

邵明, 李方正. 城市生态空间生态系统服务功能权衡协同及管控研究: 以成都东部新城为例 [J]. 风景园林, 2021, 28 (7) : 114-120.

城市生态空间生态系统服务功能权衡协同及管控研究——以成都东部新城为例

Research on Trade-Off and Synergistic Relationship of Ecosystem Service and Space Regulation in City Ecological Space: A Case Study of Chengdu Eastern New City

邵明 李方正 *

SHAO Ming, LI Fangzheng*

开放科学 (资源服务)
标识码 (OSID)



中图分类号: TU986

文献标识码: A

文章编号: 1673-1530(2021)07-0114-07

DOI: 10.14085/j.fjyl.2021.07.0114.07

收稿日期: 2020-04-16

修回日期: 2021-05-18

邵明 / 男 / 博士 / 北京林业大学园林学院讲师 / 研究方向为风景园林规划设计

SHAO Ming, Ph.D., is a lecturer in the School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University. His research focuses on landscape planning and design.

李方正 / 男 / 博士 / 北京林业大学园林学院副教授 / 本刊特约编辑 / 研究方向为城市绿色空间生态系统服务权衡与协同、风景园林与公共健康

通信作者邮箱 (Corresponding author Email): 375066107@qq.com

LI Fangzheng, Ph.D., is an associate professor in the School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, and a contributing editor of this journal. His research focuses on ecosystem service trade-offs and synergies of urban green space, landscape architecture and public health.

摘要: 生态功能空间范围划定与主导服务功能识别管控是城市生态功能空间规划的基本前提与首要任务。以成都市东部新城为例, 将生态系统服务价值作为衡量生态功能空间存量标准, 通过热点分析指标 (G_i^* 指数) 划定核心生态功能空间分布范围, 同时筛选主导生态系统服务功能所对应的空间落位, 识别不同类型的生态功能空间, 并据此通过双变量空间局部自相关指数 (Local Moran's I) 解读生态系统服务功能间权衡协同机制, 尝试提出生态权衡协同视角下生态功能空间的识别与管控新途径, 为构建新时期中国新城国土空间规划与生态文明建设提供理论依据。

关键词: 生态系统服务; 生态功能空间; 空间规划; 权衡协同

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金 (编号 2021ZY36); 国家自然科学基金 (编号 51908036, 31670704); 北京市自然科学基金 (编号 8194071)

Abstract: The demarcation of ecological space and the identification and control of leading service functions are the basic premise and primary task of urban ecological space planning. Taking the Eastern New City of Chengdu as an example, this research takes the ecosystem service value as the standard to measure the ecological space stock, delimits the spatial distribution range of core ecological functions through the hot spot analysis index (G_i^* index), and at the same time, the spatial locations corresponding to the dominant ecosystem service functions are screened to identify different types of ecological function spaces. Based on this, the bivariate spatial Local autocorrelation index (Local Moran's I) was used to interpret the trade-off and collaboration mechanism among ecosystem services, and to try to put forward a new way to identify and control ecological function space from the perspective of ecological trade-off and collaboration, so as to provide a theoretical basis for the construction of new urban land space planning and ecological civilization construction in the new era.

Keywords: ecosystem services; ecological space; spatial planning; trade-off and synergistic

Fund Items: The Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. 2021ZY36); The National Natural Science Fund of China (No. 51908036, 31670704); The Beijing Natural Science Fund (No. 8194071)

1 概念与背景

随着中国城市化进程的发展, 城市规划逐步向城乡统筹一体化过渡, 城市空间与生态功能空间之间的矛盾冲突愈发激烈^[1]。生态功能空间作为国土空间规划最严格的底线约束与基础原则^[2], 如何合理划定其空间范围并拟定相应的管控策略, 成为规划者所关注的重点问题。

早期, 国内外学界对生态功能空间的评价

与管控主要基于对宏观政策、空间格局、景观质量等方面的评定: 如 1971 年 Bourne 等^[3]通过对加拿大各城市生态功能空间规划策略的综述总结, 提出 4 项城市生态功能空间基本管控原则; 1984 年 Goodchild 等^[4]结合市民反馈, 对哈利法克斯城生态功能空间格局的时空变化进行评价; 1996 年许学工等^[5]通过对黄河三角洲生态环境质量进行评价, 建立了相应的空间预警

管控对策。但是,这一类型的生态功能空间评价方式往往从单一视角出发,评价途径偏向定性总结,对生态功能空间整体系统把控偏弱。

而后,随着1997年生态系统服务功能概念的提出与完善^[6],2005年联合国发布《千年生态系统评估体系》,将生态系统服务作为量化自然系统与评价生态功能空间的重要手段进行推广,并迅速在国内外学界得到广泛应用:如2010年Jari等^[7]通过评估芬兰各城市生态系统服务功能价值,提出相应的绿色生态功能空间规划办法;2014年James等^[8]基于纽约市域生态系统服务评价,构建纽约生态功能空间网络规划;2019年,孔令桥等^[9]通过服务重要度与生态敏感性双向评价,提出长江流域生态功能空间划定办法。总体来看,基于整体生态系统服务功能的评价有助于城市生态功能空间的整体认知,也有助于宏观管控策略的把控拟定。但是,较大尺度的城市生态功能空间往往在不同区域存在着生态服务功能配比与相互作用关联机制的空间差异,基于整体系统的服务价值评估无法准确对其进行规划回应。

