晰土地利用类型转变, 本研究通过转移矩阵模型进行刻画。土地利用转移矩阵是将土地转移面积和方向以矩阵的形式进行表达, 揭示了土地利用变化的结构和时空演变特征^[22]。计算公式如下:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, S 为面积 (m^2); n 为土地利用的类型数; i, j 分别为研究初期与末期的土地利用类型。

(2) 景观格局指数

本研究在前人研究的基础上^[23-25], 选取景观水平上的平均分维数 (FRAC_MN)、蔓延度指数 (CONTAG)、斑块凝聚度 (COHESION)、破碎度指数 (SPLIT)、香农多样性指数 (SHDI)、集聚度指数 (AI) 等 6 个景观格局指数 (表 1), 探究成都市整体景观格局变化特征, 以反映景观的复杂程度、集聚度、空间连接度和破碎度。

2.2 生态系统服务

基于已有研究^[26-29], 本文选取碳固存、产水量、作物产量、生境质量和水土保持等评估生态系统提供各种服务的能力, 并选取多重生态系统服务景观指数 (Multiple Ecosystem Services Landscape Index, MESLI) 来衡量区域同时提供多种生态系统服务的能力大小。

(1) 碳固存

成都市碳存储总量是基于 4 种类型的碳库 (地

表 1 景观格局指数

Tab. 1 Landscape pattern indexes

景观格局指数	指标含义
平均分维数 (FRAC_MN)	反映景观形状复杂程度, 值越大表示边界形状越不规则, 越复杂。
蔓延度指数 (CONTAG)	描述景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势。
斑块凝聚度 (COHESION)	表达景观空间连接度, 能够体现景观破碎度, 值越大, 景观连接度越好。
破碎度指数 (SPLIT)	反映人类活动的影响程度, 值越大说明人类活动对景观干扰越严重。
香农多样性指数 (SHDI)	反映景观异质性, 特别对景观中各斑块类型非均衡分布状况较为敏感。
集聚度指数 (AI)	表示景观区域内的斑块离散程度, AI 值越小, 表示景观中不同类型的斑块离散程度越大。

上生物碳、地下生物碳、死亡有机碳和土壤碳库) 和土地利用图进行计算。公式如下:

$$C_{x,p}^{\text{total}} = AS_x \times (CD_p^{\text{above}} + CD_p^{\text{below}} + CD_p^{\text{soil}} + CD_p^{\text{dead}}) \quad (2)$$

式中, AS_x 为 x 像元的面积 (hm^2); CD_p^{above} 、 CD_p^{below} 、 CD_p^{soil} 、 CD_p^{dead} 分别为土地利用类型 p 的地上生物碳、地下生物碳、土壤碳库和死亡有机碳, 此系数参考 Sun 的研究^[27]。

(2) 产水量

研究区栅格单元的产水量计算是采用 InVEST 模型中的产水量评估模型, 基于 Budyko 水热耦合平衡假设 (1974) 和年平均降水量数据, 具体计算公式如下:

$$Y_x = (1 - \frac{AET_x}{p_x}) \times p_x \quad (3)$$

式中, Y_x 为研究区栅格单元 x 的年产水量 (mm); p_x 为 x 像元的年降雨量 (mm); AET_x 为 x 像元的年实际蒸散量 (mm)。

(3) 作物产量

作物产量与归一化植被指数间存在显著的线性关系^[30]。本研究将依据此关系, 对作物产量进行估算, 计算公式如下:

$$crop_{x,i} = \frac{NDVI_{x,i}}{NDVI_{\text{sum},i}} \times crop_{c,i} \quad (4)$$

式中, $crop_{x,i}$ 为 i 县城 x 像元的作物产量 (kg); $NDVI_{x,i}$ 、 $NDVI_{\text{sum},i}$ 分别为 i 县城 x 像元的最大归一化

植被指数和 i 县城最大归一化植被指数的和; $crop_{c,i}$ 为 i 县城的作物产量(kg)。

(4) 水土保持

采用 InVEST 中的泥沙输移比(SDR)模块,基于地形和气候条件计算潜在土壤侵蚀量,基于植被覆盖因子和水土保持措施因子计算实际侵蚀量,两者的差值即为土壤保持量。

$$SR = RKLS - USLE \quad (5)$$

式中, SR 为土壤保持量($t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$); $RKLS$ 为潜在土壤侵蚀量($t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$); $USLE$ 为实际土壤侵蚀($t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$)。

基于修正通用的土壤流失方式模型对土壤侵蚀量进行评估,公式如下:

$$RKLS = R \times K \times LS \quad (6)$$

$$USLE = R \times K \times LS \times C \times P \quad (7)$$

式中, R 为降雨侵蚀性因子,计算采用 Wischmeier 提出的相关公式^[31]; K 为土壤可侵蚀性因子,计算采用 EPIC 模型^[32]; LS 为坡度坡长因子; C 为植被覆盖和作物管理因子,参考 Borrelli 等^[33] 估算土壤侵蚀量的赋值方法; P 为水土保持措施因子,假设所有土地利用类型都受到水土保持管理,本研究将 P 赋值为 1。

(5) 生境质量

InVEST 生境质量模型结合土地覆被和威胁因子数据生成生境质量地图^[34-35]。计算公式如下:

$$Q_{xj} = H_j \left(1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + K^z} \right) \right) \quad (8)$$

式中, Q_{xj} 为 LULC 类型 j 中的栅格 x 的生境质量; D_{xj} 为 LULC 或生境类型 j 中栅格 x 的总威胁水平; K 和 Z 为比例因子; H_j 为 LULC 类型 j 的生境适宜度。

2.3 多重生态系统服务景观指数(MESLI)

为了衡量研究区整体生态系统服务水平,本文选取多重生态系统服务景观指数。多重生态系统服务景观指数是一种综合且有价值的环境指标,可以表示不同生态系统同时提供多种服务的能力^[29]。本文基于上述计算所得的各种生态系统服务,对其进行极小值标准化处理,将其转化为可比较、无量纲的[0-1],并进行求和。计算公式如下:

$$MESLI = \sum_{j=1}^5 \frac{x_{i,j} - \min(x_{i,j})}{\max(x_{i,j}) - \min(x_{i,j})} \quad (9)$$

