

## 荒漠绿洲区“三生空间”用地与生态系统服务价值的动态变化

买热古力·马吉提, 高敏华\*, 马利刚 (新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830000)

**摘要** [目的]研究乌鲁木齐市“三生空间”用地与生态系统服务价值(ESV)的动态变化。[方法]基于乌鲁木齐市1990、2005和2018年3期遥感解译数据,建立“三生空间”分类体系,从面积与功能值方面进行分析,再利用基尼系数、空间异质系数、社会经济调整系数、资源稀缺系数构建适用于研究区的ESV模型,分析乌鲁木齐市1990—2018年“三生空间”及ESV的时空动态变化。[结果]1990—2018年生产空间面积表现为先增长后减少的态势,累计减少16.62 hm<sup>2</sup>;生活空间面积呈不断增长趋势,主要源于生产空间优质耕地的转移;生态空间面积呈不断减少的趋势,29年间共减少了396.65 hm<sup>2</sup>。生产空间功能总值处于增长的状态,变化幅度小,增幅17.38%;生活空间功能总值呈不断增长的趋势,2018年的功能总值是1990年的2.8倍;而生态空间功能总值为减少状态,减幅4.04%。乌鲁木齐市生产空间1990—2005年分布差距大,2018年才得以改善;生活空间分布差距悬殊;生态空间分布绝对均衡。29年间乌鲁木齐市ESV呈显著时空变化,草地、冰川雪域等高生态价值区域呈萎缩趋势,ESV损失共计2354.00万元,水文调节与气体调节生态价值量锐减。[结论]研究结果对研究区科学规划三类用地、优化生态安全格局及推行生态文明建设具有重要参考意义。

**关键词** 三生空间;生态系统服务价值;动态变化;空间异质系数;资源稀缺系数;乌鲁木齐市

中图分类号 X171.1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)01-0060-08

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.01.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Dynamic Changes of Land Use and Ecosystem Service Value of Production-living-ecological Space in Desert-oasis Area

MAJIT Meyergul, GAO Min-hua, MA Li-gang (College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830000)

**Abstract** [Objective] To study the dynamic changes of land use and ecosystem service value (ESV) of production-living-ecological space in Urumqi. [Method] Based on the three periods of remote sensing interpretation data in Urumqi in 1990, 2005 and 2018, a classification system of production-living-ecological space was established, which was analyzed from the aspects of area and function value. Then, the Gini coefficient, spatial heterogeneity coefficient, socio-economic adjustment coefficient and resource scarcity coefficient were used to build an ESV model suitable for the study area, and the spatio-temporal dynamic changes of land use and ESV in Urumqi during 1990 - 2018 were analyzed. [Result] The area of production space from 1990 to 2018 increased first and then decreased, with a cumulative decrease of 16.62 hm<sup>2</sup>; the area of living space showed a continuous growth trend, mainly due to the transfer of high-quality farmland in production space; the area of ecological space showed a continuous increase trend, a total of 396.65 hm<sup>2</sup> has been reduced in 28 years. The total function value of the production space was in a state of growth, an increase of 17.38%; the total function value of the living space was showing a continuous growth trend, and the total value of functions in 2018 was 2.8 times that in 1990; and the total function value of ecological space was in a declining state, with a decrease of 4.04%. The distribution gap of production space in Urumqi was large from 1990 to 2005, and it was improved in 2018; the distribution of living space was very different; the ecological space distribution was absolutely balanced. During the past 29 years, the ESV of Urumqi City showed significant temporal and spatial changes, and areas with high ecological value such as grasslands, glaciers and snow fields showed a shrinking trend. The loss of ESV totaled 23.540 0 million yuan, and the ecological value of hydrological regulation and gas regulation decreased sharply. [Conclusion] The research results have important reference significance for the scientific planning of the three types of land in the study area, optimizing the ecological security pattern and promoting the construction of ecological civilization.

**Key words** Production-living-ecological space; Ecosystem service value; Dynamic change; Spatial heterogeneity coefficient; Resource scarcity coefficient; Urumqi City

随着城市化发展进入快速成长阶段,出现了城市空间无序开发、土地利用效益低、生态环境和自然资源严重污染和浪费等一系列严峻的环境问题。故党的十八大提出统筹调整“三生空间”及十九大提出完成划定生态保护线、永久基本农田、城镇开发边界三线的工作。优化土地空间格局、努力保护生态系统是现阶段自然资源管理部门最重要的任务之一<sup>[1]</sup>。生态系统保护应开始于生态系统服务价值(ecosystem services values, ESV), ESV是指生态环境因其特性、结构等带来的各类功能效益如供给服务、调节服务、支持服务等<sup>[2]</sup>。ESV评估是制定生态补偿决策、生态分区、环境评估与保护的必要条件。研究“三生空间”与ESV的关系,在生态管理政策中引进ESV核算,可促进社会经济系统与生态环境系统

