

# 西安市城市景观的正负生态系统服务测算及空间格局

李梦桃, 周忠学

(陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710119)

**摘要:** 综合测评城市景观的复合(正负)生态系统服务功能和评价不同城市景观类型的生态系统服务贡献,对优化、调控在城市化影响下的景观转换和城市生态环境建设等具有重要的科学意义。运用景观生态学理论与生态系统服务理论,基于研究区的TM遥感影像和Erdas、ArcGIS 10.1软件对西安市建成区2013年城市景观的复合生态系统服务进行测算和空间分析。结果表明:①西安城市景观产生的负向生态系统服务价值远高于正向生态系统服务价值,净生态系统服务达 $-12.71 \times 10^8$ 元;在城市化过程中,随着自然景观向半人工景观、人工景观的转变,导致景观生态系统服务的价值急剧下降,负向生态系统服务占主导,87.81%的土地复合生态系统服务为负值,仅有12.19%的土地复合生态系统服务为正值,以建筑用地为主体的城市景观体系必然会导致生态系统服务的下降。②西安市城市景观的总正向生态系统服务空间分布差异明显,整体呈现为研究区中心值低于四周,沿行道绿地、公园绿地等景观形成格网状、斑块状分布的高值区;总负向生态系统服务整体上呈现中心值高于四周,高值区较集聚,自然景观和半人工景观是维系城市正向生态系统服务的主要景观类型。③城市景观的空间分布基本上决定了复合生态系统服务的空间大格局,西安市各城市景观类型的空间组合与镶嵌状况,使得生态系统服务正负值呈斑块状、棋盘状交错分布的格局。愈向城市外围,复合生态系统服务价值越高;城中林地、绿地和水域分布的地方是复合生态系统服务价值网状高值区。

**关键词:** 城市景观;复合生态系统服务;正负生态系统服务;西安市

DOI: 10.11821/dlxb201607010

## 1 引言

通常生态系统服务是指人类从生态系统获得的收益或好处<sup>[1]</sup>,但生态系统在向人类提供好处的同时,也不可避免地对人类产生一些负面的影响,即负向生态系统服务(ecosystem disservice, EDS)<sup>[2-5]</sup>。负向生态系统服务是指自然生态系统对人类生产、生活造成的负面影响及因生态系统退化而对人类生产、生活造成的负面影响<sup>[4]</sup>。负向生态系统服务不仅产生于自然景观如洪水、地震、有毒气体的排放、花粉致敏<sup>[3]</sup>等,还来自于人类活动占主导的人工景观上所产生的负面影响如造成的污染气体的排放等<sup>[4]</sup>。尽管目前学术界对生态系统产生的负向生态系统服务的提法还存在争论,但对负向生态系统服务的存在是认同的<sup>[5]</sup>。生态系统服务研究的根本目的是为了更加广泛、更加全面和更深入地服务于人类经济社会发展与环境管理决策,以人类活动占主导的生态系统类型的负向生态系统

收稿日期: 2015-10-11; 修订日期: 2016-02-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271550); 教育部人文社会科学研究西部和边疆地区项目(12XJC790003)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41271550; Humanities and Social Sciences Project of Ministry of Education in the West and the Frontier Areas, No.12XJC790003]

作者简介: 李梦桃(1992-), 女, 河北衡水人, 硕士, 研究方向为区域开发与城乡发展。E-mail: 1310976851@qq.com

通讯作者: 周忠学(1972-), 男, 甘肃崇信人, 博士, 副教授, 主要从事区域经济发展、资源环境评价、生态服务等研究。

E-mail: zhouzhx@snnu.edu.cn

服务是目前讨论的热点,并将成为未来的研究重点<sup>[5]</sup>,因为城市生态系统以人类活动为主,产生负向生态系统服务是不可避免的,并对城市经济社会和环境发展产生着重要的影响,把城市生态系统产生的负向生态系统服务纳入到生态服务评价中具有重要的意义。

城市景观是一种典型的以人为活动占优势、受人为干扰强度最大的景观类型,其组分结构和时空分布格局与其它生态系统和景观相比,具有明显的差异性<sup>[6-7]</sup>。城市景观大致由三类景观系统组成,即人工景观单元、自然景观单元、半人工景观单元。城市化过程推动了自然景观向半人工景观、人工景观转变,导致了空气污染、生物多样性减少、热岛效应等问题,严重削弱了城市自然景观对人类生存提供生态系统服务支撑的能力,影响着城市人居环境的质量和适宜程度,甚至冲击着城市系统的可持续发展。如何综合测评城市景观的复合(正负)生态系统服务能力,评价不同城市景观类型的生态系统服务贡献,对优化、调控城市化影响下的自然景观向半人工、人工景观的转变过程和城市生态环境建设等具有重要的科学意义。

城市景观既可以为城市居民带来正向服务,同时也会产生负面的影响,国外学者对城市生态系统产生的生态系统服务包括负向生态系统服务等进行讨论及评价<sup>[4,8]</sup>。当前对城市景观生态方面的研究,主要集中在城市景观规划设计<sup>[9]</sup>、城市景观格局及其演变<sup>[10-12]</sup>等方面,而对城市景观生态系统服务测算较少,并且对城市景观负向生态系统服务的价值测算尚很少见。如李锋等<sup>[13]</sup>在常州市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变研究中对林地、农田、水体及建设用地变化引起生态系统服务经济价值增减做了讨论,表明城市化会导致城市生态系统服务功能下降,使建成区成为生态系统服务功能的低值区,但对建设用地的生态系统服务经济价值的测算指标与方法未做进一步深入分析。陈利顶等<sup>[14]</sup>在对城市景观格局演变的生态环境效应中指出城市景观的类型、变化及空间位置会对热岛效应产生显著的影响,城市景观格局与大气污染有着密切的联系。还有学者对银川市的城市生态系统服务价值的变化做了分析<sup>[15]</sup>,但仅局限于对气候调节、水源涵养等正向生态系统服务的测算,没有涉及到负向生态系统服务。Jian等<sup>[9]</sup>在评估深圳市城市生态系统健康时同样是从景观格局及正向生态系统服务的角度来研究的。

综上,城市化过程中的城市景观格局与过程变化以及生态效应问题已经成为目前研究的热点问题,但涉及城市景观生态系统服务测评的研究较少。城市自然景观及半人工景观为人类提供气候调节、旅游休闲、环境净化等正向生态系统服务支撑,而城市化过程中人工景观增加是以自然景观、半人工景观减少为代价的,空气污染、热岛效应等负向生态系统服务也随之而生,只有对正向、负向生态系统服务进行全面地测评,才能科学评价城市景观的生态系统服务贡献,达到优化和调控的目标。本文从景观生态学及生态系统服务多样性视角,构建基于栅格尺度(15 m×15 m)的城市景观的正向和负向生态系统服务指标,并构建了城市景观特别是负向生态系统服务的测算方法,综合评价和分析城市景观的综合服务及空间格局,为城市景观生态系统综合服务功能评价提供了新思路,对维护社会经济和自然环境的和谐发展、构建适宜的人居环境、优化城市景观建设、促进生态城市建设等具有重要意义。

## 2 研究区概况与数据来源

### 2.1 研究区概况

西安市位于渭河流域中部关中盆地,介于107°40'E~109°49'E, 33°42'N~34°45'N之间。主要由秦岭山地、黄土台塬和渭河平原构成,地势东南高西北低,海拔高低差异悬

殊。属暖温带半湿润大陆性季风气候,冷暖干湿四季分明,年平均气温 $13.0\sim 13.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年降水量 $522.4\sim 719.5\text{ mm}$ 。西安市下辖10区3县,土地面积 $10096.81\text{ km}^2$ ,人口858.81万人,城市化率51.43%。本文选择建设用地比例大于60%的城市化地区作为研究区域(图1),面积为 $2527.34\text{ km}^2$ ,包括雁塔区、碑林区、莲湖区、新城区、未央区以及长安区等的绝大部分城市建成区和少量半城市化地区。

