

# 重庆市主城区城市扩张对生态系统 服务影响的时空评估

李嘉译 匡鸿海 王佩佩<sup>1</sup>

(西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

**【摘要】:** 城市建设用地扩张存在无序蔓延的现象, 这种现象导致了生态系统服务功能的衰退, 进而影响社会、经济和生态的协调发展。以重庆市主城区为研究对象, 基于 DMSP/OLS 数据和 Landsat 数据分析了 2005~2015 年城市扩张的时空特征, 基于 MODISNDVI 数据、农作物产量数据、植被覆盖类型数据、气象数据和土壤类型数据等, 利用食物供给模型、CASA 模型和 SCS<sub>n</sub> 模型模拟了 2005、2015 年单位面积粮食供给、NPP 和径流深度的空间分布与变化, 最后, 通过相关性分析阐述了不同发展区域生态系统服务的时空变化和权衡协同关系变化, 探讨了城市扩张过程中面临的问题与挑战, 并对未来城市发展提出几点建议。主要结论如下: (1) 将重庆市主城区按照发展水平的高低划分为发达区、发展区和远城区; 时间方面, 2005~2015 年建设用地共增加了 373.9 km<sup>2</sup>, 发达区由于建设用地分布处于较饱和状态, 建设用地的扩张量最小, 发展区的扩张量最大。空间方面: 建设用地沿着东北西南方向延伸扩张, 东北偏东方向的渝北区和江北区受“两江新区”建设的影响, 建设用地增量最大; (2) 2005 和 2015 年食物供给、固碳和土壤蓄水服务功能在发达区最低, 发展区次之, 远城区最高, 且三种生态系统服务功能均存在显著衰退现象, 衰退幅度最大的区域是发展区, 与城市扩张最剧烈的区域在空间上吻合; (3) 生态系统服务之间的权衡与协同关系受城市发展程度的影响; (4) 发展区是生态系统服务功能下降最大的区域, 食物供给是衰退最显著的生态系统服务功能。通过研究发现, 重庆市建设用地扩张存在“冒进”蔓延的现象, 这种现象破坏了生态系统功能, 降低了环境容量, 影响市民居住的舒适性, 为此针对城市扩张过程中出现的问题提出了几点发展建议。研究结果引为解析重庆市主城区城市化过程中的问题成因, 寻求城镇化的协调发展之路, 合理规划城市发展提供了科学依据。

**【关键词】:** 城市扩张 NPP 食物供给 径流深度 权衡协同

**【中图分类号】:** F301.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2020)04-0859-10

20 世纪 70 年代以来, 城市建设用地急剧扩张, 世界范围内城市土地的扩张速率普遍高于人口的增长速度<sup>[1]</sup>, 中国是世界上最大的发展中国家, 经历了世界上规模最大, 速度最快的城市化进程<sup>[2]</sup>。城市的快速发展一方面推动了我国现代化建设, 改善了城乡居民的生活水平和居住条件, 另一方面也导致资源匮乏、生态与环境破坏等问题层出不穷。陆大道院士指出 90 年代中期以来, 我国城镇化的速度脱离了循序渐进原则, 忽视了城镇化的质量与可持续发展, 出现了土地“冒进式”的城镇化现象<sup>[3]</sup>, 随着这种不合理的城市扩张在全国范围内的普遍出现和不断恶化, 政府开始真正注意到合理规划城镇化建设的重要性。2006 年以来, 在中国科学院的大力支持下, 以地理资源所人文与经济地理研究部为核心团队, 持续开展城镇化基础研究工作<sup>[4]</sup>, 2014 年 3 月, 国务院印发《国家新型城镇化规划(2014—2020 年)》, 并出台了一系列的方针, 明确指出“走中国特色新型城镇化道路、全面提高城镇化质量”。

<sup>1</sup>作者简介: 李嘉译(1990-), 女, 硕士研究生, 主要从事土地利用变化和 3s 技术研究。E-mail:1257543066@qq.com; 匡鸿海, E-mail:hhkuang@yahoo.com。