式中, $MESLI$ 为多重生态系统服务景观指数; $x_{i,j}$ 为 i 像元 j 类生态系统服务值; $\min(x_{i,j})$ 为 i 像元 j 类生

态系统服务值的最小值; $\max(x_{i,j})$ 为 i 像元 j 类生态系统服务值的最大值。

2.4 地理探测器模型

地理探测器是探测要素空间分异性,并揭示其背后驱动因子的统计学方法^[36]。模型中如果解释变量和被解释变量空间特征相似,则说明被解释变量受到解释变量的影响,影响程度则由空间特征的相似度决定。此外,还可以度量空间分异性、探测解释因子、分析变量之间交互关系。其包括因子探测器、风险探测器、生态探测器以及交互作用探测器等 4 个探测器。基于上述思想和研究目的,本文选取因子探测器、交互作用探测器两个探测器分别就六种生态系统服务与六种景观指数间的关系进行研究。

其中,因子探测器用于探测碳固存、产水量、水土保持、生境质量、作物产量和多重生态系统服务景观指数六个被解释变量的空间分异性,并明确各解释变量对这种空间分异性的解释程度,用 q 来度量。公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (10)$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (11)$$

$$SST = N \sigma^2 \quad (12)$$

式中, $h=1, \dots, L$ 为各景观指数变化或生态系统服务变化等变量的分层; N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数; σ_h^2 和 σ^2 分别为 h 层和全区的解释变量的方差; SSW 和 SST 分别为 h 层层内方差和全区的总方差。 q 为[0,1],值越大说明解释变量对被解释变量的解释能力越强。

交互作用探测器用于识别不同因子之间的交互作用,与传统分析方法相比,其能够同时分析 2 个变量之间的交互作用。对城市生态系统服务的影响评估,可评估明确城市景观格局指数变化中任意两个因子是相互作用还是独立作用。若存在相互作用,是增强还是减弱。两个因子之间的作用有以下 4 种关系:非线性减弱,单因子非线性减弱,双因子增强,非线性增强。

3 结果分析

3.1 城市景观格局特征

2000—2015 年成都市土地利用分布呈现成都

平原和龙泉山东部丘陵区以耕地和建设用地为主, 龙泉山和龙门山区以林地、草地为主。对比 2000 年和 2015 年土地利用(图 1a、1b)发现,成都市建设用地和林地面积占比分别由 2000 年的 8.60%、21.98% 扩大到 2015 年的 14.25%、22.85%。而耕地和草地面积分别从 9101.18、631.33 km² 减少到 8169.91、594.20 km²。此外,水体和裸地均有所扩张,但变化并不显著。进一步计算土地利用转移矩阵并绘制土地利用转换图(图 1c),发现研究期耕地转入 221.31 km²,转出 1154.35 km²,主要转出为建设用地和林地;建设用地转入 937.85 km²,转出 125.76 km²,主要是耕地转化;林地转入 285.64 km²,转出 161.70 km²,主要是耕地转化。总体来看,成都市土地利用类型变化剧烈,以耕地、建设用地和林地间转移为主。

对成都市划分后的栅格数据进行景观水平上的景观格局分析,2000—2015 年间成都市景观格局发生显著变化(图 2a ~ 2f)。其中,蔓延度指数、斑块凝聚度和集聚度指数呈减少趋势,说明成都市景观空间分布趋于分散,景观破碎度增加,聚合度下降。破碎度指数和香农多样性指数呈现增加趋势,表明景观破碎程度升高,景观异质性和丰富度增加。平均分维数指数中增长和减少单元格占比分别为 51.11%、45.79%,整体变化趋势并不明显,这是因为既有围绕城市核心的斑块增长,也有新斑块产生。就局部区域来看,由于城镇化的快速发展,位于城市核心的成都平原区景观变化显著,各景观指数变化率的绝对值均高于周边地区。此外,成都平原区大量耕地向建设用地转移使其景观形状趋于简单化,景观异质性和破碎度降低,景观空间连接度增强,空