西安是国家重要的教育、科研、工业基地,是西北地区重要的中心城市。近年来随着经济和城市化的加速发展以及西咸新区等大力开发建设,城市景观也发生了很大变化。从1991年批准建设西安高新技术开发区开始,到后来的曲江新区、浐灞生态园、市政中心、西安国家民用航天产业基地以及分布于城区的诸多住宅小区的开发建设,再到近几年的规模较大的西安国际港务区、西咸新区开发和西安三星城等开发建设,以及城市公园、主要干道等新建、拓宽和景观建设。建成区迅速扩大,极大地推进了区域由自然景观向半人工、人工景观急剧转变,自然生态廊道遭到破坏,景观破碎化程度加大,导致生态系统服务提供及其空间格局发生巨大转变。同时,城镇人口数量不断增加,产生了一系列的生态环境问题,如热岛效应增强,空气污染加剧等。2013年西安空气污染天数为227天,其中 $\text{PM}_{2.5}$ 为首要污染物的天数为138天,占到60.8%<sup>[6]</sup>。研究表明1992-2013年西安城区气温平均升高约 $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,西安郊区气温平均升高 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,西安市的热岛强度呈上升趋势<sup>[17]</sup>。因此,测评城市景观产生的生态系统服务,对营造宜居城市环境、构造良好的城市生态环境,促进城市经济、环境协调发展有着重要的意义。

## 2.2 数据来源

城市景观系统的生态系统服务测评采用的数据:① 2013年西安市TM遥感影像数据(<http://earthexplorer.usgs.gov/>),并结合植被类型图和土地利用现状图对影像进行解译得到林地、园地、草地、耕地、水域、建设用地6种城市景观类型(图2);② 环境污染监测数据,来源于西安市环境监测站(<http://www.xianemc.gov.cn/>);③ 气温数据,包括平均气温、城市下垫面实际温度,来源于地表温度反演及实时监测(<http://lishi.tianqi.com/xian/index.html>);④ 人口密度等社会经济数据,来自于第六次全国人口普查数据。

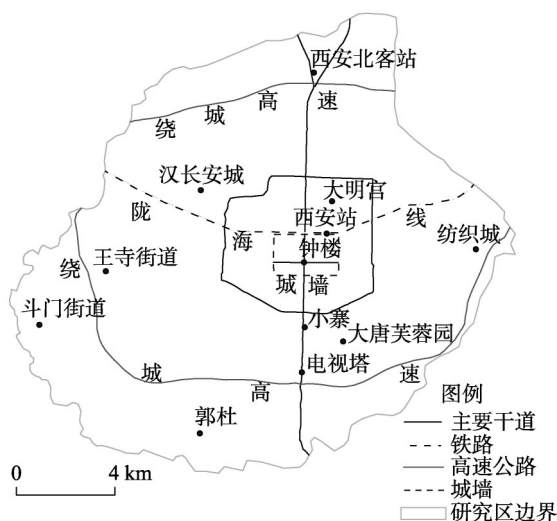


图1 研究区范围

Fig. 1 Study area

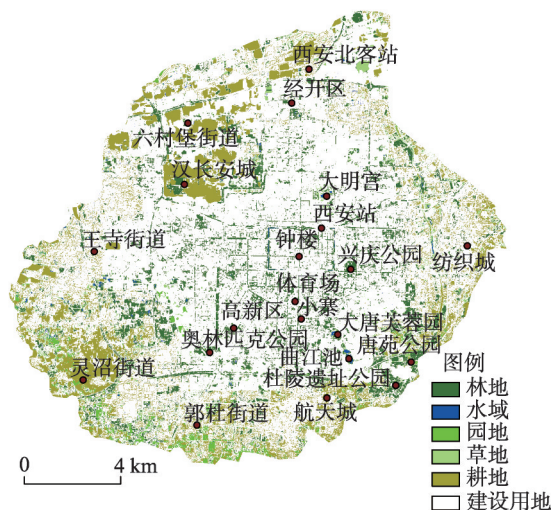


图2 西安市城市景观类型

Fig. 2 Classification of urban landscape in Xi'an



3 研究方法 with 指标选取

3.1 评价指标

本文将城市景观分为耕地、林地、园地、水域、草地、建设用地等景观类型，既有 人工景观单元、自然景观单元，也有人为干扰下的景观单元，建设用地属人工景观单 元，林地、草地属自然景观单元，水域、耕地、园地属半人工景观单元。一方面，城市 景观生态系统可以向人类提供正向生态系统服务，如环境净化、水土保持、气候调节、 气体调节、旅游休闲、水文调节等，正向生态系统服务主要由自然景观以及人工干扰下 的半人工景观，如林地、草地、耕地、湖泊、园地等提供；另一方面，自然景观向人工 景观的转变也可以带来负向生态系统服务，如大气污染、热岛效应、生活生产垃圾、污 水排放等，且主要依附于建设用地，所以城市景观生态系统的负向服务主要产生于建设 用地这类人工景观；同时自然生态系统也会产生对人类生活造成干扰的一系列服务，如 花粉过敏、视觉障碍、树根对市政设施的破坏等。随着城市化的发展，西安市人口数量 也不断增长，城市景观发生了巨大的变化，测度城市景观系统所产生的正负向生态系统 服务，对城市化过程中优化调控城市建设有重要的现实意义。本文根据西安市的实际情 况，同时遵循数据的可获得性及可操作性、空间可表达性原则<sup>[18]</sup>，选取环境净化、气候 调节、气体调节、旅游休闲等 4 个正向生态系统服务指标以及花粉过敏、大气污染、夏 季热岛效应等 3 个负向生态系统服务指标进行研究，这里的负向生态系统服务主要考虑 自然生态系统对人类生产、生活产生的负面影响，如花粉过敏及人工景观替代自然景观 这种生态系统退化类型对人类生产、生活产生的负面影响大气污染、热岛效应等（表 1）。

3.2 研究方法

3.2.1 正向生态系统服务测评方法

(1) 环境净化

环境净化包括植被滞尘、杀菌、吸收有害气体等，本文主要对城市各绿地景观类型 吸收 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和滞尘的功能进行测算。依据公式（1）测算西安市单位面积城市景观吸 收 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和滞尘的生态系统服务经济价值：

$$V_{ij}=A_{ij} \times P_{ij} \tag{1}$$

式中： $V_{ij}$ 为 单位面积第  $i$  类城市景观类型吸收第  $j$  种污染物的价值； $A_{ij}$ 为 单位面积第  $i$  类城市景观类型吸收第  $j$  种污染物的物质量（表 2）； $P_{ij}$ 为第  $i$  类城市景观类型吸收第  $j$  种污染 物的单位治理费用（SO<sub>2</sub>：0.6 元/kg；NO<sub>x</sub>：0.63 元/kg；滞尘：0.17 元/kg）<sup>[19-20]</sup>； $i$ 为城市 景观类型，即林地、草地、园地、耕地、建设用地、水域； $j$ 为污染物成分，即二氧化 硫、氮氧化物、粉尘。本文以 15 m×15 m 的栅格为单位实现空间化，即在式（1）的基础

表 1 城市景观生态系统服务评价指标  
Tab. 1 Evaluation indicators of urban landscape ecosystem services

		生态系统服务	指标含义
复合生态系统服务	正向生态系统服务	环境净化	城市中绿地景观吸收大气中 SO <sub>2</sub> 、氮氧化物和滞尘
		气体调节	城市中绿地景观维持大气化学组分平衡，如固碳释氧等
		气候调节	城市中绿地景观对区域气候的调节，如降低温度、增加降水
		旅游休闲	公园绿地、园地等满足都市居民休闲观光、亲近自然的需求
	负向生态系统服务	花粉过敏	花粉通过风的传播，人遇花粉而造成过敏的现象
		大气污染	空气中污染物达到足够浓度和时间，危害人类健康和生活
		夏季热岛效应	城市下垫面具有更大的吸热率和更小的比热容，造成同一时间城区气温高于郊区气温，居民需要更长时间的空调降温