城市生态系统服务是指人类从城市生态系统中获取的利益<sup>[5]</sup>,包括生态系统的供给服务(提供食物等)、调节服务(气候、土壤保持等)、支持服务(养分循环等)、文化服务(娱乐休闲等)。随着经济和社会的快速发展,人类的生产和生活行为对自然资源的过度索取给自然生态系统造成巨大冲击与破坏<sup>[6]</sup>,耕地被大量侵占<sup>[7]</sup>、林地和湿地面积缩小<sup>[8]</sup>、城市空气质量下降<sup>[9]</sup>、水质污染<sup>[10]</sup>、土壤保持力减弱<sup>[11]</sup>,随着城市生态系统服务在全球范围内的普遍下降和恶化,许多国家意识到了生态系统服务功能评估及探求生态问题应对措施的重要性,对此,2005年,联合国发表了《千年生态系统评估报告》,评估了全球范围内24项生态系统服务。2012年联合国又成立了生物多样性和生态系统服务政府间科学—政策平台(IPBES)等重大研究计划(江波等,2019),旨在通过建立科学与政策之间的联系,应对生物多样性丧失和生态系统服务功能退化问题<sup>[12]</sup>。中国也积极参与国际国内生态安全建设,2006年,由中国发起的国际生态安全合作组织(IESCO)成立<sup>[13]</sup>,该组织旨在促进生态文明建设,构建生态安全格局,保护自然环境,实现经济、环境和社会的可持续发展。这些政策的实施均表明国内外对与人类福祉唇齿相关的生态系统服务和可持续发展的高度重视。

重庆市是中国中西部唯一的直辖市、是国家中心城市、超大城市、国际大都市,近年来重庆市城市化水平迅猛发展,土地出现蔓延式扩张,这种扩张模式打破了原有自然系统的山水结构,使得生态系统服务功能衰退,城市生态安全格局面临越来越大的压力<sup>[14]</sup>。基于以上背景,本文将多源遥感数据相结合,对重庆市城市扩张和生态系统服务的关系展开研究,揭示人类活动对生态系统服务功能的影响,以期对重庆市主城区合理规划建设和生态系统协调发展提供参考依据。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

重庆市,简称渝或巴,位于 $28^{\circ}10'N\sim 32^{\circ}13'N$ , $105^{\circ}11'E\sim 110^{\circ}11'E$ ,是中国中西部唯一的直辖市、长江上游地区的经济、金融、科创、航运和商贸物流中心,西部大开发重要的战略支点、一带一路和长江经济带的重要联结点以及内陆开放高地,幅员面积 $8.24$ 万 $km^2$ 。重庆市主城区包括9个区,即渝中区、江北区、南岸区、九龙坡区、沙坪坝区、大渡口区、北碚区、渝北区和巴南区,其中渝中区是重庆市的母城,是重庆直辖市政府所在地。

重庆市主城区城市建设用地以组团式空间格局存在和发展。2011年重庆市总体规划中将这种城市空间格局确定为“一城五片”(图1),即整个主城区被其山水格局划分为中部、东部、西部、南部和北部五片,每个片区又包含多个组团。2010年,重庆市主城区正式挂牌成立了“两江新区”,该区是中国内陆第一个国家级开发开放新区,同时也是继上海浦东新区和天津滨海新区后,由国务院直接批复的第三个国家级开发开放新区,新区的面积为 $1200$ 平方公里,包含重庆市渝北区、江北区、北碚区(含蔡家组团)的部分区域。“两江新区”的成立使原有的城市建设用地扩张,尤其是北部的建设用地的空间分布格局发生巨大改变。

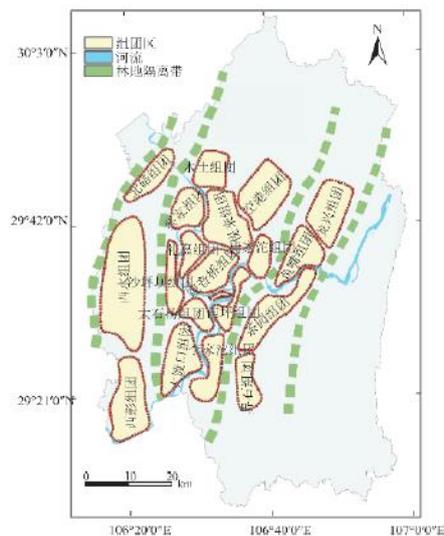


图 1 重庆市主城区建设用地组团分布

重庆市是典型的山水城市,自北向南走向的明月山、铜锣山、中梁山和缙云山等多座华蓥山的余脉嵌入主城区内,两条大河长江和嘉陵江自西向东切割山脉而将主城区划分为不同的区间<sup>[16]</sup>(图 2),渝中区、江北区、沙坪坝区、大渡口区、九龙坡区和南岸区,由于城市发展切断了原本的生态区,现阶段主要是以生态的恢复为主,同时辅助城市的美化和大气污染控制等生态净化功能,而辖区范围较大的巴南区、渝北区和北碚区生态较完整,在主城区发展中的主导功能是以生态调控为主,同时辅助城市的水源和水质污染控制。