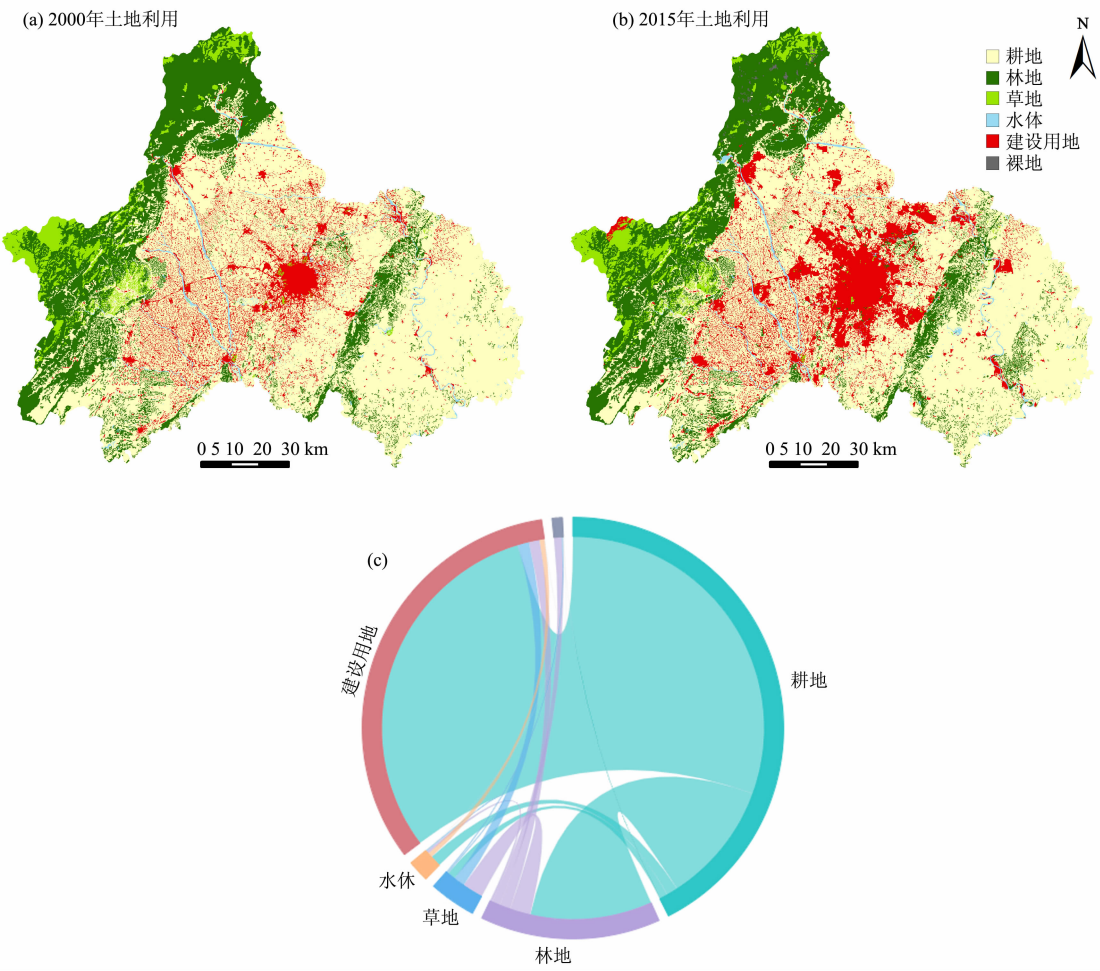


图 1 2000—2015 年成都市土地利用情况:(a),(b)分别为 2000 年和 2015 年土地利用;(c)为 2000—2015 年用地转移

Fig. 1 Spatial distribution and transfer result of land use from 2000 to 2015 in Chengdu city, China;

(a) Spatial distribution of land use in 2000. (b) Spatial distribution of land use in 2015. (c) Transfer result of land use from 2000 to 2015.

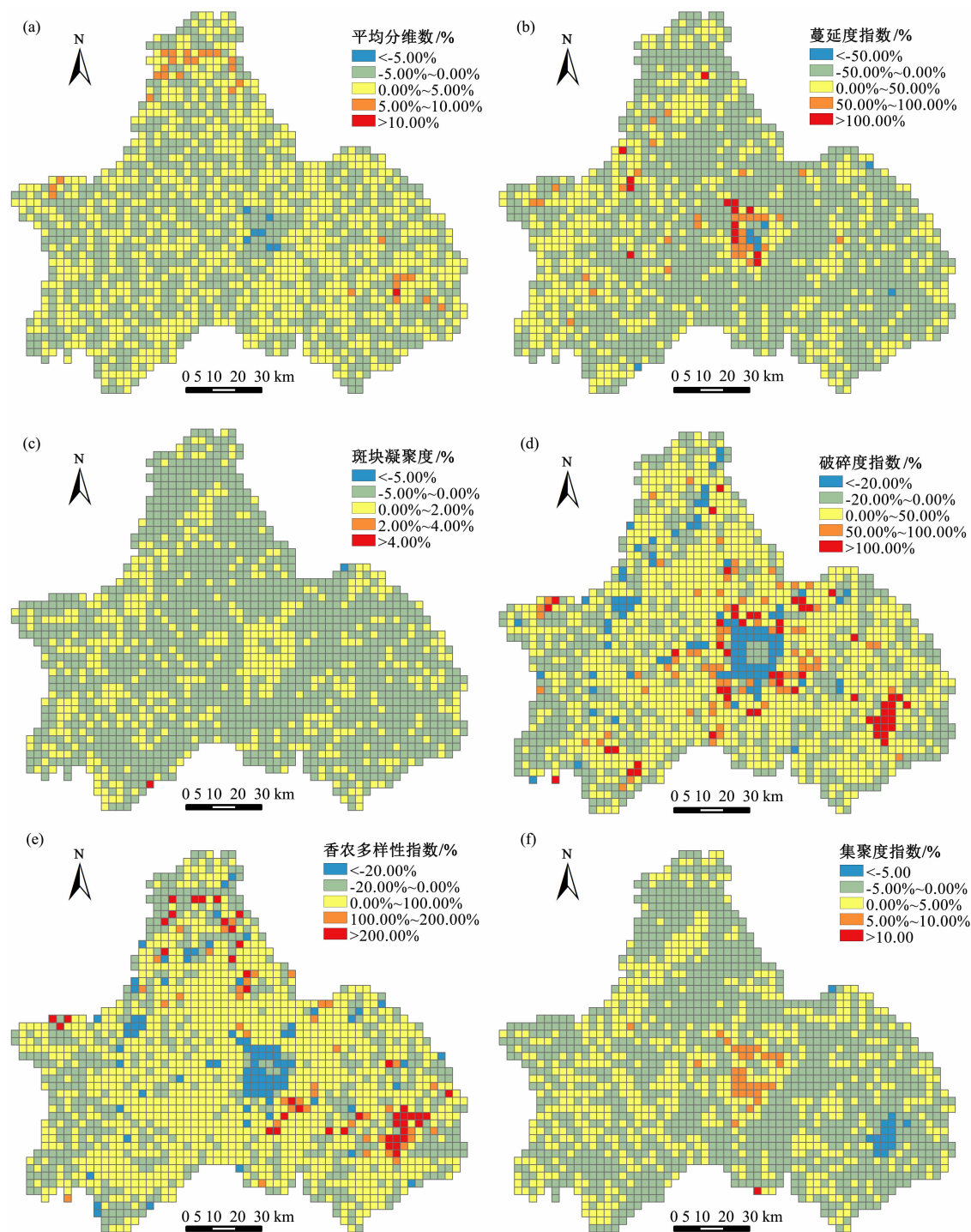


图2 成都市景观格局指数变化特征

Fig. 2 Variation characteristics of landscape indexes in Chengdu city, China

间分布更加集聚。龙门山、龙泉山和西部丘陵区,由于耕地、建设用地和林地的剧烈变动,使地区景观形状趋于复杂,景观异质性增强,破碎化程度升高。

3.2 城市生态系统服务特征

3.2.1 生态系统服务时空变化特征

对成都市 2000—2015 年碳固存、产水量、作物

产量、生境质量和水土保持等进行测度(图 3a ~ 3e)。整体来看,成都市碳固存、作物产量、产水量和生境质量呈减少趋势,减少型网格占比分别为 62.52%、84.36%、70.54% 和 80.52%,其中产水量自西向东呈阶梯式变化,呈“龙门山区—成都平原—龙泉山区—西部丘陵区”梯度式增加。水土保