因此,国内外学者纷纷提出基于空间主导服务功能识别、多项服务功能权衡协同关联评价的研究思路:如2018年,Vallet等^[10]通过生态系统服务功能的价值评价,对哥斯达黎加雷文塔松流域6项主导服务功能价值与其权衡协同关系进行评价识别,并提出相应的空间管控措施;2019年王晓峰等^[11]分析了中国重点脆弱生态区土壤保持、植被净初级生产力和产水服务的权衡协同关系;2020年巩杰等^[12]提出甘肃白龙江流域4项典型生态系统服务功能权衡协同关联机制。但是,目前国内外学者更多将研究重点放在中宏观尺度中各项服务之间的作用差异,在对各项生态系统服务功能中主导性服务识别,以及利用主导性服务间的权衡协同关系指导城市生态功能空间规划管控领域的研究仍处于空白阶段,因此对该领域展开研究具有必要性与紧迫性。

本研究基于生态系统服务功能评价视角,依据城市生态功能空间内不同区域占据主导

地位的一项或多项生态服务功能的识别,将生态功能空间进行细化划分,并在此基础上对不同区域主导服务与非主导服务之间的权衡协同关系进行测度,分析其生态系统正向或负向演化发展推动机制,从而为城市生态功能空间内部管控策略的细化制定提供依据。

2 方法与数据

2.1 研究范围

本研究以成都市东部新城为研究对象,所涉面积3 981.63 km²。2019年7月,成都市发布《成都市东部新城空间发展战略规划(2017—2035年)》,明确东部新城三项转变、五对关系以及十大策略,明确东部新城将作为成都市中远期发展建设的重点区域,东进战略成为成都市在国家宏观调控背景下国土空间开发的重点战略之一^[13]。在此背景下,东部新城范围内生态功能空间主导功能的识别与管控成为东进战略的重要问题之一。

2.2 研究方法

首先,本研究采用当量因子法对成都市东部新城的生态功能空间功能进行量化评估^[14];其后,研究利用热点分析指标(G_i^* 指数)划定东部新城核心生态功能空间并筛选相应主导生态系统服务功能的落位空间,其能有效排除突变空间因子,准确反映各子项生态系统服务价值在空间的集聚主导特征^[15];最后,利用双变量空间局部自相关指数(Local Moran's I)的空间化特征优势^[16],分析不同区域2项服务功能之间的关联作用差异,从而厘清东部新城不同空间单元不同生态系统服务功能之间的权衡协同机制。

2.2.1 生态系统服务价值测定

中国陆地生态系统服务价值当量因子表^[17]为谢高地等基于700余位相关领域专家意见对Costanza所拟定的全球生态系统服务功能当量系数表修正后获得,其以研究区域单位面积的粮食平均市场价值的1/7作为标准当量,将因子系数转化为不同生态系统所对应服务功能类型的价值系数,测度公式如下^[18-19]:

$$V = \sum_{x,y=1}^{n,m} V_{xy}, \quad (1)$$

$$V_{xy} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^j V_i Q_i \times M_{xy} \times S_x, \quad (2)$$

式中, V 是生态系统服务总价值, n 、 m 分别为土地利用类型与生态系统服务功能类型数量, V_{xy} 代表第 x 类土地类型的第 y 项服务功能价值, j 为地方主要粮食作物种类数量, V_i 代表第 i 类单位面积主要粮食作物种类市场价值, Q_i 代表第 i 类主要粮食作物播种面积比例, M_{xy} 代表第 x 类土地类型的第 y 项服务功能价值系数, S_x 代表第 x 类土地类型面积。

2.2.2 空间聚集性评价

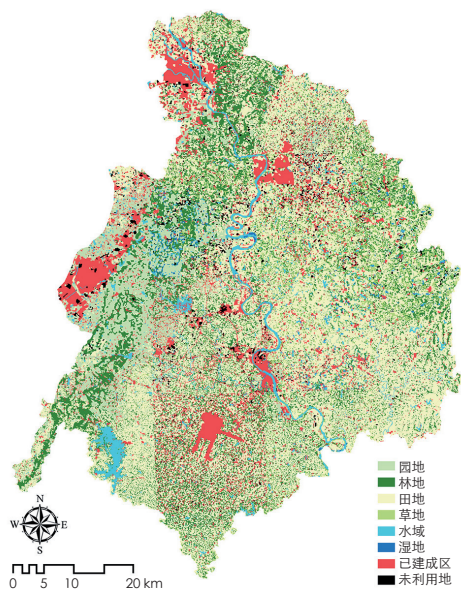
选择热点分析指标(G_i^* 指数)进行空间主导生态系统服务功能的识别与判定。热点分析指标能排除因各种原因造成的突变区域,反映生态服务功能在空间的聚集度特征值,其高聚集性空间表征该项生态系统服务功能的核心分布空间,因此,将高聚集性空间的并集作为东部新城核心生态功能空间划定依据^[20]。在此基础上,通过筛选空间内每一栅格单元热点分析指标特征值最大值的极值,识别其所对应的一项或多项生态服务功能,作为该单元所对应的主导生态服务功能^[21]。服务功能的主导性随项数增多而衰减,所以同一空间若存在3种或3种以上主导服务功能时,认定其为综合性服务功能空间。据此原则,将东部新城空间划分为单功能主导、双功能主导、综合性服务3种类型。热点分析指标(指数)计算公式如下:

$$G_i^* = \left(\sum_{x=1}^n DIS_{xy} ESV_y - \overline{ESV} \sum_{y=1}^n DIS_{xy} \right) / S \sqrt{\frac{n \sum_{y=1}^n DIS_{xy}^2 - \left(\sum_{y=1}^n DIS_{xy} \right)^2}{n-1}}, \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\left[\left(\sum_{y=1}^n ESV_y^2 / n \right) - (\overline{ESV})^2 \right]}, \quad (4)$$

$$\overline{ESV} = \left(\sum_{y=1}^n ESV_y \right) / n, \quad (5)$$

式中,热点分析指标(G_i^* 指数)代表生态系统服务价值聚集相关性程度, ESV_y 是位于 y 空间位置的土地利用栅格所对应的生态系统服务价值, DIS_{xy} 代表位于 x 、 y 空间位置土地利用栅格之间的空间权重, n 为栅格总数。 G_i^* 指数越高,代表高值生态系统服务分布相关聚集度越高,空间生态服务功能较高且集中,可以认为是核心生态功能区; G_i^* 指数越低,代表低值生态系统服务价值分布相关聚集度越高,空间生态服务功能较低且集中;



1 成都东部新城土地利用分布
Land use distribution map of Eastern New City of Chengdu

G_i^* 指数越接近于 0, 代表该空间生态系统服务功能分散且无聚集特征^[23]。

2.2.3 双变量空间局部自相关指数

研究选择双变量空间局部自相关指数进行筛选后的核心主导服务功能权衡协同判定。传统莫兰指数只能从判断变量与整体空间或局部空间是否存在关联性^[23], 而空间局部自相关指数在传统莫兰指数的基础上将一元变量拓展至二元变量, 可以有效揭示各项生态系统功能间的权衡协同关系^[24], 其公式如下:

$$Moran' I_{xy}^i = \frac{(ESV_y^i - \overline{ESV}_y)}{[\sum_{j=1}^n (ESV_y^j - \overline{ESV}_y)^2 / n]} \times \sum_{j=1}^n W_{ij} \times \frac{(ESV_x^j - \overline{ESV}_x)}{[\sum_{j=1}^n (ESV_x^j - \overline{ESV}_x)^2 / n]}, \quad (6)$$

式中, $Moran' I_{xy}^i$ 是空间 i 位置 x 、 y 2 类生态系统服务相关性指数, ESV_x^i 、 ESV_y^i 分别是空间 i 、 j 位置 x 、 y 类生态系统服务价值数, $\overline{ESV}_x$ 、 $\overline{ESV}_y$ 分别是 x 、 y 类生态系统服务价值平均数, n 是空间栅格数量, W_{ij} 是基于空间邻域建立的权重矩阵。

根据相关研究成果^[25-26], 本研究取整体聚集性回归系数为 $(0.4, 1.0]$ 时为强协同关联, $[0.2, 0.4]$ 为弱协同关联, $(-0.2, 0.2)$ 为无显著关联, $[-0.4, -0.2]$ 为弱权衡关联, $[-1.0, -0.4]$ 为强权

衡关联。

2.3 研究数据

研究中, 土地利用及卫星遥感数据来源于国土空间二调数据及地理空间数据云网站 (<http://www.gscloud.cn/>) 所提供的 Landsat 8 OLI_TIRS 卫星数据, 参考二调数据矫正后识别为田地、园地、林地、草地、水域、湿地、已建设地、未利用地 8 类。社会经济数据来源于《中国统计年鉴 2019》及地方农业局统计经济数据, 土地利用数据分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$, 坐标系采用 CGCS2000 (图 1) 根据相关研究^[27-28], 综合单元尺度、研究范围、数据精度, 选择 $1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$ 渔网矢量单元对其进行统计。

3 结果与讨论

3.1 生态服务功能价值评价

根据《中国统计年鉴 2019》, 利用公式 (1~2) 与中国陆地生态系统服务价值因子表计算得出成都东部新城各生态系统服务功能价值分布, 在 ArcGIS 平台采用 5 级自然分断点实现数据可视化, 得到东部新城各生态系统服务功能价值子项分布 (图 2)。

由结果可知, 各子项生态系统服务功能空间分布特征明显。其中, 东部新城西侧龙泉山一线具有较高的原材料供给、气候调节、土壤保持、生物多样性维持的生态服务功能, 中部沱江及三岔湖地区水文调节、废物处理、景观美学提供生态服务功能较高, 东部浅丘农田区域食物生产服务价值明显较高。