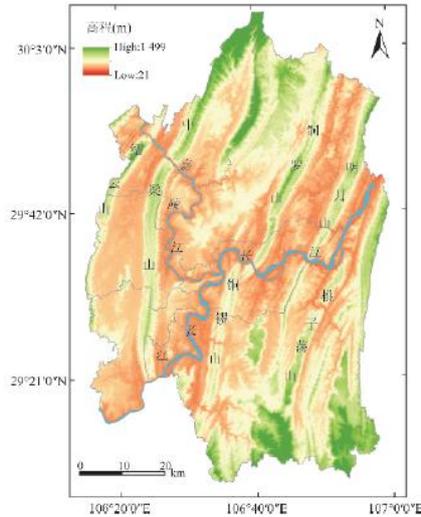


图 2 重庆市主城区地形

## 1.2 数据来源

本文用到 2005 和 2015 年的 LandsatTM/OLS 影像共 8 景,包括 4 景 Landsat-5 卫星专题制图仪(TM)影像和 4 景 Landsat-8 操作陆地成像仪(OLI)影像,空间分辨率为 30m。2005 和 2015 年的 MOD13Q1 数据共 92 景,时间分辨率为 16d,空间分辨率为 250m。2005 和 2015 年两期 DMSP/OLS 数据,空间分辨率为 1000m。土地覆盖类型数据来源于中国科学院资源环境科学中心的土地覆盖遥感监测数据集(CNLUCC),该数据产品的空间分辨率是 100m。统计数据主要是农作物产量统计,包括主城区九区的粮食产量(t)、油料产量(t)、甘蔗产量(t)、茶叶产量(t)、水果产量(t)和蔬菜产量(t)的统计值。气象数据是来源于国家气象科学数据共享服务平台的“中国地面气候资料日值数据集(V3.0)”。各类数据的处理方法和组要用途如表 1 所示。

## 2 研究方法

### 2.1 食物供给服务评估

已有研究表明,农作物的产量与 NDVI 之间存在着显著的线性相关性<sup>[16]</sup>,学者基于土地利用数据,将粮食、油料和蔬菜产量与农田区的 NDVI 相联系,肉类和奶类与草地区 NDVI 相联系,计算其单位面积上的食物供给量<sup>[17]</sup>。由于重庆市主城区与奶制品相关的草地面积较小,因此本文只将与耕地相关的农作物产量平均分配给农区,再结合农田区的 NDVI 计算其单位面积上的食物供给量来评估食物供给服务,具体计算公式如下:

表 1 主要数据类型、处理方法和用途

数据类型	处理方法	用途
Landsat TM/OLS 数据	预处理 (辐射定标, 大气纠正、几何纠正)、最大似然法分类	建设用地时空特征分析
DMSF/OLS 数据	ND 值分类	城市发展等级划分
MODIS13Q1 数据	坐标转换、波段提取、最大值合成、裁剪、重采样等	模拟食物供给、NPP
月气象数据	统计分析、空间插值、波段合成, 掩膜裁剪	模拟 NPP
日气象数据	统计分析	模拟径流深度
土壤数据	掩膜裁剪、重采样	模拟径流深度
土地覆盖类型	掩膜裁剪、重采样	模拟 NPP 和径流深度
统计数据	统计分析、空间化	模拟食物供给
其他辅助数据	裁剪、重采样	辅助空间制图

$$G_i = \frac{NDVI_i}{NDVI_{sum}} * G_{sum} \quad (1)$$

式中:  $G_i$  是研究区第  $i$  个栅格的粮食、油料、甘蔗、茶叶、水果和蔬菜产量;  $NDVI_i$  是第  $i$  个栅格的 NDVI 值;  $NDVI_{sum}$  是研究区耕地的 NDVI 之和;  $G_{sum}$  是粮食、油料、甘蔗、茶叶、水果和蔬菜的总产量。

## 2.2 CASA 模型原理

固碳即大自然的碳封存能力, 指的是用植物固定碳取代人工固定碳的能力<sup>[18]</sup>, 本文的固碳服务评估主要是以净初级生产力 (Net Primary Productivity, NPP) 为指标, 利用朱文泉老师改进的光能利用率 (Carnegie Ames Stanford Approach, CASA) 模型估算 NPP, 模型中的 NPP 由植物吸收的光合有效辐射 (APAR) 和实际光能利用率 ( $\epsilon$ ) 两个因子来表示<sup>[19]</sup>, 公式如下:

$$NPP_{(x,t)} = APAR_{(x,t)} * \epsilon_{(x,t)} \quad (2)$$

式中:  $APAR_{(x,t)}$  表示像元  $x$  在  $t$  月吸收的光和有效辐射 ( $gC^\circ m^{-2} month^{-1}$ ),  $\epsilon_{(x,t)}$  表示像元  $x$  在  $t$  月的光能利用率 ( $gC^\circ MJ^{-1}$ )。