均衡发展,推进自然资源的合理开发利用与可持续发展。

城市发展中是否统筹布置“三生空间”的格局,达到“三生空间”均衡发展是目前待解决的问题<sup>[3]</sup>。当前,国内外学者就“三生空间”展开了大量研究,包括其理论和研究框架<sup>[4]</sup>、分类体系与评价量化<sup>[5-6]</sup>、空间划定及实证<sup>[7]</sup>、基于MCR等研究模型<sup>[8]</sup>、动力机制<sup>[9-10]</sup>、关联特征及协同/权衡关系<sup>[11]</sup>、生态环境效应<sup>[12-14]</sup>、空间格局<sup>[15-17]</sup>、资源环境承载力<sup>[18-19]</sup>等极大丰富了土地科学的理论基础。ESV是生态系统服务的货币形式, Costanza等<sup>[20]</sup>首次将生态系统服务分为17类可再生服务,量化评估ESV,为研究领域奠定了基础。Marchant等<sup>[21]</sup>汇集了东非的考古及古环境数据,研究发现东非景观变化是由当地气候和土地利用变化经过千年时间的积累而造成的。Kindu等<sup>[22]</sup>研究了埃塞俄比亚高原Munessa-Shashemene景观,分析40年间土地利用动态变化对ESV的影响。目前大部分研究就土地利用与ESV的关系进行分析,且以我国南部和东部地区为研究区,将“三生空间”与ESV

**基金项目** 国家自然科学基金项目(41661079)。

**作者简介** 买热古力·马吉提(1995—),女,哈萨克族,新疆乌鲁木齐人,硕士研究生,研究方向:人文地理与区域协调及土地利用可持续发展。\*通信作者,副教授,硕士生导师,从事遥感与土地利用研究。

**收稿日期** 2022-02-28

相结合且以西北干旱区为研究区的研究还较少。因此,笔者以乌鲁木齐市为研究区,基于“三生空间”视角,利用遥感解译的1990—2018年土地利用数据,并运用空间异质系数、社会经济调整系数及资源稀缺系数构建了ESV模型,探究该区域“三生空间”及ESV的时空演变特征。

## 1 资料与方法

**1.1 研究区概况** 乌鲁木齐市位于亚欧大陆腹地(86°46'10"~88°59'48"E,42°54'16"~44°58'16"N),属于温带半干旱大陆性气候,干旱少雨,昼夜温差大,四季分明,处于天山北坡,准葛尔盆地南缘,土地总面积为13 792.66 km<sup>2</sup>,三面环山,地势大相径庭,山地面积广阔,占总面积的50%以上。乌鲁木齐是我国“一带一路”经济带的必经之路,是面向中亚和西亚的重要国际商贸中心,2018年常住人口为351万,城镇化率为74.61%。GDP达3 099.77亿元,三次产业结构是0.8:30.6:68.6,依赖资源丰富,形成高耗能、高污染、低效能的经济发展模式,是“资源富饶-生态脆弱”区。

**1.2 数据来源** 乌鲁木齐市1990、2005和2018年的3期遥感影像来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。Landsat 5和Landsat 8为遥感影像数据源。通过ENVI进行预处理,对影像进行几何纠正、图像配准、裁剪、目视解译等操作。参考刘纪远等<sup>[23-24]</sup>的土地利用/覆被变化(LUCC)分类方法,分为耕地、草地、林地、建设用地、水域和未利用地6大类。得到3期乌鲁木齐土地利用分类图,经过检查kappa检验精度达到88%以上。

运用于ESV评估的耕地面积、粮食价格、粮食作物产量和社会经济数据来源于全国和乌鲁木齐统计年鉴及国民经济和社会发展公报(<http://www.state.gov.cn/tjsj/>)。用于NPP计算的全国和乌鲁木齐的降水、气温数据来源于中国国家气象信息中心、中国水资源公报和中国生态环境状况公报。

## 1.3 研究方法

**1.3.1 “三生空间”分类体系建立。**就土地利用而言,一种地类具有多种功能,根据主观用地意图及属性划定土地利用类型的主导功能,结合乌鲁木齐市土地利用特征,参考吕立刚等<sup>[25]</sup>、杨清可等<sup>[26]</sup>对“三生空间”分类方案,根据土地的功能差异和强弱,构建乌鲁木齐市“三生空间”分类体系(表1)。

表1 乌鲁木齐市“三生空间”分类体系

Table 1 The classification system of production-living-ecological land in Urumqi City

大类 Main class	一级地类 First land type	二级地类 Secondary land type
生产空间 Production space	农业生产用地	水田、旱地、沟渠、水库坑塘、其他林地
生活空间 Living space	工矿生产用地	其他建设用地
生态空间 Ecological space	城镇生活用地	城镇用地
	农村生活用地	农村居民点
	绿色生态用地	有林地、灌木丛、疏林地、高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地、沙地、戈壁、盐碱地、沼泽地、裸土地
	水域生态用地	河渠、湖泊、冰川雪地

**1.3.2 “三生空间”功能值评价体系。**进行“三生空间”功能值测度的基础是“三生空间”功能评价体系的建立,该研究参

照谢高地等<sup>[27]</sup>对ESV当量的估算,采用分级赋分的方法根据各类土地利用类型的不同功能进行打分,由此构建乌鲁木齐市“三生空间”功能值(表2)。