3.2 主导生态系统服务功能识别

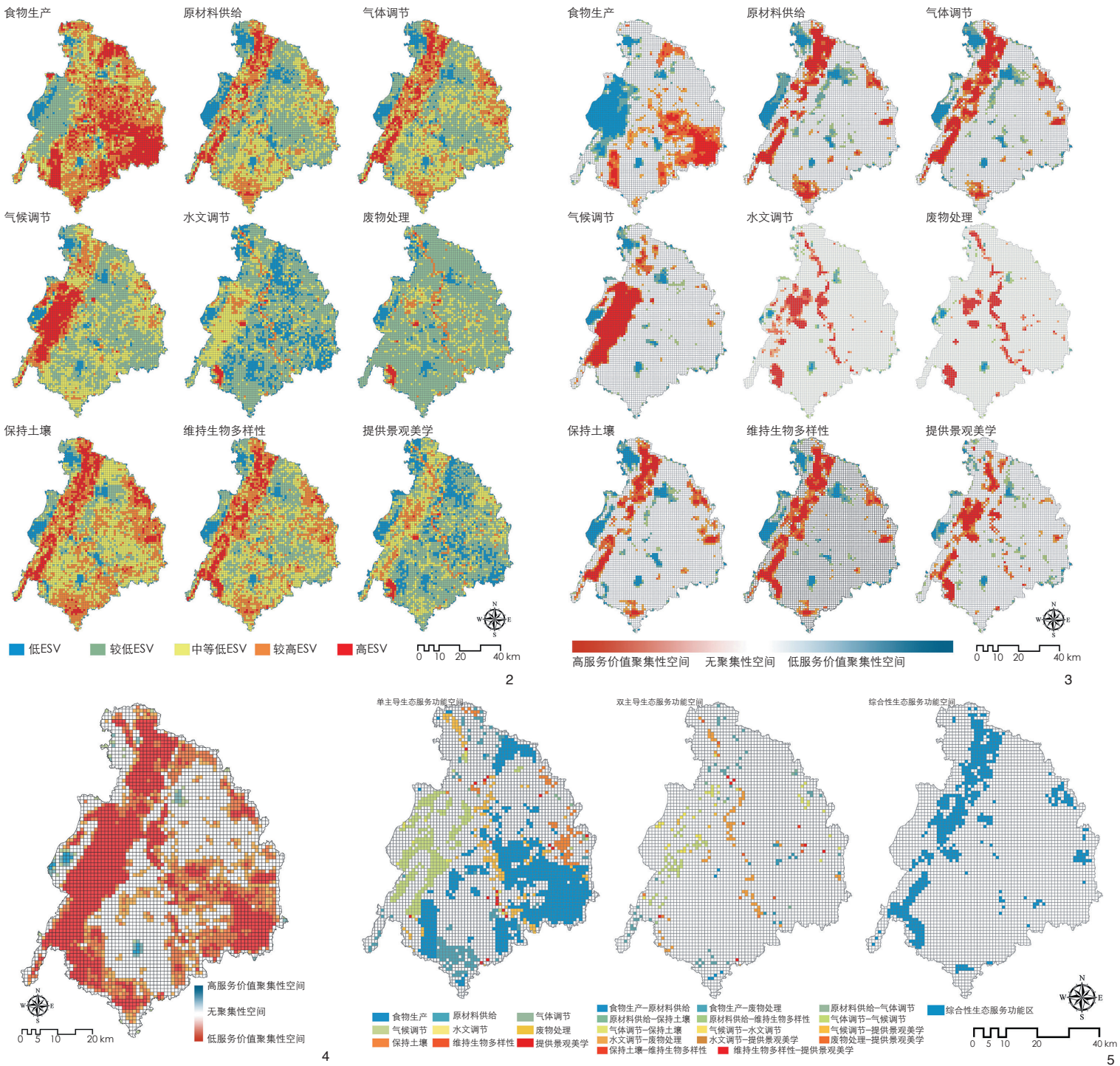
子项生态系统服务功能分布图可以良好的表现单一生态服务功能空间分布的相对关系, 但价值分布无法反映其空间相关聚集程度与主导性。因此, 在 ArcGIS 10.6 平台利用公式 (3~5) 计算各子项服务功能价值的热点分析指标 (指数), 并结合标准正态分布表将之转换为零假设拒绝概率, 参照统计学概念及相关研究^[20, 29], 选择 ± 2.58 、 ± 1.96 、 ± 1.65 作为间断点, 分别对应 $\pm 99\%$ 、 $\pm 95\%$ 、 $\pm 90\%$ 聚集程度概率, 并统一进行空间拉伸显示, 得到各子项生态系统服务空间聚集性分布图 (图 3)。

由结果可知, 各子项生态系统服务功能空间聚集性特征明确, 且与价值分布特征基本吻合。食物生产服务高值聚集空间集中分布在东南侧浅丘农田, 低值聚集空间以西侧龙泉驿扩散影响至龙泉山中部; 原材料供给、气体调节、土壤保持、生物多样性维持、景观美学提供服务空间分布特征相似, 除龙泉山一线较明显的高值聚集空间分布外, 龙泉驿、简阳新城与空港新城呈现较明显的低值聚集空间; 气候调节服务除龙泉山中部的高值聚集空间外, 没有明显的低值聚集空间, 水文调节、废物处理则除沱江沿线与三岔湖区域外, 显现了龙泉山中部的高值聚集分布空间特征。

高值聚集空间代表各子项服务功能核心聚集分布空间, 在此基础上对各子项服务价值聚集空间进行极值运算, 叠加结果选择空间最大值^[30], 获得东部新城核心生态功能空间分布图 (图 4), 并识别空间单元最大值所对应的生态系统服务功能作为该单元主导生态系统服务功能, 将 3 类以上生态系统服务功能参与的单元定义为综合性服务功能单元, 分别得到单主导、双主导、综合性东部新城生态功能空间主导服务功能分布图 (图 5)。

东部新城所识别核心生态功能空间面积 2231.08 km^2 , 占全域面积 56.03% , 主要分布在区域西侧龙泉山、西南侧三岔湖、东南侧浅丘农田、中部沱江沿线区域, 呈现较为明显的圈层化空间分布特征 (图 4)。