## 2.3 SCS\_CN 模型原理

土壤蓄水是生态系统重要的调节功能, 土壤蓄水能力强的区域有缓解洪水的能力。本文选择径流深度作为土壤蓄水服务的评价指标, 径流深度高的地区土壤蓄水能力低, 径流深度低的地区土壤蓄水能力高, 用径流曲线数 (SCS\_CN) 模型计算径流深度。SCS\_CN 模型是 20 世纪 50 年代初期美国农业部水土保持局研制的径流计算模型, 该模型是水量平衡方程<sup>[20]</sup>, 公式如下:

$$P = I_a + F + Q \quad (3)$$

该水量平衡方程存在的提前有两个假设,假设一:实际地表径流深(Q)与可能最大径流深度的比值等于实际入渗量(F)与土壤潜在蓄水能力(S)之比,假设二:初损( $I_a$ )是土壤潜在蓄水能力(S)的一部分。

### 3 结果与分析

#### 3.1 城市化分区

本文主要研究城市扩张对生态系统服务的影响,为了更好地了解这种影响与城市发展水平的关联度,将重庆市主城区依据城市发展程度的高低划分为不同的级别。夜间灯光数据(DMSP/OLS)的DN值被用来记录城市发展的程度, DN值越高代表城市发展的程度越高, DN值越低,代表城市发展的程度越低,依据这一原理,本文利用DMSP/OLS数据将重庆市主城区按照DN值的大小划分为发达区、发展区和远城区(图3),若2005和2015年的灯光数据DN值均大于55,则将其划分为发达区,代表该区域城市化水平最高,若2005年的DN值未达到55,但2015年大于55,划分为发展区,代表2005~2015年间该区的城市化水平值大幅度提升,若2005年和2015年的DN值均小于55,划分为远城区,代表该区域城市化水平较低,具体分类如下:

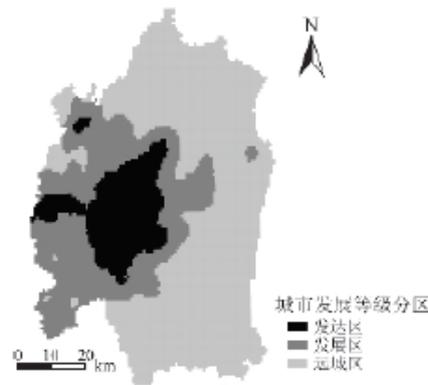


图3 重庆市主城区城市发展等级分区

#### 3.2 建设用地扩张的时空特征

基于Landsat TM/OLS数据利用监督分类中的最大似然法分类之后的数据,提取重庆市主城区2005和2015年建设用地的专题信息图(图4)进行时空特征分析。

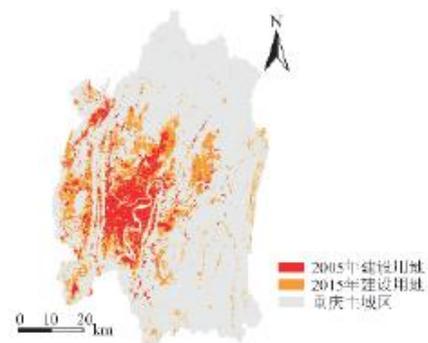


图4 重庆市建设用地扩张

为了分析城市建设用地在不同发展区域的扩张,本文将提取的 2005、2015 年建设用地专题信息图与发达区、发展区、远城区进行叠加统计分析,得到 3 个不同发展等级的建设用地面积和比例(图 5)。

发达区 2005 和 2015 年建设用地分别为 248.68、276.18km<sup>2</sup>,分别占各自年份建设用地总面积的 54.25%、33.18%,虽然发达区建设用地面积呈增加态势,但是建设用地占总建成区面积的比例减少了 11%左右。发展区 2005 和 2015 年建设用地分别为 166.48、297.56km<sup>2</sup>,建设用地面积显著增加,分别占各自年份总建设用地面积的 36.31%、47.46%,发展区成为建设用地分布比例最大的区域。远城区域 2005 年和 2015 年建设用地分别为 43.36、158.68km<sup>2</sup>,建设用地面积增加约 115km<sup>2</sup>,分别占各年份建设用地总面积的 9.46%、19.06%,仅次于发展区建设用地的增加量。