表2 乌鲁木齐市“三生空间”功能值

Table 2 Function value of production-living-ecological space land in Urumqi City

土地利用类型 Land use type	生产空间 Production space	生活空间 Living space	生态空间 Ecological space
耕地 Cultivated land	水田	3	0
	旱地	3	0
林地 Forest	有林地	0	0
	灌木丛	0	0
	疏林地	0	0
	其他林地	3	0
草地 Grassland	高覆盖草地	0	0
	中覆盖草地	0	0
	低覆盖草地	0	0
水域 Waters	河渠	0	0
	湖泊	0	0
	水库坑塘	1	0
	永久性冰川雪地	0	0
	沟渠	1	0
建设用地 Construction land	城镇用地	3	5
	农村居民点	0	5
	其他建设用地	3	3
未利用地 Unused land	沙地	0	0
	戈壁	0	0
	盐碱地	0	0
	沼泽地	0	0
	裸土地	0	0
	裸岩石质地	0	0

## 1.3.3 “三生空间”用地分析指标。

### 1.3.3.1 空间分布规模。

(1)“三生空间”面积比例。“三生空间”面积比例计算公式如下:

$$R_k = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{\sum_{i=1}^n P_i + \sum_{i=1}^n L_i + \sum_{i=1}^n E_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $R_k$ 为第 $K$ 项“三生空间”面积所占研究区总面积的比例; $K$ 取值 $P$ 、 $L$ 、 $E$ ,分别代表生产、生活和生态空间的单位面积; $n$ 是某类“三生空间”所占单位空间的个数。该研究单位空间的面积为30 m×30 m。

(2)“三生空间”功能总体得分比例。“三生空间”功能总体得分比例计算公式如下:

$$R'_k = \frac{\sum_{j=1}^x K'_j}{\sum_{j=1}^x P'_j + \sum_{j=1}^x L'_j + \sum_{j=1}^x E'_j} \times 100\% \quad (2)$$

式中, $R'_k$ 是第 $K'$ 项功能得分占“三生空间”功能总得分的比例; $K'$ 取值 $P'$ 、 $L'$ 、 $E'$ ,分别代表生产、生活和生态功能得分; $x$ 代表研究区内单位空间的数量。该研究采用的遥感影像数据的像素为30 m×30 m,一个像素即一个单位空间。

**1.3.3.2 基尼系数。**基尼系数表示乌鲁木齐市“三生空间”分布均衡度,基尼系数<0.2代表分布绝对均衡,0.2~0.3是

比较均衡,>0.3~0.4是相对合理,>0.4~0.5是相差较大,大于0.5代表差距很大<sup>[28]</sup>。表达式如下:

$$G = \sum_{i=1}^{n-1} (M_i Q_{i+1} - M_{i+1} Q_i) \quad (3)$$

式中, $G$ 为基尼系数, $M_i$ 是乌鲁木齐市某区某类“三生空间”面积的累计百分比, $Q_i$ 是乌鲁木齐市某区土地面积占研究区总面积的累计百分比。

**1.3.4 生态系统服务价值评估。**根据 Costanza 等<sup>[20]</sup>的研究,将生态系统服务分为9种,并依据谢高地等<sup>[29]</sup>修改的“中国陆地生态系统单位面积ESV当量表”,并结合乌鲁木齐市的实际情况,通过空间异质系数、社会经济调整系数和资源稀缺系数计算ESV。

**1.3.4.1 生态系统服务的经济价值的确定。**依据谢高地等<sup>[30]</sup>的研究,单位面积农田食物EVS(1个标准当量因子)等

同于全国平均粮食单产量市场价值的1/7。计算公式如下:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \times P \times \frac{1}{7} \quad (4)$$

式中, $E$ 代表单位面积农田提供食物生产服务功能的经济价值(元/hm<sup>2</sup>); $P$ 是研究区平均粮食价格(元/kg); $Q$ 是研究区年平均粮食产量(kg/hm<sup>2</sup>)。为减少不同年份物价差异的影响,该研究以2005年的粮食平均价格(2.53元/kg)为基准,计算得到单位面积农田提供食物生产服务功能的经济价值为1923.41元/hm<sup>2</sup>。

$$VC = X_{ij} \times E \quad (5)$$

式中, $VC$ 是生态系统服务价值系数(元/hm<sup>2</sup>); $X_{ij}$ 是第*i*类生态系统中第*j*类生态系统服务的当量因子。各类生态系统服务价值系数借鉴谢高地等<sup>[29]</sup>的当量因子表(表3)。