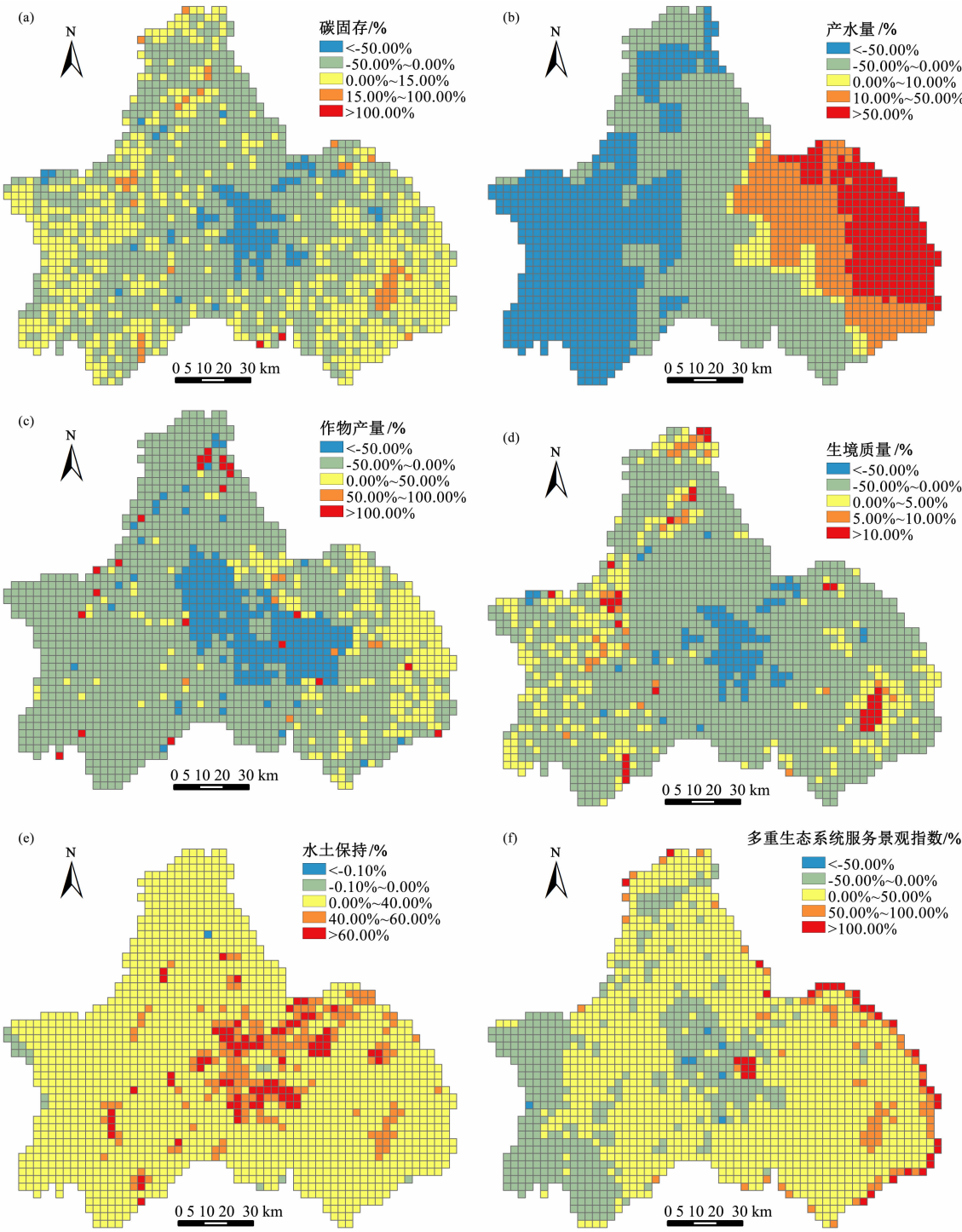


图 3 成都市生态系统服务变化特征

Fig. 3 Variation characteristics of ecosystem services in Chengdu city, China

持整体呈增长趋势,说明近年来成都市水土流失治理工作取得一定成效。就局部区域来看,生态系统服务的变化与区域地形地貌具有密切联系。研究期内成都平原地区大量耕地向建设用地的转移,区域内碳固存、作物产量、生境质量和水土保持变化剧烈,且变化强度均大于 50%。龙泉山区与龙门山区

变化趋势相似,碳固存、生境质量、作物产量以减少为主,水土保持以增加为主。然而,两者之间在产水量变化存在差别,其中龙泉山自南向北呈减少向增加过渡,而龙门山则整体呈减少趋势。西部丘陵区的生态系统服务除作物产量和生境质量以减弱为主外,其余各生态系统服务均以增长为主。

多重生态系统服务景观指数可表征不同生态系统同时提供多种生态系统服务的能力。由图 3f 可知,成都市多重生态系统服务景观指数具有显著的空间分异性,整体上呈增长趋势,高值区主要集中在龙泉山和西部丘陵区,而成都平原和龙门山南部区域相对较低。这可能是由于成都平原和龙门山南部在城镇化进程中,大量城市建成区面积的增加对生态系统的过程 and 结构产生影响,降低了区域生态系统服务供给。此外,龙泉山和西部丘陵区生态系统服务供给能力的提高也证明了实施生态保护政策(如退耕还林还草等)对保障区域生态系统服务供给的必要性。

3.2.2 生态系统服务间的权衡与协同关系

为了进一步探究研究区各生态系统服务间的相互关系,依据增量空间自相关分析结果,并考虑最大化保留空间特征,将研究区划分为 $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ 的网格,计算 2000—2015 年间每个网格的生态系统服务变化量,进行归一化处理并对处理后的生态系统服务变化量进行皮尔逊相关分析,以识别碳固存、产水量、粮食产量、生境质量与水土保持间的相互关系(表 2)。各类生态系统服务的相关系数以正值为主,说明成都市各类生态系统服务以协同关系为主导。协同关系主要存在于碳固存与作物产量、生境质量、水土保持,作物产量和生境质量、水土保持,以及生境质量和水土保持之间。权衡作用存在于碳固存与产水量,产水量与作物产量、生境质量、水土保持。其中,碳固存和生境质量间的协同度最高,产水量和水土保持间的权衡度最高。

表 2 各类生态系统服务间的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients among various ecosystem services