综合以上分析,发达区建设用地占总建成区的比例在缩小,发展区所占比例显著增加,成了建设用地面积最多的区域,远城区建设用地比例也在增加。可见,老城区城市化水平高,城市扩张处于较饱和状态,已有研究显示,重庆中心城区 2008 年的毛容积率已超过 1.0,整体开发强度高于同时期北京中心城、上海中心城及深圳特区等地<sup>[21]</sup>,因此建设用地向外围的发展区和远城区扩张,老城区的开发强度有所缓解。发展区域是建设用地面积扩张最多的区域,其中渝北区和江北区是主要的增幅所在,原因是受“两江新区”规划建设的影响,以及工业用地疏解、物流中心、高新工业园区、大学城等功能性搬迁,建设用地开始由城市中心向发展区域和远城区域转移扩张,大疏大密的“多中心,组团式”空间格局正在疏解。

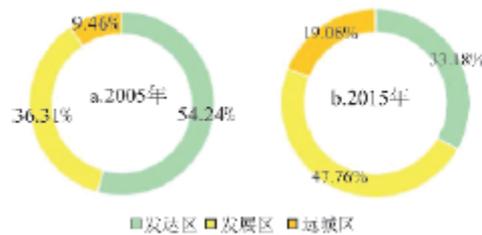


图 5 重庆市主城区建设用地在不同发展等级区的分布比例

### 3.3 生态系统服务的时空变化

生态系统服务具有调节气候、水文调节、净化水质和保持水土等功能,为了探究重庆市主城区过去 10 年生态服务功能的变化,本文借鉴吴健生等对于重庆市“两江新区”生态系统服务重要系数的研究结果<sup>[22]</sup>,选择重要系数排名靠前的食物供给、固碳和土壤蓄水 3 种生态系统服务作为评估对象。

#### 3.3.1 生态系统服务的时空分布

利用食物供给模型、CASA 模型和 SCS\_CN 模型模拟了 2005 和 2015 年重庆市主城区单位面积食物供给、NPP 和径流深度的时空变化图(图 6),进而分析生态系统食物供给、固碳和土壤蓄水服务功能的时空变化。

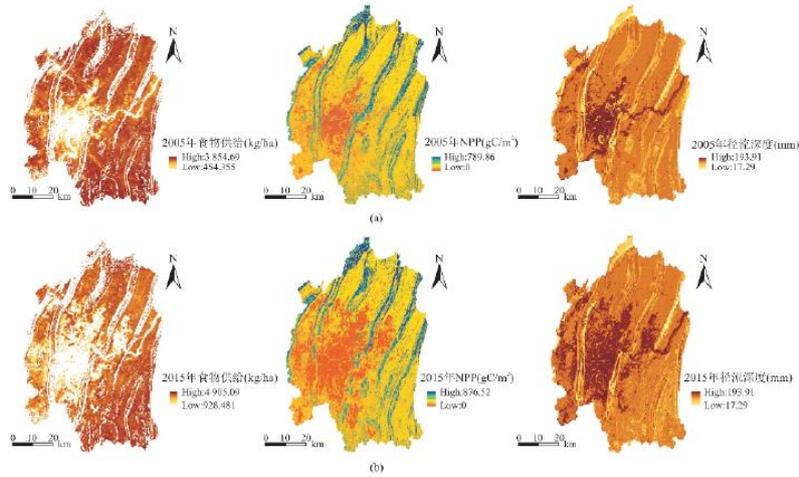


图 6 重庆市主城区 2005 年 (a)、2015 年 (b) 生态系统服务空间分布图

2005 年和 2015 年单位面积食物供给分别是 915.35~4554.69 和 928.48~4905.09kg/ha, 食物供给服务由于单位面积生产效率的提高使其在个别地区呈增加态势。从空间的角度上, 靠近城市中心的发达区越近, 粮食种植面积越稀疏, 单位面积食物供给服务能力也越小, 越往城市外围延伸, 随着粮食种植面积扩大, 单位面积食物供给服务增强; 2005 和 2015 年重庆市主城区 NPP 的取值范围分别是 0~789.86 和 0~876.52gC/m<sup>2</sup>, 由于环境保护意识的提高和相关生态保护政策的实施, 局部生态系统的固碳服务功能得到了提升, 城市中心不透水面分布区和水体区的 NPP 值最小, 缙云山、中梁山、铜锣山和明月山等山区作为重庆市主城区最重要的生态隔离带, 固碳服务功能最强, 但是, 2015 年中梁山南部地区的固碳释氧链相比较 2005 年出现了残缺, 主要是由于该区城市空间蔓延式扩张剧烈, 打破了原有的山水格局下的组团式扩张, 也对生态隔离带产生了巨大的破坏; 2005 和 2015 年重庆市主城区径流深度的取值范围都是 17.29~193.91mm, 径流深度无显著变化。城市中心发达区由于不透水面的分布, 降水下渗率低径流深度最高, 土壤的蓄水能力最低, 林地由于下渗率高径流深度最低, 土壤的蓄水能力最强。