表3 单位面积生态系统服务当量因子

Table 3 Ecosystem service equivalent factor per unit area

生态服务功能 Ecological service function		水田 Paddy field	旱地 Dry land	林地 Forest	草地 Grassland	水域 Waters	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
供给服务 Supply services	食物生产	1.36	0.85	0.31	0.38	0.80	0.01	0.00
	原料生产	0.09	0.40	0.71	0.56	0.23	0.00	0.00
调节服务 Regulatory services	气体调节	1.11	0.67	2.35	1.97	0.77	-2.42	0.02
	气候调节	0.57	0.36	7.03	5.21	2.29	0.00	0.00
	水文调节	2.72	0.27	3.51	3.82	102.24	0.00	0.03
	废物处理	0.17	0.10	1.99	1.72	5.55	-2.46	0.10
	支持服务 Support services	土壤保持	0.01	1.03	2.86	2.40	0.93	0.02
文化服务 Cultural services	生物多样性	0.21	0.13	2.60	2.18	2.55	0.34	0.02
	美学景观	0.09	0.06	1.14	0.96	1.89	0.01	0.01
合计 Total		6.33	3.87	22.50	19.20	117.25	-4.50	0.20

**1.3.4.2 生态系统服务价值计算。**

(1)空间异质系数。该研究选用 Thornthwaite Memorial 模型计算空间异质系数,计算公式如下:

$$N = \frac{NPP'}{NPP''} \quad (6)$$

$$NPP = 3\,000 \times [1 + e^{-0.000\,969\,5 \times (V-20)}] \quad (7)$$

$$V = \frac{1.05r}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.05r}{L}\right)^2}} \quad (8)$$

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3 \quad (9)$$

式中, $N$ 是空间异质系数; $NPP$ 是植被净初级生产力[kg/(hm<sup>2</sup>·a)]; $NPP'$ 是研究区植被初级生产力; $NPP''$ 是全国植被初级生产力; $V$ 是实际蒸散量(mm); $r$ 为年降水量(mm); $L$ 是平均蒸发量(mm); $T$ 是年平均气温(℃)。

(2)社会经济调整系数。各地区的自然及社会经济条件具有差异,使得社会经济发展水平和ESV存在差异。故该研究用支付意愿和支付能力计算社会经济调整系数,公式如下:

$$D = R \times W \quad (10)$$

$$R = \frac{Z'_m}{Z'_g} \quad (11)$$

$$Z = \frac{1}{1 + e^{\frac{1}{E'_n}}} + \frac{h}{H} \quad (12)$$

$$E'_n = E_a \times P_a + E_b \times P_b \quad (13)$$

式中, $D$ 是社会经济调整系数; $R$ 是生态系统服务价值的支付意愿; $W$ 是居民的支付能力; $Z$ 是社会发展水平; $E'_n$ 是恩格尔系数; $E_a$ 、 $E_b$ 是城镇、农村恩格尔系数; $Z'_m$ 是乌鲁木齐市社会发展水平; $Z'_g$ 是全国社会发展水平; $P_a$ 、 $P_b$ 是城镇、农村人口占总人口的比重; $h$ 、 $H$ 分别是研究区、全国城市化水平。

支付能力运用研究区和全国的人均国内生产总值的比值来计算。公式如下:

$$W = \frac{GDP'}{GDP''} \quad (14)$$

式中, $GDP'$ 是乌鲁木齐市人均国内生产总值; $GDP''$ 是全国人均国内生产总值。

(3)资源稀缺系数。利用人口密度反映资源稀缺系数,计算公式如下:

$$F = \frac{\ln g}{\ln G} \quad (15)$$

式中, $F$ 为乌鲁木齐市资源稀缺系数; $g$ 是乌鲁木齐市人口密度; $G$ 是全国人口密度。

最终根据各类系数确定的生态系统服务价值公式如下:

$$ESV = \sum (A \times VC \times N \times D \times F) \quad (16)$$

式中,ESV 是生态系统服务价值(元);A 代表各类土地利用类型的面积(hm<sup>2</sup>);VC 是各年份生态系统服务价值系数(元/hm<sup>2</sup>);N 是空间异质系数;D 是社会经济调整系数;F 是资源稀缺系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 “三生空间”时空格局变化

**2.1.1 “三生空间”分布格局变化。**为分析乌鲁木齐市“三生空间”的分布格局及演变特征,先要对“三生空间”进行定量识别。该研究利用乌鲁木齐市的土地利用现状图、“三生空间”分类体系(表 1)和“三生空间”功能值(表 2),对乌鲁木齐市 1990、2005 和 2018 年的“三生空间”功能进行了定量识别。根据公式(1)算出 1990 和 2018 年乌鲁木齐市“三生空间”面积,具体见图 1~2。乌鲁木齐市 1990—2018 年生产空间面积是先增加后减少的状况,1990—2005 年生产空间面积增加了 67.19 hm<sup>2</sup>,2005—2018 年生产空间面积减少了 83.81 hm<sup>2</sup>,2018 年生产空间面积甚至比 1990 年少 16.62 hm<sup>2</sup>。生活空间面积增加速度快,由 1990 年的 266.54 hm<sup>2</sup> 增加至 2018 年

的 678.95 hm<sup>2</sup>,2018 年的生活空间面积是 1990 年的 2.5 倍;1990、2005 和 2018 年生态空间面积最大,分布范围最广泛,该用地类型面积分别占土地总面积的 87.95%、86.91%、85.08%。虽然生态空间数量最多、分布最广,但生态空间面积是逐年递减的趋势,从 1990 年的 12 130.83 hm<sup>2</sup> 减少至 2018 年的 11 734.18 hm<sup>2</sup>,减少了 396.65 hm<sup>2</sup>;因乌鲁木齐市未利用地中沙地、戈壁、裸岩石质地约占 87%,此类用地类型开发难度强、利用率低,故生态空间减少现状不可小觑。