核心生态功能空间内单主导生态服务功能空间占比为 65.21% , 达到 1454.95 km^2 , 其中占据主导型的是位于东南侧浅丘农田地区的食物供给、南部浅山地区的原材料供给、西部龙泉山浅山地区气候调节、中部沱江沿线废物处理、东部平原土壤保持 5 类核心空间, 其空间占比分别达到 37.42% 、 6.41% 、 11.96% 、 4.65% 、 3.45% , 气体调节、水文调节、生物多样性维持、景观美学提供单主导服务空间占比均小于 1% 。核心生态功能空间内双主导生态服务功能空间为 229.26 km^2 , 占比为 10.28% , 主要分布在龙泉山半坡与沱江中部, 共计 14 类, 表现出较为明显的供给、支持、调节、文化四大类生态系统服务内子项间关



联性。综合性服务空间为 546.87 km²，占比为 24.51%，空间分布明显集中在龙泉山与三岔湖一线，同时东部边界也有少量综合性服务空间分布（图 5）。

3.3 核心生态功能空间内生态服务权衡协同关系测定

在核心生态功能空间识别基础上，基于公式（6）对各子项生态系统服务功能进行双

变量空间局部自相关计算，得到东部新城核心生态功能空间内生态系统服务功能权衡协同关系表（表 1）。

由表 1 可知，在东部新城内食物生产

表1 生态服务功能权衡协同关系
Tab. 1 Synergy relationship table of ecological service function trade-off

Moran's I	食物生产	原材料供给	气体调节	气候调节	水文调节	废物处理	保持土壤	生物多样性维持	提供景观美学
食物生产		-0.231	-0.385	-0.755	-0.376	0.094	0.173	-0.393	-0.407
原材料供给			0.636	0.334	-0.029	-0.170	0.608	0.549	0.200
气体调节				0.499	0.009	-0.183	0.632	0.581	0.232
气候调节					0.288	0.011	0.345	0.464	0.360
水文调节						0.486	-0.137	0.249	0.513
废物处理							-0.273	0.085	0.408
土壤保持								0.481	0.072
生物多样性维持									0.421
景观美学提供									

与气候调节、景观美学提供呈现较强的权衡关系 (Moran's I<-0.4)；食物生产与原材料供给、气体调节、水文调节、生物多样性维持，废物处理与土壤保持呈现弱权衡关系 (-0.4 ≤ Moran's I ≤ -0.2)；原材料供给与气体调节、土壤保持、生物多样性维持，气体调节与气候调节、土壤保持、生物多样性维持，气候调节与生物多样性维持，水文调节与废物处理、景观美学提供，废物处理与景观美学提供，土壤保持与生物多样性维持，生物多样性维持与景观美学提供均呈现强协同关系 (Moran's I>0.4)；原材料供给与气候调节、景观美学提供，气体调节与景观美学提供，气候调节与水文调节、土壤保持、景观美学提供，水文调节与生物多样性维持呈现弱协同关系 (0.2 ≤ Moran's I ≤ 0.4)。

综合核心生态功能空间的主导性生态服务功能的分析结果表明，单主导生态服务功能空间内东南部食物生产功能区与其他子项服务弱权衡关系明确，其主要原因是农田基底生态类型较为单一，所提供生产性服务功能专一性较强，极大程度压迫区域内其他生态服务功能的生态类型存量；西侧浅山区气候调节服务与多数子项服务呈现较明显的强协同关系，主要是因为该区域气候调节功能多数由浅山疏林草地提供，自身生态系统正向演化趋势较为明确，周边林地与草地生态系统也对其具有较强的促进作用。双主导生态服务功能空间内沱江水文调节与气候调节服务、水文调节与景观美学提供服务双主导趋势明确，主要由于河道水体与近河道湿地

的生态服务功能极容易受到周边复杂环境因素影响，与其他生态服务功能呈现较明显的弱权衡关系；西侧龙泉山中部地区气体调节与气候调节、原材料供给与气体调节主导趋势明确，其生态功能复合主要由山体中部疏林草地向密林地过渡所导致，且该类型空间与子项服务呈现较明显的弱协同关系。综合性服务空间集中在龙泉山及三岔湖区域，与多数服务呈现较明确的协同关系，主要是因为现状生态系统稳定，服务功能结构完善，正向演化趋向明确。

4 东部新城生态功能空间管控策略

目前，中国国土空间三区三线中生态红线及生态功能空间划定的重要依据之一就是生态系统服务功能的重要度，本研究所识别的核心生态系统服务分布空间、主导性服务功能类型、主导性服务功能数量、主导性与非主导性服务功能权衡协同关联分别为国土空间规划中生态红线范围的划定、生态功能空间功能的定位、生态功能空间管控的方向以及方式提供依据。

生态功能空间内的主导性服务类型差异指导其在国土空间规划中的基础功能定位。如食物生产、原材料供给属于基础性供给服务，其主导空间载体多为耕地园地，存在底线约束要求，基础功能定位应以遵循相关法律法规、确保底线生态服务功能为前提；气体调节、气候调节、水文调节、废物处理属于环境性调节服务，主导空间载体多为林草地或水域湿地，对周边环境基础有正向协同

作用，提供了良好生态发展或景观营造的基础条件，基础功能定位应以绿色循环发展为主，适度引入绿色产业；土壤保持、生物多样性维持属于结构性支持服务，主导空间载体多为山林系统与林草空间，对周边生态结构多数有正向协同作用，应充分利用其优势，促进区域整体生态结构向良性演替发展。