### 3.3.2 城市扩张对生态系统服务的影响

利用 2005 年生态系统服务的栅格图层, 减去 2015 年生态系统服务的栅格图层, 得到 2005~2015 年生态系统服务的变化栅格图层 (图 7)。

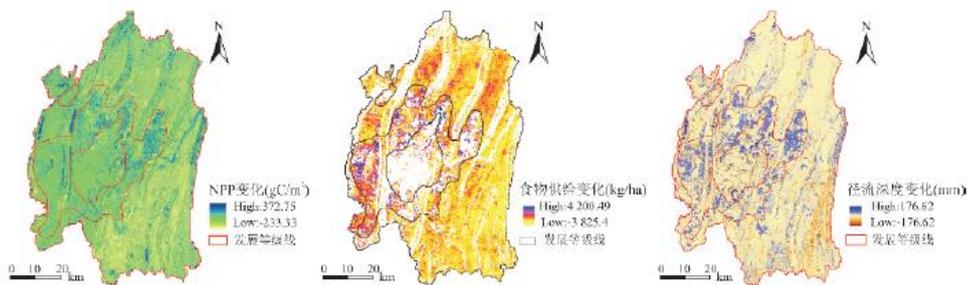


图 7 主城区 2005~2015 年生态系统服务空间变化图

由图 7 可知, 2005~2015 年主城区内单位面积食物供给变化范围为 3825.47~4200.97kg/ha, NPP 变化范围为-333.33~472.51gC/m<sup>2</sup>, 径流深度变化的数值范围为-176.62~176.62mm, 三种生态系统服务变化区域可以分为两部分, 正值部分为 2005~

2015年单位面积生态系统服务功能下降的区域,主要集中在发展区域,与2005~2015年间建设用地扩张的空间范围基本一致,说明建设用地扩张导致的土地利用类型变化是发展区域食物供给服务、固碳服务和土壤蓄水服务下降的主要原因;负值部分为2005~2015年单位面积食物供给量提高的区域,主要分布在距离城市中心较远的远城区,由于单位面积农作物生产效率的提高或者局部地区种植面积的增加使食物供给服务有轻微提高,远城区固碳和土壤蓄水服务增加区的土地利用类型主要是以林地和耕地为主,说明耕地林化及林地修复使该区的固碳和土壤蓄水功能增加。虽然土壤蓄水服务功能有增有减,但整体而言,重庆市主城区土壤蓄水功能的变化以发展区的显著降低为最主要的特征。

### 3.4 生态系统服务的权衡协同关系

目前,分析生态系统服务之间是权衡关系或者协同关系的方法主要有相关性分析法、聚类分析法和生产可能性边界(PPF曲线)<sup>[23]</sup>。本文以重庆市主城区为研究对象,选择相关性分析法探究食物供给和NPP、食物供给和径流深度、NPP和径流深度之间的关系,计算结果如下表(表2),结果为0代表二者不相关,结果为负值则二者存在权衡关系,结果为正值则二者存在协同关系,绝对值越接近1代表相关性越大。

由表2可知:3对生态系统服务之间均存在相关性,但是在不同的年份和发展区域相关性表现不同,总结2005年和2015年三对生态系统服务在不同区域的关系(表3),2005年:①食物供给与NPP在重庆市不同发展区域均为权衡关系;②食物供给与径流深度在发达区和发展区为权衡关系,在远城区区域转化为协同关系;③径流深度与NPP在重庆市不同发展区域均呈显著的权衡关系;2015年:④食物供给与NPP在发达区和发展区表现为协同关系,在远城区区域转为权衡关系;⑤食物供给与径流深度在发达区和发展区表现为权衡关系,在远城区区域转化为协同关系;⑥径流深度与NPP在重庆市不同发展区域均呈显著的权衡关系。

表2 2005和2015年三对生态系统服务相关性分析

		2005年			2015年		
		食物供给	NPP	径流深度	食物供给	NPP	径流深度
主城区	食物供给	1	-0.181	-0.102	1	0.171	-0.132
	NPP		1	-0.542		1	-0.468
	径流深度			1			1
发达区	食物供给	1	-0.083	-0.724	1	0.137	-0.415
	NPP		1	-0.316		1	-0.478
	径流深度			1			1
发展区	食物供给	1	-0.0563	-0.173	1	0.249	-0.224
	NPP		1	-0.484		1	-0.528
	径流深度			1			1
远城区	食物供给	1	-0.301	0.247	1	-0.123	0.108
	NPP		1	-0.498		1	-0.298
	径流深度			1			1