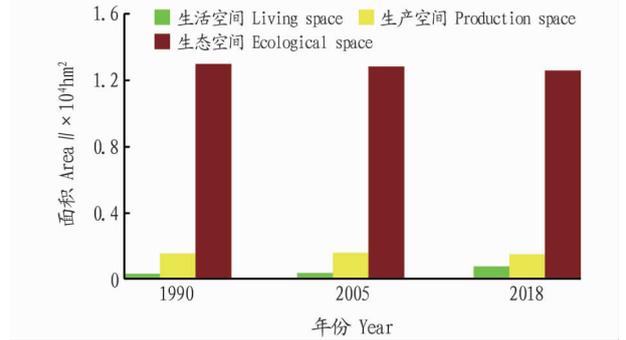


图 1 乌鲁木齐市“三生空间”面积

Fig. 1 Area of production-living-ecological space in Urumqi City

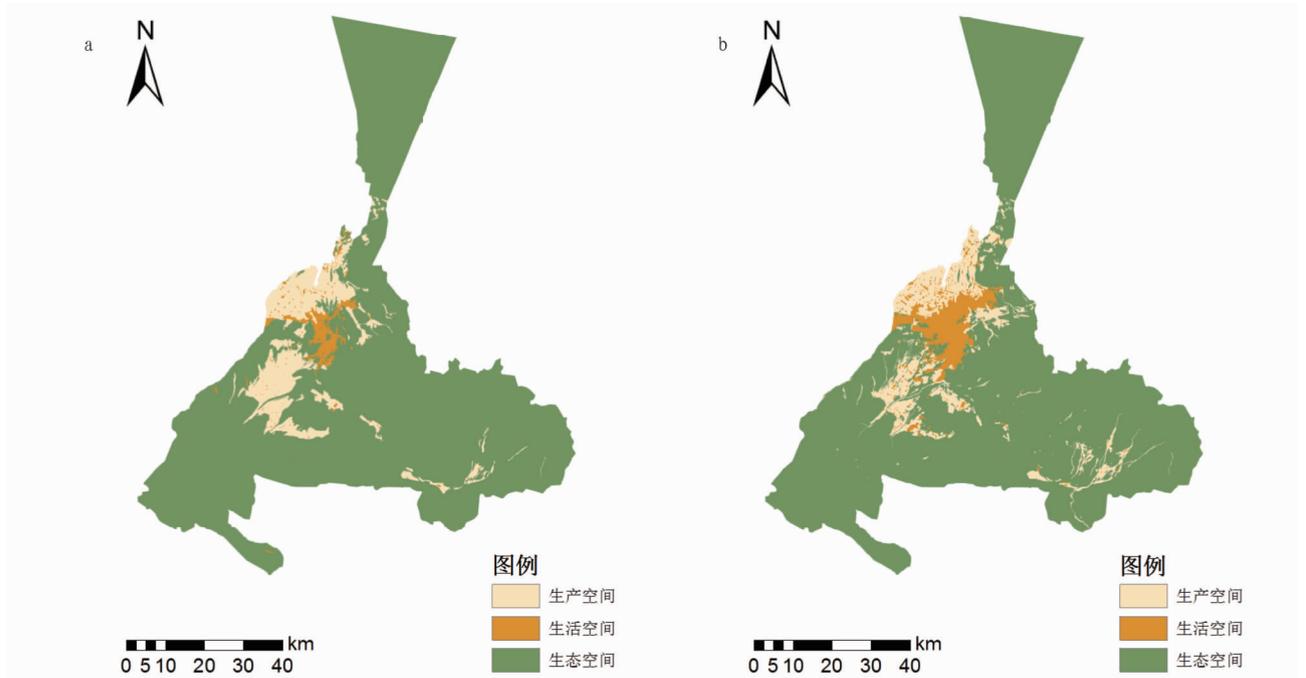


图 2 1990 年(a)和 2018 年(b)“三生空间”面积分布

Fig. 2 Distribution of production-life-ecological space areas in 1990(a) and 2018(b)

从 1990 和 2018 年乌鲁木齐市生产、生活、生态空间功能值分布情况(表 4 和图 3~5)可以看出,近 29 年乌鲁木齐市的“三生空间”发生了显著变化。整体而言,1990—2018 年乌鲁木齐市占地面积最广的是生态空间,而生活空间面积最小。生产空间从面积的角度分析,是处于面积减少的状态,但从功能值角度分析,生产空间功能总值由 1990 年的 53 333.56 分增加至 2018 年的 62 601.79 分,增加了 17.38%,因为即使部分生产空间被生活空间占据,但该部分的生产功能并没有丧失,与此同时生产空间功能也向乌鲁木齐市北部