	相关系数				
	碳固存	产水量	作物产量	生境质量	水土保持
碳固存	1.000				
产水量	-0.133 **	1.000			
作物产量	0.294 **	-0.011	1.000		
生境质量	0.979 **	-0.161 **	0.338 **	1.000	
水土保持	0.134 **	-0.302 **	0.212 **	0.187 **	1.000

注: **0.01 水平上显著相关(双尾); *0.05 水平上显著相关(双尾)。

3.3 城市景观及生态效应

为探究城市生态系统服务对景观格局变化的响

应,本文选取表征城市景观格局的平均分维数(FRAC_MN)、蔓延度指数(CONTAG)、斑块凝聚度(COHESION)、破碎度指数(SPLIT)、香农多样性指数(SHDI)、集聚度指数(AI)6 个景观指数的变化率作为自变量,选取碳固存、产水量、作物产量、生境质量、水土保持和多重生态系统服务景观指数等作为因变量。因景观格局指数具有空间异质性,需考虑空间效应的影响,故本研究采用地理探测器模型进行分析。首先,利用地理探测器甄别影响各类生态系统服务变化的主要驱动因子,其次,利用交互探测器识别各因子变化之间的相互作用的交互作用强度。

3.3.1 基于因子探测的结果

因子探测结果显示(表 3),不同景观指数的变化对生态系统服务的影响具有显著差异,且同一景观指数的变化对不同生态系统服务的影响也存在差异。城市碳固存、生境质量和水土保持变化率与所选取的景观指数变化率均具有显著的相关性,其中碳固存变化对其响应程度从大到小依次是:集聚度指数、破碎度指数、蔓延度指数、香农多样性指数、斑块凝聚度和平均分维数,生境质量变化的响应度依次是:集聚度指数、破碎度指数、蔓延度指数、香农多样性指数、斑块凝聚度和平均分维数,水土保持变化的响应度依次是:集聚度指数、香农多样性指数、破碎度指数、连接度、蔓延度指数和平均分维数。可见,城市碳固存、生境质量和水土保持的变化与城市聚集分散程度、城市景观破碎度、景观分布均衡情况和景观的空间连续性等变化有较强的相关性。此外,城市产水量、作物产量和多重生态系统服务的变化分别与破碎度指数、集聚度指数、斑块凝聚度和蔓延度指数等的变化有不同程度的显著相关性。虽然结果中一些因子没有通过显著性检验,但根据 q 值统计结果,各因子的变化对各类生态系统服务变化均具有深刻影响。总体而言,成都市生态系统服务变化与城市景观格局斑块复杂程度、集聚分散程度、景观分布均衡度和空间破碎与连续性的指标的变化具有相关性,即景观分布格局的变化将促使城市内部生态系统间的流动,带来生态系统服务的变化。

3.3.2 基于交互作用探测的结果

交互探测分析,发现各景观指数的变化对生态服务的影响并不独立,因子交互作用对生态服务的影响均高于单因子的影响,分为双因子增强和非线性增强效应,说明城市生态系统服务的变化是

景观形状复杂度、集聚度、破碎度等综合作用的结果。不同生态系统服务中主导交互作用类型有差异,将主导交互作用最强的前四组进行统计,结果如表 4 所示。其中,景观丰富度和集聚度的变化叠加 ($SHDI \cap AI$) 对碳固存和水土保持的解释力最大,分别为 18.40% 和 5.8%,说明景观丰富度相同的不同景观集聚度地区和相同集聚度不同景观丰富度地区间碳固存和水土保持的变化差异显著。产水量和生境质量中 q 值最高为破碎度指数与集聚度的叠加 ($SPLIT \cap AI$),解释力分别为 4.9% 和 5.8%,其交互作用下的相关性均为非线性增强。作物产量相关性最强的前四位因子交互作用均为集聚度叠加某一景观指数,但因子叠加效应存在差异,其中斑块凝聚度和集聚度的变化叠加 ($CONHESION \cap AI$) 对作物产量变化影响最大。对多重生态系统服务景观指数来说,解释力最高的是蔓延度指数与破碎度指数的变化叠加效应 ($CONTAG \cap SPLIT$),为 3.5%。总体来看,集聚度指数与其他因子的交互对各生态系统服

务的作用要强于其余因子间的交互作用,六种生态系统服务变化指标中因子交互作用解释力最高达 18.4%,最低为 2.2%。

4 讨论

2000—2015 年成都市城镇化、工业化快速发展,土地利用结构剧烈变化。随之带来景观格局上的剧烈变化,表现在区域同类型斑块增加,景观集聚度增加,景观要素在空间上密集分布,这与以往研究成果相一致^[37]。由于人类活动和相关政府政策的实施,城市土地利用方式发生转变,城市景观破碎化程度增强,城市生态系统服务发生显著变化。例如,近年来成都市龙泉山生态建设工程,综合考虑自然和人文等因素,合理规划土地利用布局,科学评估龙泉山生态敏感性,最终显著提高了龙泉山生态系统服务的供给能力。因此,基于土地利用、城市景观格局与生态系统服务两者之间的紧密联系,从城市景

表 3 成都市生态系统服务与景观格局因子探测结果

Tab.3 Factors detection analysis results of ecosystem services and landscape pattern in Chengdu city, China

生态服务类型	平均分维数	蔓延度指数	斑块凝聚度	破碎度指数	香农多样性指数	集聚度指数
碳固存	0.024***	0.081***	0.065***	0.097***	0.068***	0.103***
产水量	0.001	0.006	0.009**	0.0159***	0.002	0.012***
作物产量	0.004	0.003	0.003	0.004	0.001	0.015***
生境质量	0.011***	0.036***	0.026***	0.042***	0.034***	0.058***
水土保持	0.007**	0.013***	0.013***	0.017***	0.020***	0.026***
多重生态系统服务景观指数	0.003	0.010**	0.002	0.012***	0.001	0.002

注:***0.01 水平上显著相关;**0.05 水平上显著相关;*0.1 水平上显著相关。

表 4 成都市生态系统服务与景观格局交互作用探测结果

Tab.4 Interaction detection analysis results of ecosystem services and landscape pattern in Chengdu city, China