表3 2005和2015年3对生态系统服务的权衡协同关系

		主城区	发达区	发展区	远城区
2005年	食物供给与NPP	权衡关系	权衡关系	权衡关系	权衡关系

	食物供给与径流深度	权衡关系	权衡关系	权衡关系	协同关系
	NPP 与径流深度	权衡关系	权衡关系	权衡关系	权衡关系
2015 年	食物供给与 NPP	协同关系	协同关系	协同关	权衡关系
	食物供给与径流深度	权衡关系	权衡关系	权衡关系	协同关系
	NPP 与径流深度	权衡关系	权衡关系	权衡关系	权衡关系

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本文首先基于 DMSP/OLS 数据的 DN 值将重庆市主城区划分为发达区、发展区和远城区, 然后利用 Landsat 数据提取了 2005 和 2015 年重庆市主城区建设用地的信息, 分析了发达区、发展区和远城区建设用地扩张的时空变化, 同时, 借助 3 种空间显式模型模拟了对重庆市主城区重要性高的 3 种生态系统服务(食物供给、NPP 和径流深度)在 2005 和 2015 年的空间分布与变化状况, 最后通过分析了不同发展区的生态系统服务协同权衡关系变化。主要研究结果如下:

(1) 2005~2015 年重庆市主城区建设用地扩张剧烈, 发达区由于建设用地扩张处于饱和状态, 扩张量最小, 发展区扩张最显著, 其中渝北区和江北区受“两江新区”建设的影响成为扩张最剧烈的行政区。建设用地扩张使原本山水格局下的团状分布蔓延相连, 大疏大密的组团式分布开始瓦解。

(2) 生态系统服务的空间分布与变化规律: ①2005 年食物供给、固碳和土壤蓄水服务能力在个别斑块上轻微增加, 但整体上还是呈现显著降低趋势; ②发达区的生态系统服务功能最弱, 远城区的生态系统服务功能最强; ③2005~2015 年间食物供给、固碳和土壤蓄水服务显著下降的区域均在发展区, 与 2005~2015 年城市扩张最剧烈的区域在空间范围吻合。食物供给、固碳和土壤蓄水服务轻微增加的区域主要在远城区。

(3) 生态系统服务在不同区域的权衡协同关系: ①发达区和发展区关系一致, 即 2015 年食物供给与 NPP 存在协同关系, 其他均存在权衡关系; ②远城区, 2005 年和 2015 年食物供给与径流深度表现为协同关系, 食物供给与 NPP、径流深度与 NPP 均存在权衡关系。

### 4.2 讨论

通过分析不通过发展区域生态系统服务的权衡协同关系和城市扩张程度对生态系统服务变化的影响, 结合前人研究案例<sup>[24]</sup>探讨了城市扩张中出现的主要问题及原因: (1) 由于建设用地的高速扩张, 原本的组团式分布格局开始连绵蔓延; (2) 远城区食物供给与 NPP 在远城区呈权衡关系, 不同于发展发达区, 主要原因是人口城市化所致, 农民弃农从工使庄稼地荒废, 农田转变成林草地; (3) 部分城市生活的人由于负担不起高昂房价而在远城区扩建居民点, 农田转换成了建设用地, 使食物供给与径流深度在远城区呈协同关系; (4) 建设用地的扩张导致的不透水面增加是发展区域生态系统服务功能大幅度衰退的主要原因; (5) 单位面积食物供给服务衰退幅度最大, 发达区和发展区主要因为建设用地扩张占用了大量的耕地所致, 农村区主要因为农村居民点的建设和农田废弃成林草区综合作用所致。

针对城市扩张过程中出现的主要问题给出以下建议: (1) 疏解重庆市主城区建设用地大疏大密的空间组团式分布, 同时兼顾原有的生态系统服务功能区, 促进城市化建设与生态系统协调发展; (2) 发达区域应该加强绿化基础设施的建设, 修复生态系统服

---

务功能,提高市民居住环境的舒适度与生活幸福感;(3)发展区政府应适当的控制建设用地扩张速度,避免土地“冒进”式扩张;(4)远城区持续加强生态系统服务调控功能,同时,针对弃农从工业,但又在农村区增加居民点建设的现象,应该适当控制城内高房价负担问题,避免资源浪费。