生态功能空间内的主导性服务类型数量指导其在国土空间规划中的管控策略方向。单主导或双主导功能生态功能空间结构简单，整体脆弱度较高，管控方向应以政策引导及人为介入为主，适度增加管控力度及频率，确保空间功能的长效可持续发展。综合性服务功能空间生态系统结构趋向稳定，生态存量丰富，管控方向应以增加政策保护及维护自然演替为主，降低人为干扰，保持生态底线功能。

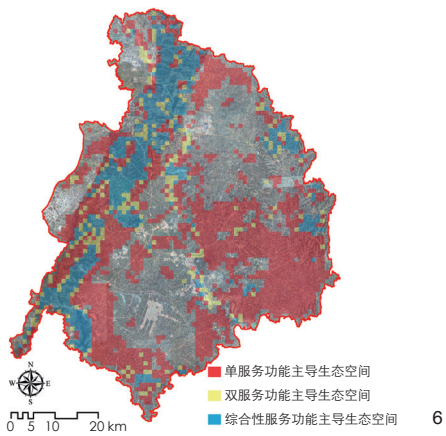
生态功能空间内的主导性与非主导性服务间权衡协同关系指导其在国土空间规划中的管控方式及途径。通过识别相应主导性功能所对应的协同性服务，可以对其载体进行正向或负向管控引导，以达到促进区域生态功能良性发展或优化空间结构的管控目的；通过对主导性功能所对应的权衡性服务载体进行正向或负向的管控引导，可以人为干预区域主导生态功能构成，从而达到优化城市生态功能结构的目的。

因此，本研究基于所识别的核心生态功能空间范围及其所对应的不同主导服务功能，综合考虑主导服务功能数量及其与非主导服务功能之间权衡协同关系测定结果，划定3种类型生态功能空间范围(图6~7)，并提出不同类型东部新城生态功能空间管控策略^[31]。

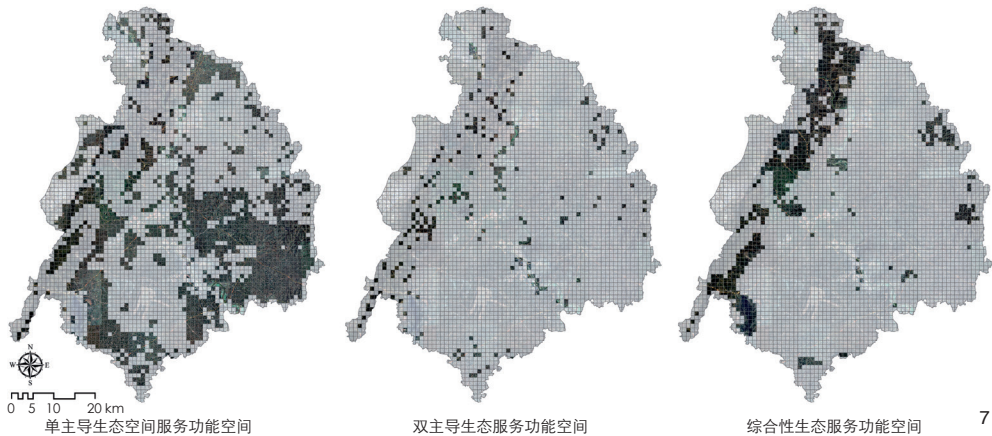
4.1 单主导生态服务功能空间——结构优化、底线控制

单主导生态服务功能空间是成都市东部新城最主要的生态功能空间类型，该类型空间主要分布在东侧丘陵农田区域、西侧龙泉山浅山区域，其空间分布呈现面状结构，具有集聚性高、核心服务价值集中的特征，同时该类型空间生态功能构成单一，结构较为脆弱，受其他环境因素影响的弹性回应能力较差，但各项服务间权衡协同关系明确。

单主导生态服务功能空间与协同性服务



6 核心生态功能空间管控类型分布
Distribution diagram of core ecological space management and control types



7 各类型生态服务功能空间分布图
Distribution map of various types of ecological service functions

空间的重叠空间分布集中且面积较大，多为农业用地、平原或浅山林草地，单位面积服务价值不高，但整体生态存量较高，提供了区域内最基础性的生态服务功能。该类型空间应遵循结构优化原则，通过主导服务功能带动协同服务共同优化，提升协同服务价值存量，增加生态功能空间整体服务功能价值与生态系统结构强度，确保生态基底弹性发展。以西侧浅山地区气候调节服务主导空间为例，龙泉山浅山区与山顶山林区分界空间模糊，正向演化趋势明显，该空间在其自然状态下受山体林草生态系统过渡空间的影响，与多数服务功能呈现较明显的协同特征，应充分利用现有疏林草地特征构建生态保护地或生态廊道，稳定现有生态功能格局，降低人为干扰，增加生态系统稳定性，保护生态系统正向演化趋势，实现空间服务功能最大化。

单主导生态服务功能空间与权衡性服务空间的重叠空间分布多位于与城市建设区域交接边界或单主导生态服务功能空间边缘区域，受环境周边环境影响较为严重。该类型空间应遵循底线控制原则，严格控制生态底线，通过政策引导、规划控制增加局部生态功能空间服务复合结构性，维持主导功能可持续发展。以东侧浅丘地区食物供给服务主导空间为例，其集中分布了东部新城的大部分基础农业田地空间，应在坚持底线功能不改变的同时，在边缘或局部小空间内增加复