即米东区整片移动,而原来 1990 年主要在沙依巴克区的生产空间功能被破碎化,也向达坂城区零碎地扩大,主要占据生态空间。乌鲁木齐市生活空间在 1990—2018 年发展迅速,1990 年主要集中在天山区、新市区和沙依巴克区,到 2018 年生活空间主要向新市区、米东区 and 头屯河区扩展,功能总值由 1990 年的 15 592.07 分增加至 2018 年的 43 145.97 分,是 1990 年的 2.8 倍,而生活空间扩大主要占据的是生产空间用地。1990—2018 年乌鲁木齐市生态空间主要集中在米东区、达坂城区和乌鲁木齐县,生态空间面积虽仍是最大,但被

表 4 1990—2018 年乌鲁木齐市“三生空间”功能值及占比

Table 4 Function value and proportion of production-living-ecological space in Urumqi City from 1990 to 2018

年份 Year	生产空间 Production space		生活空间 Living space		生态空间 Ecological space	
	功能值 Function value//分	占比 Proportion//%	功能值 Function value//分	占比 Proportion//%	功能值 Function value//分	占比 Proportion//%
1990	53 333.56	6.77	15 592.07	1.98	719 270.45	91.25
2005	57 276.29	7.25	20 512.28	2.59	712 586.87	90.16
2018	62 601.79	7.86	43 145.97	5.42	690 233.44	86.72

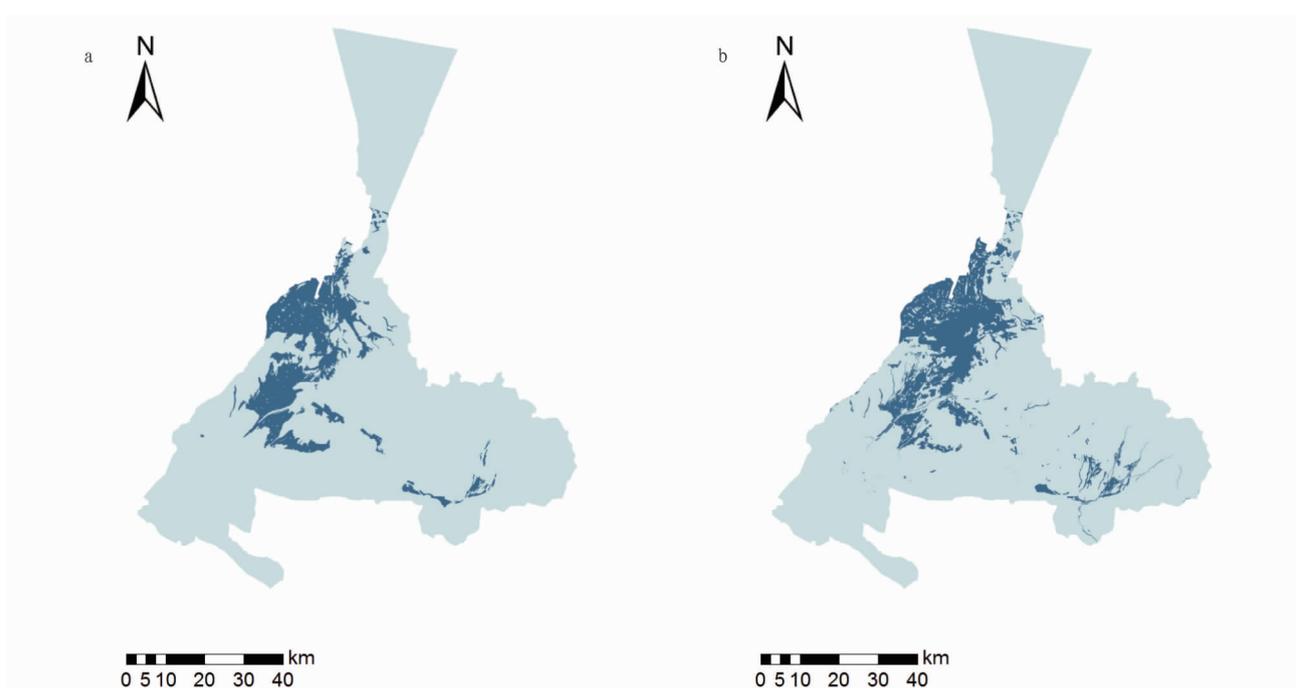


图 3 1990 年 (a) 和 2018 年 (b) 生产空间功能值分布

Fig. 3 Distribution of production space function values in 1990 (a) and 2018 (b)