主导交互作用	碳固存	产水量	作物产量	生境质量	水土保持	多重生态系统服务 景观指数
主导交互作用 1	SHDI \cap AI	SPLIT \cap AI	CONHESION \cap AI	SPLIT \cap AI	SHDI \cap AI	CONTAG \cap SPLIT
q	0.184	0.049	0.026	0.091	0.058	0.035
主导交互作用 2	SPLIT \cap AI	CONHESION \cap SPLIT	SPLIT \cap AI	CONTAG \cap AI	CONTAG \cap AI	CONTAG \cap SHDI
q	0.175	0.047	0.025	0.089	0.051	0.028
主导交互作用 3	CONTAG \cap AI	CONTAG \cap AI	FRAC_MN \cap AI	CONHESION \cap AI	SPLIT \cap AI	SPLIT \cap SHDI
q	0.161	0.041	0.024	0.084	0.050	0.026
主导交互作用 4	CONHESION \cap AI	SPLIT \cap SHDI	CONTAG \cap AI	FRAC_MN \cap AI	FRAC_MN \cap SHDI	SPLIT \cap AI
q	0.146	0.040	0.022	0.073	0.042	0.026

观格局的生态效应视角出发,合理布局城市土地利用结构,才有利于区域生态安全建设和生态系统的可持续发展。

以往的城市规划多注重于城市建设和农田保护,忽略城市空间格局下的生态效应,造成城镇化过程中大量的农业用地转化为建设用地。鉴于目前城市规划的重点已逐渐转向经济发展兼顾生态保护和修复,量化生态系统服务与景观格局的关系对目前城市规划具有重要的理论和实践意义。城镇化过程易使景观趋于破碎化,增加景观的空间异质性,同时城市生态系统服务也随之下降,即城镇化过程中城市景观格局与生态系统服务是显著相关的^[38-39]。因此,针对都市功能核心区的城市规划,除了要考虑自然环境、交通、基础设施等因素外,还应考虑到规划后的景观形状复杂度、集聚度、破碎度、连通性等因素,需要规划者在进行规划时综合考虑各区域用地需求、用地布局、用地结构等,尽量减少景观破碎度和形状的复杂性,保障生态系统服务需求,以实现规划的有效性和合理性。

本研究相较于以往研究,采用动态变化率指标,更能反映因子驱动力的作用。基于格网单元分析生态系统服务对景观格局变化的响应,可以体现空间异质性的表达。此外,借助地理探测器模型来分析两者间的关系,证实了景观格局对不同研究区的生态系统服务存在不同影响,即存在空间异质性,有助于制定更合适和有效的规划政策,避免景观格局变化产生负面生态效应。实际上生态系统服务的变化应取决于静态的景观初始格局和景观变化率两方面,本次限于研究侧重点在于鲜少关注的景观变化率,关于城市景观生态中静态和动态效应的研究将在下一步工作中展开。此外,随着人类活动的加剧,土地利用方式的转变,将面临更加突出的生态环境问题。因此,合理配置土地资源,提高土地利用效率和实现生态系统服务的最优化,是未来多目标规划的核心。

5 结论

本文选取成都市为研究区,综合利用空间分析和生态模型分析,对2000—2015年的城市景观格局及生态系统服务时空变化特征进行分析,并通过地理探测器模型就生态系统服务对城市景观格局的效

应进行探究,以认识两者之间的内在联系。主要得出以下结论:

(1)成都市土地利用以耕地、建设用地和林地为主。整体上,2000—2015年间建设用地、林地呈增加趋势,耕地和草地呈减小趋势。土地利用类型转移处于不均衡态势,主要是耕地、草地转出和建设用地、林地转入,其中成都平原区是变化最剧烈的区域,主要为耕地向建设用地的转移。

(2)2000—2015年间成都市景观格局变化显著。总体来看,成都市景观空间分布趋于分散,景观破碎度和异质性增强。成都平原区景观形状趋于简单化,景观异质性和破碎度降低,景观空间连接度增强,空间分布更加集聚。而龙门山、龙泉山和西部丘陵区,景观形状则趋于复杂,景观异质性增强,破碎化程度升高。

(3)就生态系统服务来看,成都市碳固存、作物产量、产水量和生境质量呈减少趋势,水土保持呈增加趋势,且产水量自西向东呈“龙门山区—成都平原—龙泉山区—西部丘陵区”梯度式变化。由于人类活动和政府政策作用,局部区域生态系统服务存在显著空间差异性。此外,成都市多种生态系统服务供给能力整体上呈增长趋势,这可能与各类生态系统服务间以协同关系为主有关。

(4)地理探测器结果显示,不同景观指数对生态系统服务的影响具有显著差异,且同一景观指数对不同生态系统服务的影响也存在差异。城市生态系统服务是景观形状复杂度、集聚度、破碎度等综合作用的结果,各景观指数对生态服务的影响并不独立,景观指数交互作用对生态系统服务的影响均高于单因子的影响。

参考文献(References)

- [1] 张晓瑞,张飞舟. 快速城市化影响下超大型城市景观生态格局演变特征分析[J]. 中国农业大学学报,2019,24(4): 157-166. [ZHANG Xiaorui, ZHANG Feizhou. Analysis on the evolution characteristics of landscape ecology pattern of mega-city region under the influence of rapid urbanization [J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(4): 157-166] DOI: 10.11841/j. issn. 1007-4333. 2019. 04. 19
- [2] 郭少壮,白红英,孟清,等. 秦岭地区林地与草地景观格局变化及其驱动因素[J]. 生态学报,2020,40(1): 130-140. [GUO Shaozhuang, BAI Hongying, MENG Qing, et al. Landscape pattern changes of woodland and grassland and its driving forces in Qinling