上乘以0.0225。

依据式(2)测算各城市景观类型吸收污染物的生态系统服务价值总量:

$$U = \sum_i^4 \sum_j^3 A_i \times V_{ij} \quad (2)$$

式中:  $U$ 为研究区各城市景观吸收污染物的生态系统服务总价值;  $A_i$ 为第 $i$ 种城市景观类型的面积;  $V_{ij}$ 为单位面积第 $i$ 种城市景观类型吸收第 $j$ 种污染物的价值;  $i$ 、 $j$ 含义同式(1)。

## (2) 气体调节

气体调节用各城市景观类型固碳释氧的能力来测评, 根据光合作用化学方程式, 植被每积累1.00 kg干物质, 可以固定1.63 kg  $\text{CO}_2$ , 释放1.19 kg  $\text{O}_2$ , 在 $\text{CO}_2$ 中C比例为27.27%。依据式(3)、(4)测算各城市景观类型的固碳、释氧生态系统服务经济价值:

$$U_{ci} = 1.63 \times B_i \times R_c \times P_c \quad (3)$$

式中:  $U_{ci}$ 为第 $i$ 类城市景观的单位面积固碳价值;  $R_c$ 为 $\text{CO}_2$ 中的碳含量27.27%;  $B_i$ 为第 $i$ 类城市景观的净初级生产力(林地 $7.39 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 耕地 $5.55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 草地 $4.54 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 园地 $6.70 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 水域 $0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 建设用地 $0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )<sup>[21-22]</sup>;  $i$ 含义同式(1);  $P_c$ 为单位固碳价格(取造林成本法价格260.9元/t)。

$$U_{o_2i} = 1.19 \times B_i \times P_{o_2} \quad (4)$$

式中:  $U_{o_2i}$ 为第 $i$ 类城市景观的单位面积释氧价值;  $P_{o_2}$ 为单位释氧价格(取造林成本法与工业制氧法价格均值376.47元/t);  $B_i$ 含义同式(4);  $i$ 含义同式(1)。

$$Z = \sum_i^6 A_i \times (U_{ci} + U_{o_2i}) \quad (5)$$

式中:  $Z$ 为各城市景观类型固碳释氧总价值;  $A_i$ 为第 $i$ 类城市景观类型的面积;  $U_{ci}$ 含义同式(3);  $U_{o_2i}$ 含义同式(4);  $i$ 含义同式(1)。

## (3) 气候调节

气候调节是指各景观类型对局域小气候的调节, 包括降温、增湿<sup>[23]</sup>。本文对气候调节的测评参考谢高地等<sup>[24-25]</sup>确定的“中国生态系统服务价值当量因子表”, 并结合西安市的实际情况做了修正<sup>[26-27]</sup>, 得到了西安市绿地景观单位面积气候调节的经济价值(表3)。

## (4) 旅游休闲

旅游休闲是指具有休闲价值的景观满足都市居民休闲娱乐的功能。本文对旅游休闲生态系统服务价值的测算, 在表3中旅游休闲服务的单位面积生态服务价值的基础上, 以街道办(莲湖区、新城、碑林区除外)为单位, 乘以相应的人口密度归一化系数, 以实现空间化。

表2 西安市各城市景观类型单位面积吸收污染物  
物质质量( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )<sup>[19-20]</sup>

Tab. 2 Amount of pollutants absorbed by per unit area in each type of urban landscape in Xi'an( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )

城市景观类型	吸收污染物类型		
	吸收二氧化硫	吸收氮氧化物	粉尘
林地	291.03	215.36	44300.00
草地	21.70	16.06	120.00
耕地	45.00	33.30	940.00
园地	90.00	66.60	9000.00
水域	0	0	0
建设用地	0	0	0

表3 西安市各城市景观类型单位面积生态系统  
服务价值( $10^4 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )

Tab. 3 Ecosystem services value by per unit area in each type of urban landscape in Xi'an( $10^4 \text{ yuan} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )

生态服务功能	林地	园地	草地	耕地	水域	建设用地
气候调节	0.409	0.273	0.136	0.135	0.350	0
旅游休闲	0.194	0.100	0.006	0.002	0.658	0

$$W_{ij} = u_i \times k_j \quad (6)$$

式中:  $W_{ij}$  为第  $j$  个街道第  $i$  种城市景观类型的单位旅游休闲服务价值;  $k_j$  为第  $j$  个街道办人口密度归一化系数;  $u_i$  为第  $i$  种城市景观类型单位面积旅游休闲服务价值;  $j$  为研究区所包含的 25 个街道办及莲湖区、碑林区、新城区;  $i$  含义同式 (1)。

$$Q = \sum_i^6 \sum_j^{28} A_{ij} \times W_{ij} \quad (7)$$

式中:  $Q$  为旅游休闲总价值;  $A_{ij}$  为第  $j$  个街道办第  $i$  种城市景观类型面积;  $i$  含义同式 (1)、 $j$ 、 $W_{ij}$  含义同式 (6)。

### 3.2.2 负向生态系统服务评价方法

#### (1) 大气污染

城市大气污染通常是指由于人类活动或自然过程引起某些物质进入大气中, 呈现出足够的浓度, 达到足够的时间, 并因此危害了人类健康和生活环境的现象。2013 年中国相继发生了数次大范围、长时间的空气污染事件, 整个社会尤其是学术界对大气污染问题尤其是细微大气气溶胶 ( $PM_{2.5}$ ) 的关注度日益提升<sup>[28-30]</sup>, 而且近年来  $PM_{2.5}$  已经成为大多数地区的首要污染物。所以, 本文采用测算治理  $PM_{2.5}$  的费用来代表治理大气污染的费用。本研究区内有 11 个环境监测站对空气质量进行实时监测, 选取 2013 年每个月每个站点  $PM_{2.5}$  的平均浓度为大气污染物浓度 (GB3095-2012), 来换算治理费用。杨龙等<sup>[31]</sup>研究表明在距地面 32 m 范围内  $PM_{2.5}$  变化不明显, 因此, 本文以 32 m 高度为研究范围, 测算污染物的物质量, 进而换算治理费用。在研究区内用 ArcGIS 的克里金法做插值<sup>[25]</sup>, 再分区统计单位栅格面积的污染物治理费用, 得到研究区的大气污染治理费用空间分布图。计算方法为:

$$V = D_{PM_{2.5}} \times H \times A \times P_{PM_{2.5}} \quad (8)$$

式中:  $V$  为单位栅格治理  $PM_{2.5}$  费用;  $D_{PM_{2.5}}$  为  $PM_{2.5}$  浓度 ( $mg/m^3$ );  $H$  为研究的大气高度, 取 32 m;  $A$  为单位栅格城市景观面积 225  $m^2$ ;  $P_{PM_{2.5}}$  为治理单位体积内  $PM_{2.5}$  费用。

#### (2) 花粉过敏

花粉过敏是特应性体质患者被花粉致敏后引起的一系列的病理生理过程, 主要表现为呼吸道和结膜的卡他性炎症, 可伴有皮肤及其他器官的病变。自然生态系统的这种负向生态服务给易感人群生活带来了负面影响, 本文对消除这种负面影响的成本进行了测算。花粉产生的主体主要是某些街旁道树木、果树、花卉等, 但花粉具有扩散性和漂浮性, 会漂移到其他城市景观类型上空, 所以花粉的存在具有遍在性, 只是不同城市景观类型上花粉的浓度不同, 因此, 各城市景观类型对应不同的花粉浓度系数。本文测算花粉过敏成本公式如下:

$$C_{ij} = f \times m \times q_i \times d_j \quad (9)$$

式中:  $C_{ij}$  为第  $j$  个街道办第  $i$  种城市景观类型的单位花粉过敏成本;  $f$  为发病率 0.05<sup>[32]</sup>;  $m$  为医治花粉过敏的费用 500 元/人 (咨询西安华山中医皮肤科专家);  $q_i$  为第  $i$  种城市景观类型的花粉浓度归一化系数 (园地 0.9, 林地 0.8, 草地 0.7, 耕地 0.6, 水域 0.5, 建设用 0.4)<sup>[33]</sup>;  $d_j$  为第  $j$  个街道办的人口密度 (人/ $hm^2$ );  $j$  含义同式 (6);  $i$  含义同式 (1)。

$$T = \sum_i^6 \sum_j^{28} A_{ij} \times C_{ij} \quad (10)$$

式中:  $T$  为花粉过敏总成本;  $A_{ij}$  含义同式 (7);  $C_{ij}$  含义同式 (9);  $j$  含义同式 (6);  $i$  含义同式 (1)。