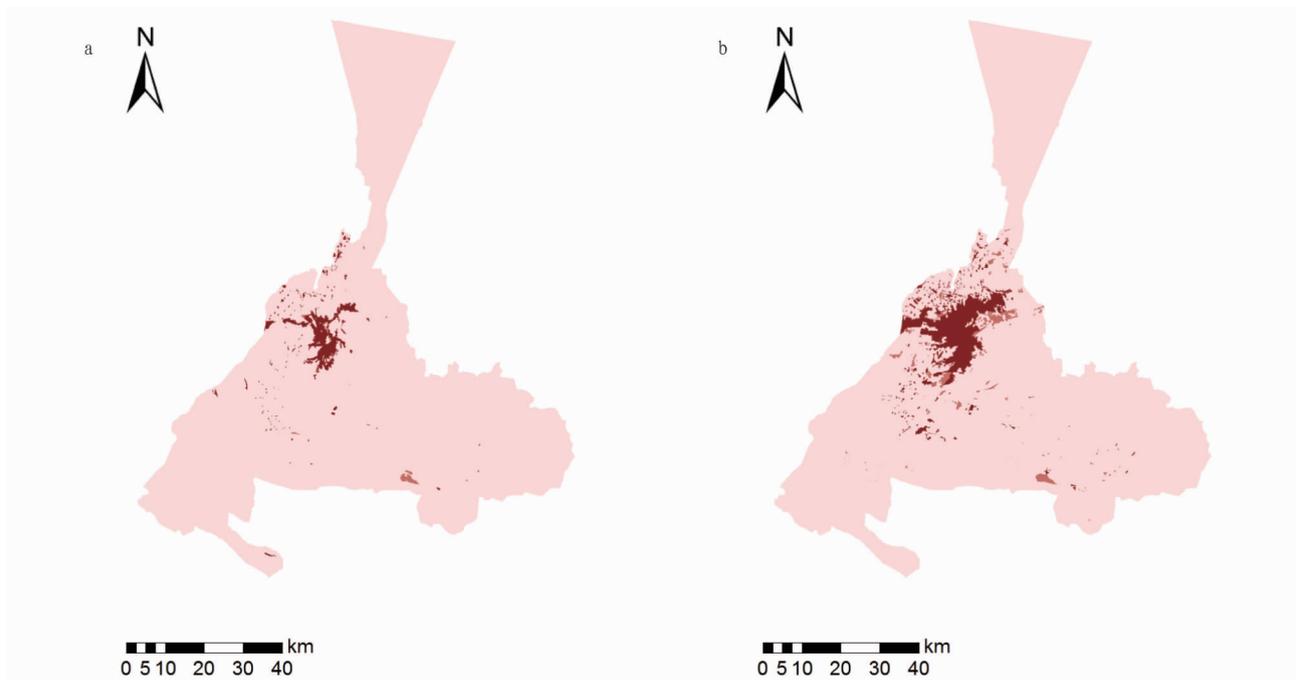


图 4 1990 年 (a) 和 2018 年 (b) 生活空间功能值分布

Fig. 4 Distribution of living space function values in 1990 (a) and 2018 (b)

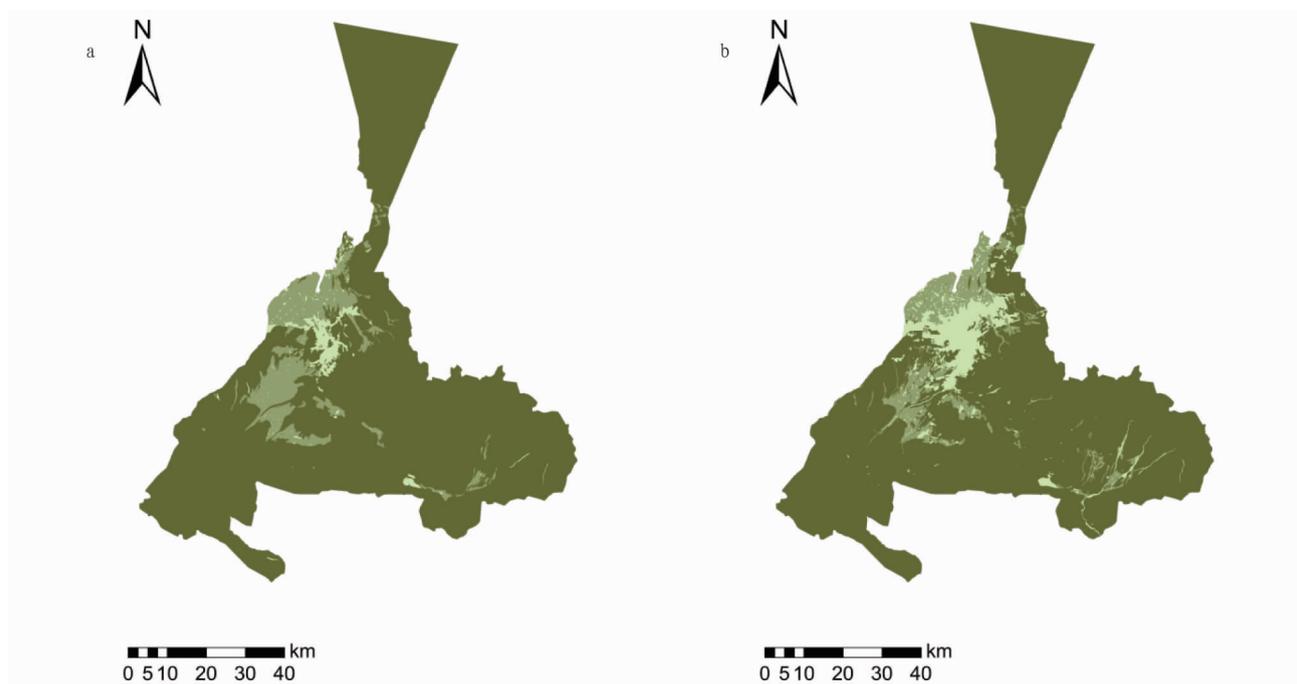


图 5 1990 年 (a) 和 2018 年 (b) 生态空间功能值分布

Fig. 5 Distribution of ecological space function values in 1990 (a) and 2018 (b)