- Mountains [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(1):130 – 140] DOI: 10.5846/stxb201811072418
- [3] 叶晶萍,刘士余,盛菲,等. 寻乌水流域景观格局演变及其生态环境效应[J]. *生态学报*, 2020, **40**(14):4737 – 4748. [YE Jingping, LIU Shiyu, SHENG Fei, et al. Landscape pattern evolution and ecological environment effect of Xunwu watershed [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(14):4737 – 4748] DOI: 10.5846/stxb201909201966
- [4] 陈利顶,孙然好,刘海莲. 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展[J]. *生态学报*, 2013, **33**(4):1042 – 1050. [CHENG Liding, SUN Ranhao, LIU Hailian, et al. Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: Progresses, problems, and perspectives [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **33**(4):1042 – 1050] DOI: 10.5846/stxb201205070659
- [5] 徐建英,樊斐斐,刘焱序,等. 汶川县生态系统服务对景观格局及其变化的响应[J]. *生态学报*, 2020, **40**(14):4724 – 4736. [XU Jianying, FAN Feifei, LIU Yanxu, et al. Response of ecosystem services to landscape pattern and its changes in Wenchuan county, Sichuan province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(14):4724 – 4736] DOI: 10.5846/stxb201905201038
- [6] 易阿岚,王钧. 上海市湿地景观格局时空演变与驱动机制的量化研究[J]. *生态学报*, 2021, **41**(7). [YI Alan, WANG Jun. Quantitative study on spatio-temporal evolution and mechanisms of wetland landscape patterns in Shanghai [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(7)] DOI: 10.5846/stxb202002150262
- [7] BUYANTUYEV A, WU J, GRIES C. Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: Time, space and thematic resolution [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, **94**:206 – 217. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2009.10.005
- [8] CHEUNG A K L, BRIERLEY G, O'SULLIVAN D. Landscape structure and dynamics on the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Ecological Modelling*, 2016, **339**:7 – 22. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2016.07.015
- [9] LI Huilei, PENG Jian, LIU Yanxu, et al. Urbanization impact on landscape patterns in Beijing City, China: A spatial heterogeneity perspective [J]. *Ecological Indicators*, 2017, **82**:50 – 60. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.06.032
- [10] 巫丽芸,何东进,游巍斌,等. 东山岛海岸带景观破碎化时空梯度分析[J]. *生态学报*, 2020, **40**(3):1055 – 1064. [WU Liyun, HE Dongjin, YOU Weibin, et al. A gradient analysis of coastal landscape fragmentation change in Dongshan island, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(3):1055 – 1064] DOI: 10.5846/stxb201811142460
- [11] BROWN M T, ULGIATI S. Energy quality, emergy, and transformity: H. T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems [J]. *Ecological Modelling*, 2004, **178**(1):201 – 213. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002
- [12] 刘菊,傅斌,张成虎,等. 基于 InVEST 模型的岷江上游生态系统水源涵养量与价值评估[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, **28**(3):577 – 585. [LIU Ju, FU Bin, ZHANG Chenghu, et al. Assessment of ecosystem water retention and its value in the upper reaches of Minjiang River based on InVEST model [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, **28**(3):577 – 585] DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201903008
- [13] 欧阳晓,贺清云,朱翔. 多情景下模拟城市群土地利用变化对生态系统服务价值的影响 – 以长株潭城市群为例[J]. *经济地理*, 2020, **40**(1):93 – 102. [OUYANG Xiao, HE Qingyun, ZHU Xiang. Simulation of impacts of urban agglomeration land use change on ecosystem services value under multi-scenarios: Case study in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration [J]. *Economic Geography*, 2020, **40**(1):93 – 102] DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2020.01.011
- [14] 李梦桃,周忠学. 西安市城市景观的正负生态系统服务测算及空间格局[J]. *地理学报*, 2016, **71**(7):1215 – 1230. [LI Mengtao, ZHOU Zhongxue. Positive and negative ecosystem services evaluation and its spatial pattern analysis on urban landscape: A case study of Xi'an city [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, **71**(7):1215 – 1230] DOI: 10.11821/dlxb201607010
- [15] 刘兴坡,李璟,周亦昀,等. 上海城市景观生态格局演变与生态网络结构优化分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, **28**(10):2340 – 2352. [LIU Xingpo, LI Jing, ZHOU Yiyun, et al. Analysis of landscape ecological pattern evolution and ecological network structure optimization for Shanghai [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, **28**(10):2340 – 2352] DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201910007
- [16] SU Shiliang, WANG Yaping, LUO Fanghan, et al. Peri-urban vegetated landscape pattern changes in relation to socioeconomic development [J]. *Ecological Indicators*, 2014, **46**:477 – 486. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.06.044
- [17] TANG Jianxiong, LI Yanmin, CUI Shenghui, et al. Linking land-use change, landscape patterns, and ecosystem services in a coastal watershed of southeastern China [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020 (23):e01177. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e01177
- [18] HAAS J, BAN Y. Urban land cover and ecosystem service changes based on Sentinel-2A MSI and Landsat TM data [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2018, **11**(2):485 – 497. DOI: 10.1109/JSTARS.2017.2786468
- [19] LI Cheng, ZHAO Jie. Investigating the spatiotemporally varying correlation between urban spatial patterns and ecosystem services: A case study of Nansihu Lake Basin, China [J]. *International Journal of Geo-Information*, 2019, **8**(8):346. DOI: 10.3390/ijgi8080346
- [20] 高祖桥,白永平,周亮,等. 宁夏沿黄城市带湿地景观格局演变特征及驱动力[J]. *应用生态学报*, 2020, **31**(10):3499 – 3508.