(3) 热岛效应

城市热岛效应是指城市因大量的人工发热、建筑物和道路等高蓄热体及绿地减少等因素，造成城市“高温化”，城市中的气温明显高于外围郊区的现象。城市热岛效应与城市下垫面性质的改变、城市人为热排放、自然植被减少有关<sup>[34]</sup>。本文认为下垫面的性质即不同的土地利用类型及其景观格局是影响热岛效应的主要因素。城市下垫面，如沥青、水泥、裸地和草地的日平均温度、日最高温度全年均高于大气温度，表明对近地面大气具有一定的加热作用。将各类下垫面加热的温度降低到平均大气温度所需要的成本即是居民为热岛效应所付出的成本的价值量。一年四季都有城市热岛出现，但夏季的热岛效应对居民的生活影响最大，因此本文只测算夏季（6月、7月、8月）的热岛效应的成本价值<sup>[17]</sup>。本文以夏季空调耗能量测算城市热岛效应成本价值量，陕西省2013年夏季空调耗能为 $2.06\text{ kw}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ （从平均气温降至室内空调设置温度 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 所耗电能）<sup>[35]</sup>，单位用电成本价为 $0.61\text{ 元/kw}\cdot\text{h}$ ，2013年西安夏季平均气温为 $28.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。计算方法为：

$$E=\frac{I\times J}{P-D}\times(T-t)$$
 (11)

式中： $E$ 为单位面积（ $\text{m}^2$ ）热岛效应成本价值； $I$ 为单位用电成本价； $J$ 为单位面积耗电量； $P$ 为西安市平均气温； $D$ 为空调设置温度（取 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）； $T$ 为各城市下垫面实际温度； $t$ 为郊区平均气温。本文以 $15\text{ m}\times15\text{ m}$ 的栅格为单位实现空间化，即在式（11）的基础上乘以225。

3.2.3 复合生态系统服务评价方法 城市景观的复合生态系统服务，采用所提供的正向服务和负向服务之差来表示：

$$C=P-N$$
 (12)

式中： $C$ 为复合生态系统服务； $P$ 为正向生态系统服务； $N$ 为负向生态系统服务。

4 结果与分析

根据相关参数及测算方法得出西安市城市景观各正向生态系统服务价值总量（表4），及各负向生态系统服务价值总量（表5）。

4.1 西安市城市景观正向生态系统服务价值分析

从西安市城市景观的正向生态系统服务价值总量（表4）来看，价值总量为 $162.84\times10^6$ 元，其中林地贡献率依然最大，占到67.35%；耕地次之，占23.10%；园地、草地分别都在4%左右；水域最低不足1%；这是由于林地不仅是各绿地景观中面积仅次于耕地的景观类型，其各正向生态系统服

表4 西安市城市景观正向生态系统服务价值总量( $10^6\text{ 元}\cdot\text{a}^{-1}$ )  
Tab. 4 Total positive ecosystem service value by urban landscape in Xi'an ( $10^6\text{ yuan}\cdot\text{a}^{-1}$ )

	环境净化	气体调节	气候调节	旅游休闲	合计	百分比(%)
水域	0	0	0.86	0.30	1.16	0.71
林地	51.50	27.38	26.86	3.93	109.68	67.35
园地	1.45	3.26	2.44	0.08	7.22	4.44
草地	0.08	4.62	2.46	0.01	7.17	4.40
耕地	1.67	25.10	10.83	0.01	37.61	23.10
建设用地	0	0	0	0	0	0
合计	54.70	60.36	43.45	4.39	162.84	100.0
百分比(%)	33.59	37.06	26.69	2.66	100.0	

表5 西安市城市景观负向生态系统服务价值总量( $10^6\text{ 元}\cdot\text{a}^{-1}$ )  
Tab. 5 Total negative ecosystem service value by urban landscape in Xi'an ( $10^6\text{ yuan}\cdot\text{a}^{-1}$ )

	空气污染	花粉过敏	热岛效应	合计	百分比(%)
水域	0.10	0.15	0	0.25	0.0002
林地	2.77	10.67	0	13.44	0.009
园地	0.37	0.47	0.87	1.71	0.001
草地	0.75	1.08	21.37	23.19	0.01
耕地	3.31	2.74	166.72	172.78	0.12
建设用地	19.32	30.35	1172.99	1222.67	0.85
合计	26.62	45.46	1361.95	1434.04	100
百分比(%)	0.02	0.03	0.95	100	



务的单位价值量及总价值量都最大。尽管耕地面积大于林地,但由于其农作物属性及人类耕作活动频繁的影响,单位价值量远低于林地,使其正向生态系统服务价值总量低于林地。园地面积虽低于草地,但园地的单位价值量高于草地,因此,两者的服务价值总量大小相当。水域在气候调节、旅游休闲方面单位价值量很高,但本区水域面积小,在环境净化及气体调节方面没有明显作用,所以服务价值总量最低。建设用地不产生正向生态系统服务。

#### 4.2 西安市城市景观负向生态系统服务价值分析

从西安市城市景观的负向生态系统服务价值总量(表5)来看,价值总量为 $1434.04 \times 10^6$ 元,建设用地的贡献率高达85%;耕地在12%左右;其他景观类型所占比例都不足1%。原因在于建设用地占研究区面积的70%以上,其产生的各负向生态系统服务均占该项服务的60%以上,综合起来所产生的负向生态系统服务总价值很高。耕地的面积及所产生的各负向生态系统服务价值虽都远远低于建设用地,但仅次于建设用地,产生的负向服务总价值都高于其他景观单元;林地、园地产生的热岛效应成本价值为0是使其负向生态系统服务总价值低的主要原因;城市化过程中建设用地的大面积扩张会导致城市生态环境的恶化,绿地景观的保留与建设能有效改善建设用地带来的生态恶果。

#### 4.3 西安市城市景观正向生态系统服务空间格局评价

西安市城市景观的总正向生态系统服务空间分布差异明显(图3),整体呈现为研究区中心值低于四周,沿行道绿地、公园绿地等景观形成格网状、斑块状分布。研究区各主要交通干道两侧、城墙周围,兴庆公园、奥林匹克公园、莲湖公园等地有大面积的自然景观——林地或绿化灌丛、草地,在固碳释氧、吸收污染气体、滞尘等方面起到了很大的作用;水域对气候调节贡献也很大。因此,林地和水域分布的地方形成总正向生态系统服务的高值区,单位服务价值达 $0.94 \times 10^4 \sim 1.89 \times 10^4$ 元/hm<sup>2</sup>,总服务价值为 $1.11 \times 10^8$ 元。在研究区外围地区分布着零星的半人工景观园地及大面积耕地,耕地面积虽然大,但受熟制、农作物生长时间及农作物特点的影响在固碳释氧、美化等功能方面作用较小,形成总生态系统服务的中值区,单位服务价值在 $0.58 \times 10^4 \sim 0.94 \times 10^4$ 元/hm<sup>2</sup>之间。研究区外围零星分布的少量草地,因自身特点对气候、气体调节等起的作用不大,汉长安城北部六村堡街道附近分布着大量的耕地,但由于其人口密度系数较小,所以旅游休闲价值较低,形成正向生态系统服务的低值区,单位面积服务价值在 $0.01 \times 10^4 \sim 0.58 \times 10^4$ 元/hm<sup>2</sup>之间。建设用地面积大且成面状分布,但不产生正向生态系统服务,所以正向生态系统服务0值成面状分布。综上,城市景观及类型的空间分布基本上决定了正向生态系统服务高低值的空间大格局,因此在城市化过程中各城市景观类型的空间组合与镶嵌状况的规划合理与否与城市的生态建设有密切关系。