合生态系统，确保其基本主导功能独立性与农田生态系统可持续发展可能性。

4.2 双主导生态服务功能空间——格局提升、功能强化

双主导生态服务功能空间在成都市东部新城范围内占比较低，主要在沱江沿线、龙泉山林草空间交界边缘处呈线性分布，其空间趋向破碎化，往往分布在综合性生态服务功能空间与单主导生态系统服务功能空间过渡地区。该类型空间生态功能构成趋向完整化，从量化价值来看服务价值整体较高，但极易受到主导服务之间权衡协同关系影响，导致生态结构发生变化。

双主导生态服务功能空间与协同性服务空间的重叠空间分布于山地与浅山地区交界、河流交汇处，有明显的演化过渡趋势。该类型空间应遵循格局提升原则，在保持现有双主导服务功能稳定发展的前提下，首先考虑对其格局进行提升。以西侧龙泉山浅山山林交界处的气候调节与气体调节主导服务功能空间为例，其生态过渡特征较为明确，且受龙泉山森林影响，自然群落正向演化趋势明确，应与周边综合性服务功能区域统筹考虑，完善现有生态结构，通过生态服务功能间权衡协同作用，科学筛选协同服务，促进其向林地生态功能空间平稳过渡。

双主导生态服务功能空间与权衡性服务空间的重叠空间多分布于邻近单主导生态服

务功能空间或与城市交界的边缘区域，空间分布破碎，易受周边空间功能影响，自身稳定性较低。该类型空间应遵循功能强化原则，在维持生态系统稳定前提下，降低权衡生态服务功能对于现有主导生态服务功能的负向作用，向周边综合性生态功能空间过渡。以沱江地区水文调节与气候调节双主导服务功能空间为例，该区域邻近东部新城数个城市规划建设区，同时兼具自然缓冲与人居环境塑造的复合特征，是中部地区核心的生态服务功能提供区域，应优化区域生态格局，构建沿江湿地水域生态廊道，增加东向山地西向浅丘的生态连通空间，强化现有生态功能，限制周边城镇化开发强度。

4.3 综合性生态服务功能空间——存量保护、系统管控

综合性生态服务功能空间在成都市东部新城分布集中，主要分布在龙泉山内部及三岔湖周边，空间区块化分布特征明显。该类型空间提供了东部新城绝大多数生态服务功能价值，生态功能构成相对完善、功能结构也相对完整，但各项服务功能间权衡协同关系复杂。

综合性生态服务功能空间与协同性服务空间的重叠空间多由大面积天然山林地与自然保护地、水源保护地、湿地组成，承担了区域内绝大多数生态服务功能，是城市中重要的生态资源储存基地。该类型空间应遵循存量保护原则，以西侧龙泉山综合性服务主导空间

为例，作为整个东部新城重要生态源地，生态屏障特征明确，应禁止任何层面的开发建设活动，集中策划生态保护与生态屏障功能，完善长效可持续发展的生态建设机制。

综合性生态服务功能空间与权衡性服务空间的重叠空间多分布于山林地或邻近核心生态功能空间的边缘地区，空间分布偏向破碎，演化趋势趋向结构退化。该类型空间应遵循系统管控原则，以东部及北部边缘空间为例，应严格遵循系统管控调整原则，在禁止开发活动的基础上，合理分析现有生态群落结构演化模式及驱动方式，调整内部结构及外部环境，促进系统正向演化，维持生态功能完整。

5 结论

生态功能空间遵循国土空间规划中最基础控制原则，对其进行空间划定与空间识别管控具有必要性与现实意义。本研究基于生态系统服务功能视角，通过热点分析指标（指数）与双变量空间局部自相关指数共同筛选成都市东部新城核心生态功能空间、识别主导生态系统服务功能、测算核心生态功能空间内生态系统服务权衡协同关系，并据此提出相应生态功能空间管控模式：

1) 成都市东部新城核心生态功能空间面积 2 231.08 km²，面积占比 56.03%，价值总占比超过 64.58%，依托龙泉山、沱江、东南部浅丘农田呈现较为明显的圈层化空间分布特征。

2) 成都市东部新城主导性生态系统服务功能空间可以分为单主导、双主导、综合性 3 类，其面积分别为 1 454.95、229.26、546.87 km²，空间占比分别为 65.21%、10.28%、24.51%，呈现较为明显的单类型主导趋势，主导类型为食物生产、原材料供给、气候调节、废物处理、土壤保持。

3) 成都市东部新城核心生态功能空间内生态系统服务功能多数呈现较为明显的高协同关系，其中食物生产与除气体调节外多数服务，废物处理与气体调节、土壤保持呈现较高的权衡关系，综合主导生态服务功能空间类型分别提出底线控制、结构优化；功能

强化、格局提升；存量保护、系统管控 3 个层级的管控策略。

目前本研究仍存在一定局限性，数据精度质量、生态系统服务价值评价手段的不同可能会带来分析结果的局部偏差，从而影响核心服务功能范围的识别与划定。研究对服务价值的估算是基于土地利用类型与生态服务当量因子表，未来可以考虑通过结合其他软件模型模拟或实测校验的手段进一步提高价值评价精度。同时本研究主要从生态视角出发，基于生态服务功能内部间权衡协同效应作用关系，未将社会经济因子纳入服务功能驱动因素的讨论，后续研究可进一步提升评价系统完整性。

参考文献 (References):