- [GAO Zuqiao, BAI Yongping, ZHOU Liang, et al. Characteristics and driving forces of wetland landscape pattern evolution of the city belt along the Yellow River in Ningxia, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, **31**(10):3499–3508] DOI: 10.13287/j.1001-9332.202010.013
- [21] 梁艳艳, 赵银娣. 基于景观分析的西安市生态网络构建与优化[J]. 应用生态学报, 2020, **31**(11):3767–3776. [LIANG Yanyan, ZHAO Yindi. Construction and optimization of ecological network in Xi'an based on landscape analysis [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, **31**(11):3767–3776] DOI: 10.13287/j.1001-9332.202011.019
- [22] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例[J]. 地理科学, 2018, **38**(1):97–106. [YANG Qingke, DUAN Xuejun, WANG Lei, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta [J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, **38**(1):97–106] DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.01.011
- [23] HAO Ruifang, YU Deyong, LIU Yupeng, et al. Impacts of changes in climate and landscape pattern on ecosystem services [J]. Science of the Total Environment, 2017, **579**:718–728. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.036
- [24] O'NEILL R V, KRUMMEL J R, GARDNER R H, et al. Indices of landscape pattern [J]. Landscape Ecology, 1988, **1**(3):153–162.
- [25] 陈爽, 李阳兵, 李明珍. 镇域尺度的规模农地演变特征及其驱动机制研究——以重庆奉节县为例[J]. 山地学报, 2021, **39**(1):101–116. [CHEN Shuang, LI Yangbing, LI Mingzhen. Evolution pattern and driving mechanism in farmland of scale on town level: A case study of Fengjie County in Chongqing, China [J]. Mountain Research, 2021, **39**(1):101–116] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000579
- [26] JIANG Chong, ZHANG Haiyan, ZHANG Zhidong. Spatially explicit assessment of ecosystem services in China's Loess Plateau: Patterns, interactions, drivers, and implications [J]. Global and Planetary Change, 2018, **161**:41–52. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2017.11.014
- [27] SUN Xiao, LI Feng. Spatiotemporal assessment and trade-offs of multiple ecosystem services based on land use changes in Zengcheng, China [J]. Science of the Total Environment, 2017, **609**:1569–1581. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.221
- [28] RODRIGUEZ-LOINAZ G, ALDAY J G, ONAINDIA M. Multiple ecosystem services landscape index: A tool for multifunctional landscapes conservation [J]. Journal of Environmental Management, 2015, **147**:152–163. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.09.001
- [29] MOUCHET M A, PARACCHINI M L, SCHULP C J E, et al. Bundles of ecosystem (dis) services and multifunctionality across European landscapes [J]. Ecological Indicators, 2017, **73**:23–28. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.09.026
- [30] KURI F, MURWIRA A, MURWIRA K S, et al. Predicting maize yield in Zimbabwe using dry dekads derived from remotely sensed Vegetation Condition Index [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, **33**:39–46. DOI: 10.1016/j.jag.2014.04.021
- [31] BELASRI A, LAKHOULI A. Estimation of soil erosion risk using the universal soil loss equation (USLE) and geo-information technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco [J]. Journal of Geographic Information System, 2016, **8**:98–107. DOI: 10.4236/jgis.2016.81010
- [32] WILLIAMS J R. The erosion-productivity impact calculator (EPIC) model: A case history [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences, 1990, **329**(1255):421–428. DOI: 10.1098/rstb.1990.0184
- [33] BORRELLI P, ROBINSON D A, FLEISCHER L R, et al. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion [J]. Nature Communications, 2017, **8**:2013. DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7
- [34] ASADOLAH Z, SALMANMAHINY A, SAKIEH Y, et al. Dynamic trade-off analysis of multiple ecosystem services under land use change scenarios: Towards putting ecosystem services into planning in Iran [J]. Ecological Complexity, 2018, **36**:250–260. DOI: 10.1016/j.ecocom.2018.09.003
- [35] 荣月静. 基于土地利用变化的南京市碳储量与生物多样性功能模拟[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2015:50–59. [RONG Yuejing. The simulation of carbon storage and biodiversity function in Nanjing city based on land use change [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2015:50–59]
- [36] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, **72**(1):116–134. [WANG Jinfeng, XU Chengdong. Geodetector: principle and prospective [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, **72**(1):116–134] DOI: 10.11821/dlxb201701010
- [37] 吴健生, 罗可雨, 赵宇豪. 深圳市近20年城市景观格局演变及其驱动因素[J]. 地理研究, 2020, **39**(8):1725–1738. [WU Jiansheng, LUO Keyu, ZHAO Yuhao. The evolution of urban landscape pattern and its driving forces of Shenzhen from 1996 to 2015 [J]. Geographical Research, 2020, **39**(8):1725–1738] DOI: 10.11821/dlyj020190539
- [38] ZHANG Yan, LIU Yanfang, ZHANG Yang, et al. On the spatial relationship between ecosystem services and urbanization: A case study in Wuhan, China [J]. Science of the Total Environment, 2018(637–638):780–790. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.396
- [39] 范贺娟, 来风兵, 曹家睿, 等. 天山野果林区滑坡景观时空演变及生态风险预测[J]. 山地学报, 2020, **38**(2):231–240. [FAN Hejuan, LAI Fengbing, CAO Jiarui, et al. Spatio-temporal

evolution and ecological risk prediction of landslide landscape in
the Tianshan Wild Fruit Forest Area [J]. Mountain Research,

2020, 38(2):231–240] DOI: 10.16089/j.cnki.1008–2786.
000505

Correlation Effect in the Developing of Landscape Patterns with the Changes in Ecosystem Services in Chengdu City, China

ZHOU Shuang^{1,2}, LIU Shaoquan¹, PENG Li^{3*}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. College of Geography and Resources Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China)

Abstract: With city urbanization, landscape pattern is tremendous changing, resulting in significant changes in urban ecosystem process and structure, along with reduction in the effective use of ecosystem functions and supply of ecosystem services. Studies on the spatiotemporally varying relationship between urban landscape patterns and ecosystem services are lacking; thus, it is important to conduct relevant studies focusing on the urban landscape ecology and future urban spatial planning. In this study, Chengdu city, China was used as a case study. The investigation aimed at analyzing the spatiotemporal changes in landscape patterns and ecosystem services using landscape pattern index analysis and ecosystem service models to analyze the data collected from 2000 to 2015 in the urban region. In addition, based on Pearson's correlation coefficient and Geodetector model, the tradeoffs and synergies between the ecosystem services and the spatiotemporally varying relationship between landscape patterns and ecosystem services in the urban region, from 2000 to 2015, were investigated. The key results are as follows: (1) During the study period, there was an increasing in the areas of construction and forest showed trend, whereas a decreasing tendency in cultivated areas and grassland. The transfer of land use types occurred mainly between cultivated areas, grassland, construction areas, and forest; (2) In the sight of selected landscape indexes, the fragmentation and heterogeneity of the overall landscape pattern of Chengdu showed a growing tendency; (3) From the perspective of ecosystem services, carbon sequestration, crop yield, and production, the water volume and habitat quality tended to decline, while soil and water conservation were upward. There were stepped increases in water conservations from west to east, in the direction of “the Longmen Mountains-the Chengdu Plain-the Longquan Mountains-the western hilly area of Chengdu”. Estimated multiple ecosystem service landscape was on the rise possibly because of synergy relationship between ecosystem services; (4) Urban landscape pattern had a significant impact on the ecosystem services and affected urban ecosystem services through multiple dimensions of the landscape pattern. These results can provide scientific and effective support for the planning and ecological construction in Chengdu.

Key words: urban; landscape ecology; land use; Geodetector