西安市城市景观的各单项正向生态系统服务空间差异也较大,与总正向生态系统服务分布规律大体一致。从环境净化(图4a)、气体调节(图4b)、气候调节(图4c)来看其服务价值的高值分布在林地、水域分布区,即各主要街道两侧、绕城高速两侧和各主要大型公园;环境净化、气候调节中值分布在灵沼街道及郭杜街道的南部园地分布地区,而气体调节的中值区还包括灵沼街道周围、汉长安城遗址附近及其北部地区、北三环北部的耕地分布区;环境净化、气候调节低值区在耕地、草地分布区,气体调节的低值则只分布在研究区周围的零星草地分布地;旅游休闲(图4d)服务价值的空间分布整体上差异较大,从内部向外呈现圈层分布的结构,这主要是由于人口密度系数差异较大,王寺、六村堡、灵沼、洪庆、灞桥、斗门等研究区外围街道的人口密度是研究区内街道办人口密度最低的,导致其旅游休闲价值最低。莲湖区、新城区及碑林区的人口密



度最大, 对各城市绿地景观的利用程度也最高, 其旅游休闲价值自然最高。其他街道办事处人口密度大体相当, 所以, 旅游休闲价值处于中间值。建设用地分布区的各正向生态系统服务价值均为0。因此, 正向生态系统服务由自然景观、半人工景观提供, 它们是维系城市正向生态系统服务的主要景观类型。

#### 4.4 西安市城市景观负向生态系统服务空间格局评价

西安市城市景观负向生态系统服务整体上呈现中心值高于四周, 高值区较集聚(图5)。近年来航天城、高新区、曲江新区等大规模的开发建设, 自然景观、半人工景观不断转化为人工景观, 建设用地不断增多, 研究区域内建设用地更是占到了70%以上。建设用地作为纯人工景观既是污染气体排放高值

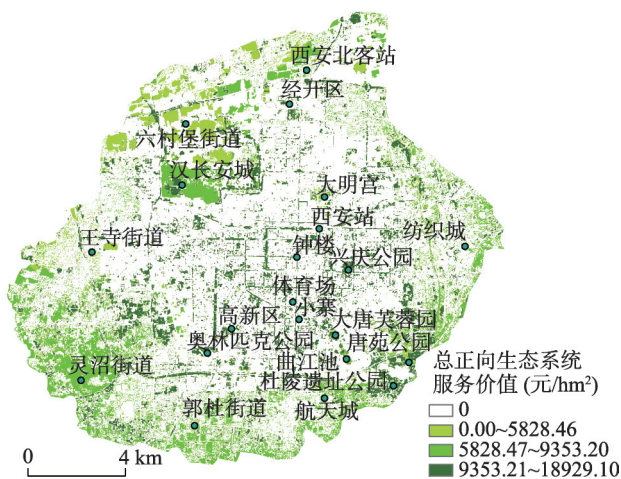


图3 西安市城市景观的综合正向生态系统服务空间分布

Fig. 3 Spatial pattern of total value of positive ecosystem service by urban landscape in Xi'an

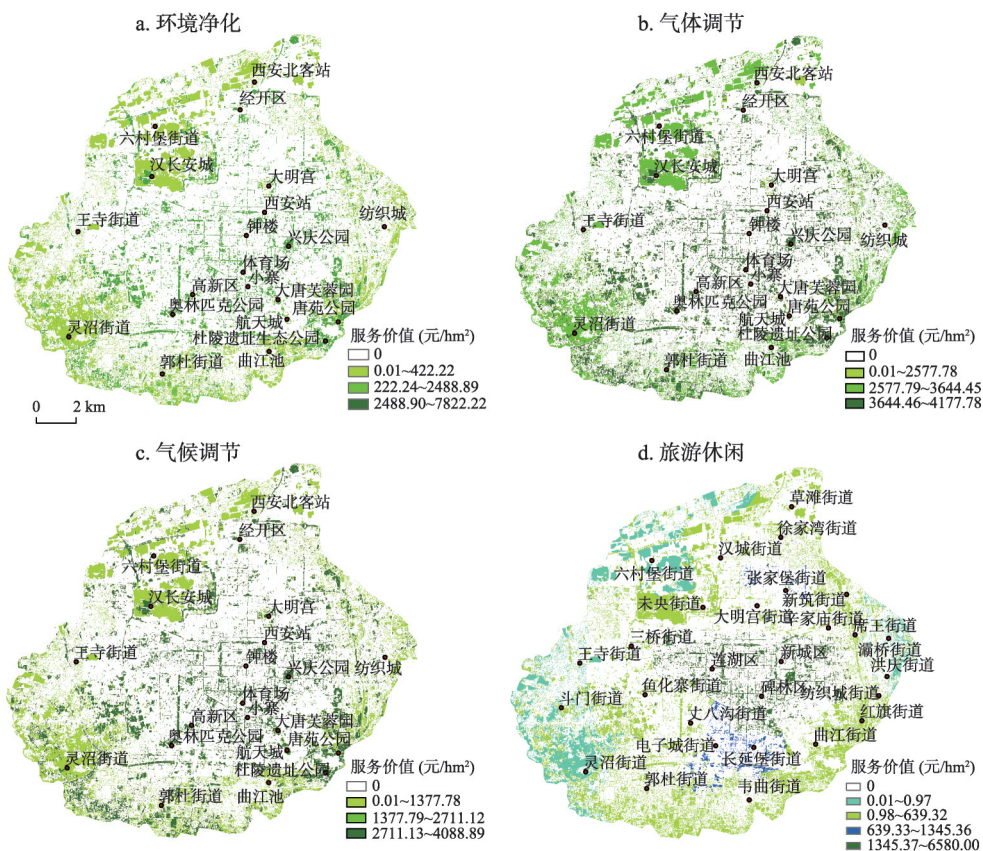


图4 西安市城市景观各正向生态系统服务空间分布

Fig. 4 Spatial pattern of each positive ecosystem service by urban landscape in Xi'an