关于未来城市化发展的启示:人类对自然生态系统的干预和破坏是生态系服务功能退化的原因,而城市土地扩张是城市生态系统服务功能变化的主要元凶,对此,应该合理解决土地盲目扩张问题,考虑城市空间与环境容量的关系,高度重视生态源区如绿地、林地和水域等对于生态城市建设的重要意义,加强城市生态管制,使这些生态源区和生态廊道发挥其生态服务功能<sup>[25]</sup>。此外,新型城镇化建设是以人为核心的,要解决城市居民“满不满意”的关键性问题<sup>[26]</sup>,除了提升人在居住环境和身体健康方面的舒适度之外,也要缓解市民的心理压力,很多城市居民因为负担不起高昂的房价并没有实现真正的城镇化,特别是农民工,对此,应该持续提高城镇化的质量,缩小城乡差距,促进就业,提高低收入人群的收入,合理配置资源,走城市化协调发展之路。

#### 参考文献:

- [1]高金龙,陈江龙,苏曦.中国城市扩张态势与驱动机理研究学派综述[J].地理科学进展,2013,32(5):743-754.
- [2]刘丹.内陆开放型城市构建进程中的政府角色研究—以重庆市为例[D].重庆大学,2010.
- [3]陆大道,樊杰,陈明星.“新型城镇化新变化的科学认知”专辑序言[J].地理研究,2019,38(1):2.
- [4]樊杰.人文—经济地理学和区域发展研究基本脉络的透视—对该领域在中国科学院地理科学与资源研究所发展历程的讨论[J].地理科学进展,2011,30(4):387-396.
- [5]毛齐正,黄甘霖,邬建国.城市生态系统服务研究综述[J].应用生态学报,2015,26(4):1023-1033.
- [6]冯伟林,李树苗,李聪.生态系统服务与人类福祉—文献综述与分析框架[J].资源科学,2013,35(7):1482-1489.
- [7]CHANG J,WU X,LIU A,et al.Assessment of net ecosystem services of plastic greenhouse vegetable cultivation in China[J].Ecological Economics,2011,70(4):740-748.
- [8]ZHAO T,OUYANG Z Y,ZHENG H,et al.Forest ecosystem services and their valuation in China[J].Journal of Natural Resources,2004,4(4):480-491.
- [9]SHI J,CUI L L,HE Q S.The changes and causes of fog and haze days in Eastern China[J].Acta Geographica Sinica,2010,65(5):533-542.
- [10]KABEER H A,PARVEEN S.Effect of Waste Sewage Pollution on Benthic Diversity of Fresh Water Ecosystem[J].Working Papers Ies,2014,56(3):595-600.
- [11]李玲,冯新伟,路婕,等.郑州市城市化进程中土壤环境质量评价[J].安全与环境学报,2008,8(5):99-103.
- [12]兰存子,田瑜,徐靖,等.生物多样性和生态系统服务政府间科学—政策平台的概念框架和运作模式[J].生物多样性,2015,23(5):681-688.

- 
- [13]叶鑫, 邹长新, 刘国华, 等. 生态安全格局研究的主要内容与进展[J]. 生态学报, 2018, 38(10):3382-3392.
- [14]吴亚坤. 重庆市主城区城市生态环境质量综合评价研究[D]. 重庆交通大学, 2013.
- [15]张骞. 重庆都市区生态用地空间结构演变及其生态系统服务价值研究[D]. 西南大学, 2012.
- [16]赵文亮, 贺振, 贺俊平, 等. 基于 MODIS-NDVI 的河南省冬小麦产量遥感估测[J]. 地理研究, 2012, 31(12):2310-2320.
- [17]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.
- [18]秦克玉. 基于情景模拟的关中一天水经济区生态系统服务权衡与协同关系研究[D]. 陕西师范大学, 2016.
- [19]朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J]. 植物生态学报, 2007(3):413-424.
- [20]NEITSCH S L, ARNOLD J G, KINIRY J R, et al. Section 2:hydrology in soil and water assessment tool theoretical documentation[P]. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, 2002:98.
- [21]扈万泰, 王力国. 重庆市总体生态城市格局构建及其发展规划策略[J]. 规划师, 2014, 30(5):37-41.
- [22]吴健生, 毛家颖, 林倩, 等. 基于生境质量的城市增长边界研究—以长三角地区为例[J]. 地理科学, 2017, 37(1):28-36.
- [23]孙艺杰, 任志远, 赵胜男, 等. 陕西河谷盆地生态系统服务协同与权衡时空差异分析[J]. 地理学报, 2017, 72(3):521-532.
- [24]LI B, CHEN D, WU S, et al. Spatio-temporal assessment of urbanization impacts on ecosystem services:Case study of Nanjing City, China[J]. Ecological Indicators, 2016, 71:416-427.
- [25]姚士谋, 张平宇, 余成, 等. 中国新型城镇化理论与实践问题[J]. 地理科学, 2014, 4(6):641-647.
- [26]方创琳. 中国新型城镇化高质量发展的规律性与重点方向[J]. 地理研究, 2019, 38(1):13-22.