- [1] 沈悦, 刘天科, 周璞. 自然生态功能空间用途管制理论分析及管制策略研究 [J]. 中国土地科学, 2017, 31 (12): 17-24.
- [2] 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.
- [3] LARRY S B, GERALD M B. Ecological Patterns of Small Urban Centers in Canada [J]. Economic Geography, 2016, 47(1): 258-265
- [4] GOODCHILD M F, JANELLE D G. The City Around the Clock: Space-Time Patterns of Urban Ecological Structure [J]. Environment and Planning A, 1984, 16(6): 807-820.
- [5] 许学工. 黄河三角洲生态环境的评估和预警研究 [J]. 生态学报, 1996 (5): 60-468.
- [6] COSTANZA R, D'ARCE R, GROOT R D, et al. The Value of The World's Ecosystem Services and Natural Capital [J]. Ecological Economics, 1997, 25(1): 3-15.
- [7] NIEMEL J, SAARELA S R, SDERMAN T, et al. Using the Ecosystem Services Approach for Better Planning and Conservation of Urban Green Spaces: A Finland Case Study [J]. Biodiversity and Conservation, 2010, 19(11): 3225-3243.
- [8] CONNOLLY J, SVENDSEN E S, FISHER D R, et al. Networked Governance and the Management of Ecosystem Services: The Case of Urban Environmental Stewardship in New York City [J]. Ecosystem Services, 2014, 10: 187-194.
- [9] 孔令桥, 王雅晴, 郑华, 等. 流域生态功能空间与生态保护红线规划方法: 以长江流域为例 [J]. 生态学报, 2019, 39 (3): 835-843.
- [10] VALLET A, LOCATELLI B, LEVREL H, et al. Relationships Between Ecosystem Services: Comparing Methods for Assessing Tradeoffs and Synergies [J]. Ecological Economics, 2018, 150: 96-106.
- [11] 王晓峰, 马雪, 冯晓明, 等. 重点脆弱生态区生态系统服务权衡与协同关系时空特征 [J]. 生态学报, 2019, 39 (20): 7344-7355.

[12] 巩杰, 柳冬青, 高秉丽, 等. 西部山区流域生态系统服务权衡与协同关系: 以甘肃白龙江流域为例 [J]. 应用生态学报, 2020, 31 (4): 1278-1288.

[13] 蔡德勇. 成都: “东进”承载未来 [J]. 城市开发, 2019 (18): 56-57.

[14] 张正勇, 何新林, 刘琳, 等. 中国天山冰川生态服务功能及价值评估 [J]. 地理学报, 2018, 73 (5): 856-867.

[15] 和娟, 师学义, 付扬军. 基于生态系统服务的汾河源区生态安全格局优化 [J]. 自然资源学报, 2020, 35 (4): 814-825.

[16] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应 [J]. 生态学报, 2013, 33 (8): 2565-2576.

[17] 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 [J]. 自然资源学报, 2008 (5): 911-919.

[18] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估 [J]. 自然资源学报, 2003 (2): 189-196.

[19] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进 [J]. 自然资源学报, 2015, 30 (3): 1243-1254.

[20] 王川, 刘春芳, 乌亚汗, 等. 黄土丘陵区生态系统服务空间格局及权衡与协同关系: 以榆中县为例 [J]. 生态学杂志, 2019, 38 (2): 521-531.

[21] 钱彩云, 巩杰, 张金茜, 等. 甘肃白龙江流域生态系统服务变化及权衡与协同关系 [J]. 地理学报, 2018, 73 (5): 868-879.

[22] 王媛, 蒋文伟, 陈姝. 慈溪市匡堰镇生态系统服务功能价值空间分布评估 [J]. 西北林学院学报, 2013, 28 (5): 58-62.

[23] 王树强, 孟娣. 雾霾空间溢出背景下产业转型的环境效应研究: 基于京津冀及周边 31 个城市的实证分析 [J]. 生态经济, 2019, 35 (1): 144-149.

[24] 汪泽波. 城镇化过程中能源消费空间格局异质性 [J]. 首都经济贸易大学学报, 2015, 17 (6): 3-11.

[25] 李鸿健, 任志远, 刘焱序, 等. 西北河谷盆地生态系统服务的权衡与协同分析: 以银川盆地为例 [J]. 中国沙漠, 2016, 36 (6): 1731-1738.

[26] 武文欢, 彭建, 刘焱序, 等. 鄂尔多斯市生态系统服务权衡与协同分析 [J]. 地理科学进展, 2017, 36 (12): 1571-1581.

[27] 宋庆丰, 牛香, 殷彤, 等. 黑龙江省湿地生态系统服务功能评估 [J]. 东北林业大学学报, 2015, 43 (6): 149-152.

[28] 尤南山, 蒙古军. 基于生态敏感性和生态系统服务的黑河中游生态功能区划与生态系统管理 [J]. 中国沙漠, 2017, 37 (1): 186-197.

[29] 汪东川, 孙志超, 孙然好, 等. 京津冀城市群生态系统服务价值的时空动态演变 [J]. 生态环境学报, 2019, 28 (7): 1285-1296.

[30] 郎焱卿. 喀斯特山区生态服务功能的权衡研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2017.

[31] 李理, 朱连奇, 朱文博, 等. 生态系统服务价值与人类活动强度关联性分析及权衡: 以淇河流域为例 [J]. 中国环境科学, 2020, 40 (1): 365-374.

图表来源 (Sources of Figures and Table):

文中所有图表均由作者绘制。

(编辑 / 王亚莺)