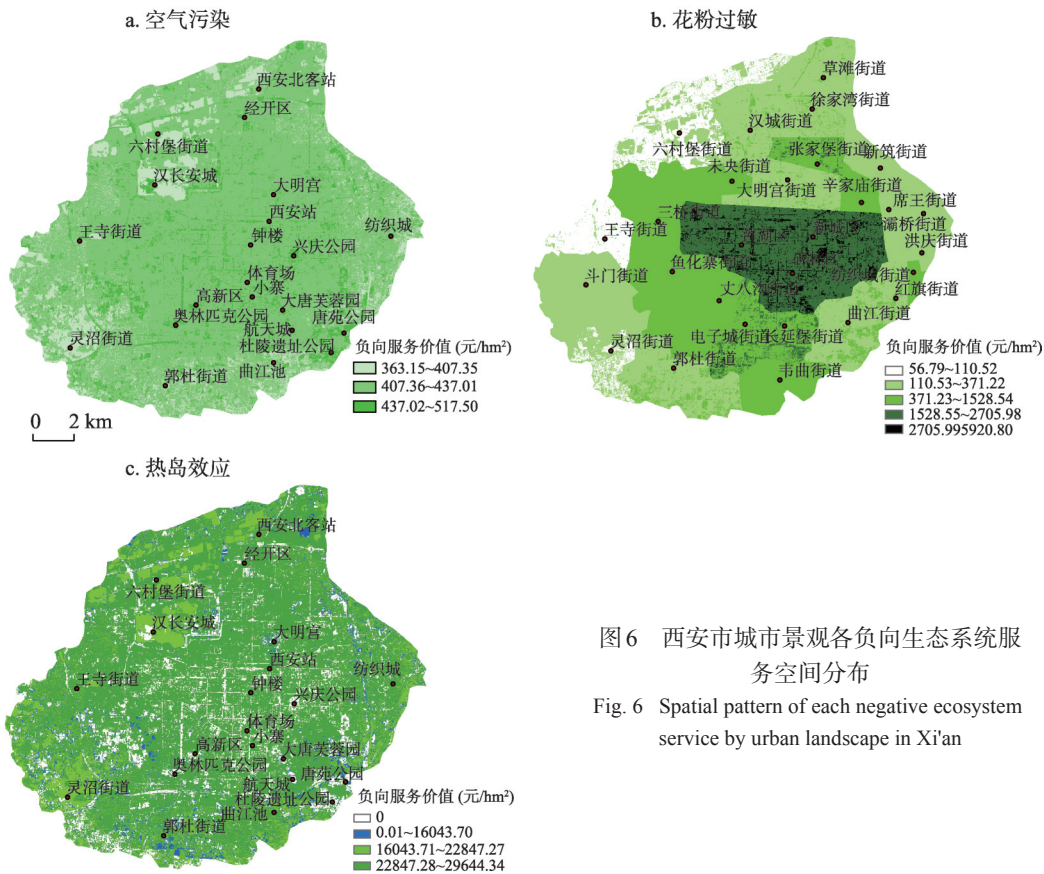


图6 西安市城市景观各负向生态系统服务空间分布

Fig. 6 Spatial pattern of each negative ecosystem service by urban landscape in Xi'an

力，导致建设用地分布区成为复合生态系统服务负值的集中、高值分布区，单位服务价值达到 $-3.34\times10^4\sim2.08\times10^4$ 元/hm<sup>2</sup>；在灵沼街道、汉长安城、北三环以北地区有大面积的耕地分布，耕地作为半人工景观，人类活动频繁，人为热释放较多、提供的负向服务价值要高于正向服务价值，所以复合生态系统服务成负值，单位服务价值在 $-2.08\times10^4\sim0$ 元/hm<sup>2</sup>之间；交通干线两侧、大型公园、研究区周围有林地、园地、水域等自然景观和半人工景观分布，其气候调节、环境净化、气体调节等正向生态系统服务贡献率大于负向生态系统服务，复合生态系统服务成正值分布，单位服务价值在 $0.01\times10^4\sim1.44\times10^4$ 元/hm<sup>2</sup>之间。

总体来看，西安市城市景观产生的负向生态系统服务价值远高于正向生态系统服务

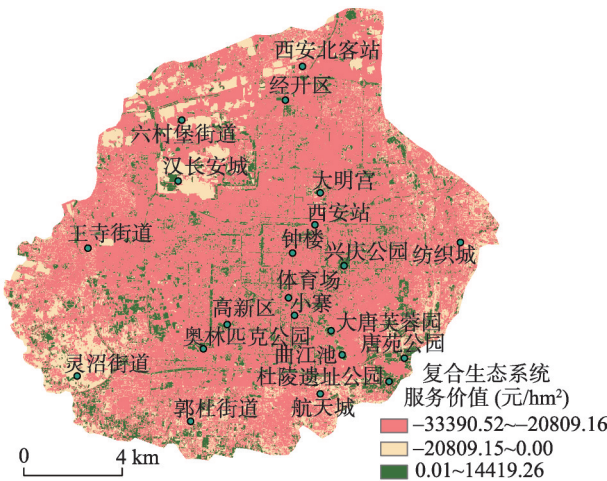


图7 西安市城市景观复合生态系统服务分布

Fig. 7 Spatial pattern of comprehensive ecosystem service by urban landscape in Xi'an



价值, 净生态系统服务达  $-12.71 \times 10^8$  元; 在城市化过程中, 随着由自然景观向半人工景观、人工景观的转变, 导致景观生态系统服务的价值急剧下降 (图 8), 负向生态系统服务占主导, 其中有 87.81% 的土地复合生态系统服务为负值, 仅有 12.19% 的土地复合生态系统服务为正值。以建设用地为主体的城市景观推进过程会导致生态系统服务的必然下降。

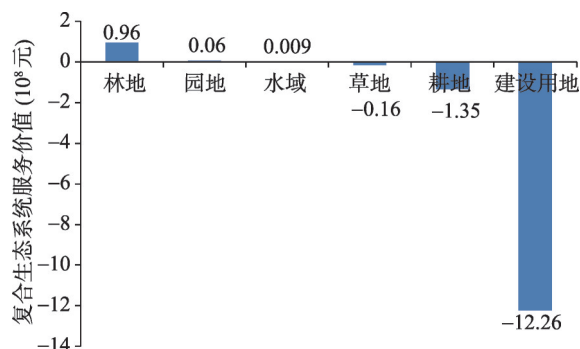


图 8 西安市各城市景观类型复合生态系统服务

Fig. 8 The comprehensive ecosystem service of each urban landscape in Xi'an

## 5 结论与讨论

### 5.1 讨论

目前学术界对负向生态系统服务的提法还存在争论, 亦没有给出明确的定义。但是“负向生态服务”这一概念提出的基本点都是指对人类福利产生的负面效应, 对这一负面效应 (负向生态服务) 产生的认识有两种看法: 一种认为是由生态系统产生的负面效应, 即来自于生态系统本身, 如农业生产中的害虫造成的损失、土壤营养流失、土壤侵蚀、无益物种的竞争等导致作物减产或成本增加<sup>[36]</sup>; 另一种认为负面效应来自于自然或生态系统包括人类的活动, 如 Lyytimaki<sup>[4]</sup>等人认为负向生态系统服务可以来自于自然现象如洪水、地震带来的破坏, 也来自于人为造成的如有毒污染气体的排放、对生态系统的蓄意破坏等, 并且指出自然、人为原因造成的负向生态系统服务之间没有明确的界限, 有些是其共同作用而产生的。如海洋生态系统的负向生态系统服务包括海平面上升、海洋风暴、富营养化污染、海水入侵地下水等是人类活动破坏生态系统而导致<sup>[37]</sup>。在对城市负向生态系统服务的研究中, Lyytimaki 等<sup>[38]</sup>指出道路两旁的树木会造成视觉障碍增加司机开车的危险性, 夜晚浓密的树木形成的夜障会给社会带来潜在的危險。Wang 等<sup>[39]</sup>指出有些植被也能对人类造成伤害如花粉过敏、外来物种威胁当地生态与经济健康等。有学者<sup>[40-41]</sup>认为人类还没有感知到的如城市居民由于与自然界接触少而使其免疫能力的降低等也是一种负向生态服务。城市生态系统既可以是人类需求的补给站, 也可以对人类的生活构成威胁。因此, 对负向生态系统服务这一概念最宽泛的认识可以理解为自然生态系统对人类生产、生活造成的负面影响及因生态系统退化而对人类生产、生活造成的负面影响, 人类活动对自己产生的负面影响等。正向生态系统服务和负向生态系统服务也不是简单的相反 (或相对) 的两个概念, 有些生态系统功能 (或服务) 由于人们的需求、感知 (如价值观和态度, 甚至文化背景、社会经济发展与全球变化的背景) 不同对其是正向或负向的认识也不同, 如 Virtanen 报道在芬兰 Tampere 市, 俄罗斯移民对城市森林感知的正面服务价值与芬兰人相同, 而亚洲或非洲移民则认为森林是令人恐惧的地方 (负向服务)<sup>[4]</sup>。但无论对正向生态系统服务还是负向生态系统服务的界定则是以人类自身的需求和福利价值为中心和基本点来界定的。负向生态系统服务是一个非常复杂而且富有争议的概念, 甚至有学者<sup>[42]</sup>提出由于人类对自然界认识的不够全面, 用“负向生态系统服务”会对人类已建立的对社会—自然之间复杂关系的研究产生误导, 也不利于生态服务流的研究, 并指出用一个对生态系统服务更加全面的认知的概念来代替“负向生态系统服务”会是通往可持续发展的一条更加有效的道路。

城市生态系统会产生负向生态系统服务, 并对城市经济社会和环境发展与管理产生重要影响, 论文探索性的对城市景观的生态系统服务从正、负两个方面进行评价, 与以往单纯的测算生态系统服务价值不同, 考虑到了人工景观及部分自然景观产生的负向生态系统服务, 为客观的评价生态系统服务功能提供了新思路; 在测算旅游休闲、花粉过敏、空气污染、热岛效应等生态系统服务价值中创新性的推出了新的定量计算方法并对其空间格局进行了分析; 本文将生态系统服务的测评结果空间化, 尤其是对复合生态系统服务的空间化, 能直观的看出正负值与各类城市景观空间分布的关系, 对优化、调控在城市化影响下的景观转换、布局和城市生态环境建设等具有重要的科学意义。但本文是以土地覆被类型为基础测算生态系统服务价值, 对同一土地覆被类型的生态系统服务没有体现出其空间变化, 即对同种土地覆被类型的正向生态系统服务的空间差异性表达不够, 如同样是林地, 不同的树种其在固碳释氧、吸收污染物等方面有很大差异, 这也需要进一步深入研究; 负向生态系统服务指标的选取不够全面, 如城市洪水、树根对市政设施的破坏、视觉障碍、与人类争夺栖息地、树荫等, 这些方面还值得进一步深入研究和测度。本研究中发现建设用地是负向生态系统服务的主要来源地, 在进行城市规划时, 要注重城市生态用地的保留与建设, 充分利用自然生态系统为人类服务。

## 5.2 结论

(1) 西安市城市景观产生的负向生态系统服务价值远高于正向生态系统服务价值, 净生态系统服务达 $-12.71 \times 10^8$ 元; 在城市化过程中, 随着由自然景观向半人工景观、人工景观的转变, 导致景观生态系统服务的价值急剧下降, 负向生态系统服务占主导, 87.81%的土地复合生态系统服务为负值, 仅有12.19%的土地复合生态系统服务为正值, 以建筑用地为主体的城市景观推进过程会导致生态系统服务的必然下降。

(2) 西安市城市景观的总正向生态系统服务空间分布差异明显, 整体呈现为研究区中心值低于四周; 沿行道绿地、公园绿地等景观形成格网状、斑块状分布。总负向生态系统服务整体上呈现中心值高于四周, 高值区较集聚。自然景观和半自然景观是维系城市正向生态系统服务的主要景观类型。

(3) 城市景观的空间分布基本上决定了复合生态系统服务的空间大格局, 各城市景观类型的空间组合与镶嵌状况, 使得生态系统服务正负值呈斑块状、棋盘状交错分布的格局; 愈向城市外围, 复合生态系统服务价值越高, 这与城市化空间扩展过程具有一致性, 城中林地、绿地和水域分布的地方是复合生态系统服务价值网状高值区。

## 参考文献(References)

- [1] Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1996, 387: 253-260.
- [2] Shapiro J, Báldi A. Accurate accounting: How to balance ecosystem services and disservices. *Ecosystem Services*, 2014, 7: 201-202.
- [3] Moro P A, Assisi F, Cassetti F, et al. Toxicological hazards of natural environments: Clinical reports from Poison Control Centre of Milan. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2009, 8(3): 179-186.
- [4] Lyytimäki J, Sipilä M. Hopping on one leg: The challenge of ecosystem disservices for urbangreen management. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2009, 8: 309-315.
- [5] Döhren P A, Haase D. Ecosystem disservices research: A review of the state of the art with a focus on cities. *Ecological Indicators*, 2015, 51: 490-497.
- [6] Yang Wenrui. Spatiotemporal change and driving forces of urban landscape pattern in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(13): 1-14. [阳文锐. 北京城市景观格局时空变化及驱动力. *生态学报*, 2015, 35(13): 1-14.]
- [7] Xu Jianhua, Yue Wenze, Tan Wenqi. A statistical study on spatial scaling effects of urban landscape pattern: A case study

- of the central area of external circle highway in Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 59(6): 1058-1067. [徐建华, 岳文泽, 谈文琦. 城市景观格局尺度效应的空间统计规律: 以上海中心城区为例. *地理学报*, 2004, 59(6): 1058-1067.]
- [8] Dobbs C, Kendal D, Nitschke C R. Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics. *Ecological Indicators*, 2014, 43: 44-55.
- [9] Shi Longyu, Cui Shenghui, Yin Kai, et al. The impact of land use/cover change on ecosystem service in Xiamen. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(6): 708-714. [石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 等. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响. *地理学报*, 2010, 65(6): 708-714.]
- [10] Peng J, Liu Y, Wu J, et al. Linking ecosystem services and landscape patterns to assess urban ecosystem health: A case study in Shenzhen City, China. *Landscape and Urban Planning*, 2015: 56-68.
- [11] Peng Jian, Wang An, Liu Yanxu, et al. Research progress and prospect on measuring urban ecological land demand. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(2): 333-346. [彭建, 汪安, 刘焱序, 等. 城市生态用地需求测算研究进展与展望. *地理学报*, 2015, 70(2): 333-346.]
- [12] Shackleton S, Chinyimba A, Hebinck P, et al. Multiple benefits and values of trees in urban landscapes in two towns in northern South Africa. *Landscape & Urban Planning*, 2015, 136: 76-86.
- [13] Li Feng, Ye Yaping, Song Bowen, et al. Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: A case study in Changzhou City, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19): 5623-5631. [李锋, 叶亚平, 宋博文, 等. 城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变: 以常州市为例. *生态学报*, 2011, 31(19): 5623-5631.]
- [14] Chen Liding, Sun Ranhao, Liu Hailian, et al. Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: Progresses, problems, and perspectives. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(4): 1042-1050. [陈利顶, 孙然好, 刘海莲, 等. 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展. *生态学报*, 2013, 33(4): 1042-1050.]
- [15] Zhang Xiaochen, Zhu Zhiling, Wang Caijuan, et al. Analysis variation of city ecosystem service function value in Yinchuan. *Arid Environmental Monitoring*, 2009, 23(1): 41-45. [张晓晨, 朱志玲, 王彩娟, 等. 银川市城市生态系统服务功能价值的变化分析. *干旱环境监测*, 2009, 23(1): 41-45.]
- [16] <http://www.chinanews.com/df/2014/03-05/5914982.shtml>. 2014-03-05. [2013年西安227个污染天PM2.5成“祸首”. 中国新闻网. <http://www.chinanews.com/df/2014/03-05/5914982.shtml>. 2014-03-05.]
- [17] Li Boyan, Ren Zhiyuan, Li Ruizong, et al. Urban heat island intensity quantitative inversion and city land surface temperatures in Xi'an. *Resources Science*, 2014, 36(12): 2631-2636. [李柏延, 任志远, 李瑞宗, 等. 西安市地表温度反演及城市热岛强度定量化研究. *资源科学*, 2014, 36(12): 2631-2636.]
- [18] Yang Wenrui, Li Feng, Wang Rusong, et al. Eco-service efficiency assessment method of urban land use: A case study of Changzhou City, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(14): 4486-4494. [阳文锐, 李锋, 王如松, 等. 城市土地利用的生态系统服务功效评价方法: 以常州市为例. *生态学报*, 2013, 33(14): 4486-4494.]
- [19] Han Ye, Zhou Zhongxue. Evaluation on ecosystem services in haze absorption by urban green land and its spatial pattern analysis in Xi'an. *Geographical Research*, 2015, 34(7): 1247-1258. [韩晔, 周忠学. 西安市绿地景观吸收雾霾生态系统服务测算及空间格局. *地理研究*, 2015, 34(7): 1247-1258.]
- [20] Yu Xinxiao, Lu Shaowei, Jin Fang, et al. The assessment of the forest ecosystem services evaluation in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2098-2101. [余新晓, 鲁绍伟, 靳芳, 等. 中国森林生态系统服务功能价值评估. *生态学报*, 2005, 25(8): 2098-2101.]
- [21] Zhou Zixiang, Li Jing, Feng Xueming. The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(9): 2907-2918. [周自翔, 李晶, 冯雪铭. 基于GIS的关中天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价. *生态学报*, 2013, 33(9): 2907-2918.]
- [22] Fan Jianzhong, Li Dengke, Zhou Hui. Valuation on carbon fixation and oxygen release in reforested croplands of Shaanxi Province of China. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(4): 874-881. [范建忠, 李登科, 周辉. 陕西省退耕还林固碳释氧价值分析. *生态学杂志*, 2013, 32(4): 874-881.]
- [23] Liu Hua, Song Tao, Li Peipei. Microclimatic modification of urban green in Hefei City. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2009, 22(6): 39-42. [刘华, 宋涛, 李培培. 合肥城市主要绿地类型小气候调节作用初析. *城市环境与城市生态*, 2009, 22(6): 39-42.]
- [24] Xie Gaodi, Zhen Lin, Lu Chunxia, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911-919. [谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919.]
- [25] Xie Gaodi, Lu Chunxia, Leng Yunfa, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau. *Journal of Natural*



- Resources, 2003, 18(2): 189-196. [谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-195.]
- [26] Hu Zhongxiu, Zhou Zhongxue. Ecosystem service evaluation and its spatial pattern analysis of urban greenland in Xi'an City. *Arid Land Geography*, 2013, 36(3): 553-561. [胡忠秀, 周忠学. 西安市绿地生态系统服务系统服务功能测算及其空间格局研究. 干旱区地理, 2013, 36(3): 553-561.]
- [27] Yao Yao, Zhou Zhongxue. Influence of land use change on service function of ecosystem and their relationship: Taking example for Guanzhong Area. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2012, 24(4): 163-167. [姚瑶, 周忠学. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响及其两者关系研究: 以关中地区为例. 江西农业学报, 2012, 24(4): 163-167.]
- [28] Wang Zhenbo, Fang Chuanglin, Xu Guang, et al. Spatial-temporal characteristics of the  $PM_{2.5}$  in China in 2014. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(11): 1720-1734. [王振波, 方创琳, 许光, 等. 2014年中国城市  $PM_{2.5}$  浓度的时空变化规律. 地理学报, 2015, 70(11): 1720-1734.]
- [29] Zhang Yinjun, Chen Xi, Xie Gaodi, et al. Pollution status and spatial distribution of  $PM_{2.5}$  in China. *Resources Science*, 2015, 37(7): 1339-1346. [张殷俊, 陈曦, 谢高地, 等. 中国细颗粒物( $PM_{2.5}$ )污染状况和空间分布. 资源科学, 2015, 37(7): 1339-1346.]
- [30] Miguel Cárdenas Rodríguez, Laura Dupont-Courtade, Walid Oueslati. Air pollution and urban structure linkages: Evidence from European cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 53: 1-9.
- [31] Yang Long, He Kebin, Zhang Qiang, et al. Vertical distributive characters of  $PM_{2.5}$  at the ground layer in autumn and winter in Beijing. *Research of a Environmental Sciences*, 2005, 18(2): 23-28. [杨龙, 贺克斌, 张强, 等. 北京秋冬季近地层  $PM_{2.5}$  质量浓度垂直分布特征. 环境科学研究, 2005, 18(2): 23-28.]
- [32] Yang Qiongliang, Ouyang Ting, Yan Hong, et al. Research progress of pollen allergy. *Chinese Agricultural Science Bulletin*. 2015, 31(24): 163-167. [杨琼梁, 欧阳婷, 颜红, 等. 花粉过敏的研究进展. 中国农学通报, 2015, 31(24): 163-167.]
- [33] Ding Wei, Pang Ruiming, Xu Qinghai, et al. Surface pollen assemblages as indicators of human impact in the warm temperate hilly areas of eastern China. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(11): 839-847. [丁伟, 庞瑞滔, 许清海, 等. 中国东部暖温带低山丘陵区表土花粉对人类活动的指示意义. 科学通报, 2011, 56(11): 839-847.]
- [34] Bai Yang, Wang Xiaoyun, Jiang Haimei, et al. Progress of urban heat island. *Journal of Meteorology and Environment*, 2013, 29(2): 101-106. [白杨, 王晓云, 姜海梅, 等. 城市热岛效应研究进展. 气象与环境学报, 2013, 29(2): 101-106.]
- [35] Li Zhaojiang, Jiang Yi. Analysis on cooling energy consumption of residential buildings in China's urban areas. *Heating Ventilating and Air Conditioning*, 2009, 39(5): 82-88. [李兆坚, 江亿. 我国城镇住宅夏季能耗状况分析. 暖通空调, 2009, 39(5): 82-88.]
- [36] O'Farrell PJ, Donaldson J S, Hoffman M T. The influence of ecosystem goods and services on livestock management practices on the Bokkeveld plateau, South Africa. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2007, 122: 312-324.
- [37] Weslawski J M, Andrulewicz E, Kotwicki L, et al. Basis for a valuation of the polish exclusive economic zone of the Baltic Sea: Rationale and quest for tools. *Oceanologia*, 48: 145-167.
- [38] Lyytimäki J, Petersen L K, Normander B, et al. Nature as a nuisance? Ecosystem services and disservices to urban lifestyle. *Environmental Sciences*, 2008, 58: 161-172.
- [39] Wang H F, Qureshi S, Knapp S, et al. A basic assessment of residential plant diversity and its ecosystem services and disservices in Beijing, China. *Applied Geography*, 2015, 64: 121-131.
- [40] Lyytimäki J. Bad nature: Newspaper representations of ecosystem disservices. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2014, 13: 418-424.
- [41] Hanski I, Herten L V, Fyhrquist N, et al. Environmental biodiversity, human microbiota, and allergy are interrelated. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, 109(21): 8334-8339.
- [42] Villa F, Bagstad K J, Voigt B, et al. The misconception of ecosystem disservices: How a catchy term may yield the wrong messages for science and society. *Ecosystem Services*, 2014, 10: 52-53.

## Positive and negative ecosystem services evaluation and its spatial pattern analysis on urban landscape: A case study of Xi'an City

LI Mengtao, ZHOU Zhongxue

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

**Abstract:** Comprehensive assessment of the positive ecosystem services and disservices provided by urban landscape and evaluation of its contribution of different urban landscapes to total value of ecosystem services, are crucial to optimizing and regulating the urban landscape configuration and the eco-environment construction in rapid urbanization. Based on the knowledge of landscape ecology and ecosystem service and the Landsat images (OLI-TIRS) data, we valued the ecosystem services of urban landscape including its disservices and analyzed their spatial pattern of Xi'an urbanized area by building the models and employing software of ERDAS, ArcGIS10.1 in 2013. The results showed that: (1) The disservice value of urban landscape is remarkably higher than the positive ecological service value, and the net value is approximately  $-12.71 \times 10^8$  yuan in Xi'an city. In the process of rapid urbanization, the positive service value of urban landscape dramatically decreased and the negative service took up a large proportion of total values resulting from the transformation from natural landscape to semi-artificial landscape and artificial landscape, 87.81% of the urbanized area provided for negative net value of ecosystem services, and only 12.19% of the area provided positive net services. The expansion of urban landscape dominated by large built-up area will inevitably lead to the decline in ecosystem service value. (2) The value of positive ecosystem services provided by urban landscape in Xi'an city varied from urban core area to urban fringe obviously, which is lower in central area than in fringe area; And the high value area close to the road and in the parks shows the mixed patterns with plaque and grid. The total value of negative ecosystem services in the inner area is higher than that in the urban fringe, and high value area is more concentrated in space. Natural landscape and semi-artificial landscape are the main providers of the positive ecosystem services in city. (3) The spatial distribution of the urban landscape fundamentally determines the spatial pattern of the comprehensive ecosystem services, and the mosaic of different urban landscape types reflects the spatial pattern of the positive and negative ecosystem services shaped by the patches and the chessboard structure. The nearer to the area of urban fringe, the higher the comprehensive ecosystem services value is. There are the high value areas where the forest, grassland and water were distributed or scattered in the park or along road side in the city.

**Keywords:** urban landscape; comprehensive ecosystem service; positive and negative ecosystem services; Xi'an City