生产空间与生活空间占据了部分面积,造成生态空间的整片化不如 1990 年,尤其是达坂城区和乌鲁木齐县的生态空间明显破碎化,乌鲁木齐市生态空间功能总值由 1990 年的 719 270.45 分减少至 2018 年的 690 233.44 分,减少了 4.04%。

**2.1.2 “三生空间”分布均匀程度。**该研究运用基尼系数定量分析乌鲁木齐市“三生空间”分布的均匀程度。利用公式(3)求出乌鲁木齐市 1990—2018 年“三生空间”结构基尼系数(图 6)。由图 6 可知,乌鲁木齐市“三生空间”分布的均匀程度差别甚大,首先是生产空间,1990、2005 年基尼系数分别为 0.504、0.480,分布相差比较大,到 2018 年,基尼系数下降至 0.372,分布相对合理;其次是生活空间,1990、2005、2018 年的基尼系数分别为 0.781、0.775 和 0.734,分布差距悬殊,1990—2018 年基尼系数虽有降低趋势,但变化速度缓慢;生态空间的基尼系数最小,1990、2005 和 2018 年分别为 0.073、0.078 和 0.085,分布绝对均衡。

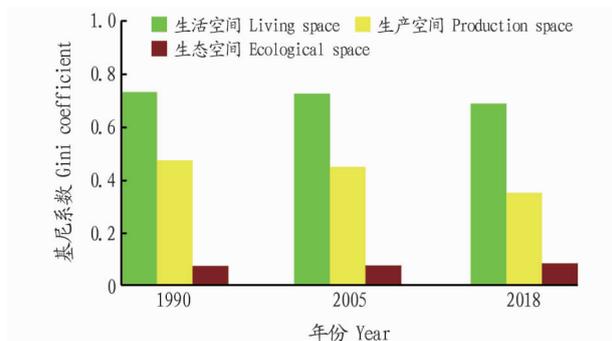


图 6 1990—2018 年乌鲁木齐市基尼系数

Fig. 6 Gini coefficient in Urumqi City from 1990 to 2018

## 2.2 生态系统服务价值变化 基于 30 m×30 m 网格分析乌

鲁木齐市生态系统服务价值(ESV)的空间差异,并运用自然断裂法将 ESV 区域分为低、较低、中等、较高和高 5 个等级。宏观而言,乌鲁木齐市 ESV 从外围至主城区呈“较低等—高等、较高等—中等—低等”的格局,主要因为乌鲁木齐市外围米东区为工业区,达坂城区西部、乌鲁木齐县南部是未利用地,而这 2 个区中部为山区林地及草地,郊区多为耕地。具体而言,研究区低和较低等级 ESV 区域主要集中在主城区及米东区、达坂城区西南部分,该等级随着城市扩张在主城区呈蔓延趋势,而米东区作为工业区 50% 区域属于该等级,达坂城区出现两极分化趋势;中等级 ESV 区域分布趋于集中化状态,并从乌鲁木齐县向北至主城区郊区转移;较高和高等级 ESV 区域集中在乌鲁木齐县和达坂城区等山区,随时间推移这 2 类生态价值区域趋于萎缩趋势。总的来说,虽然中等级和较高等级的区域是增加的趋势,但由于较低等级区域也在增加且高等级区域在萎缩,故乌鲁木齐市整体生态环境呈现退化的态势。

利用乌鲁木齐市 1990、2005、2018 年 3 期土地利用数据,结合经过修正的 ESV 系数,计算乌鲁木齐市“三生空间”格局改变导致的生态系统服务价值变化(表 5)。结果显示,草地是提供乌鲁木齐市 ESV 的主要用地类型,其次是有林地。29 年乌鲁木齐市 ESV 总体损失大于收益,生态损失共计 2 354.00 万元;草地 ESV 共减少 1 607.35 万元,下降率为 70.13%;冰川雪地的 ESV 是水域中甚至是所有土地利用类型中减少幅度最大的,共减少了 519.02 万元,下降率为 99.28%,而在水域中的除冰川雪地外,其他土地类型如沟渠、水库坑塘和湖泊的 ESV 经历了先下降后增长的波动过程,而河渠则呈相反变化趋势。

表 5 1990—2018 年乌鲁木齐市“三生空间”生态系统服务价值变化

Table 5 Changes of the ecosystem service value of production-living-ecological space in Urumqi City from 1990 to 2018

土地利用类型 Land use type	ESV//万元			ESV 变化率 Change rate of ESV//%			
	1990 年	2005 年	2018 年	1990—2005 年	2005—2018 年	1990—2018 年	
生产空间 Production space	水田	10.81	6.00	0.38	-44.54	-93.74	-96.53
	旱地	71.73	38.42	21.10	-46.43	-45.07	-70.58
	其他林地	2.18	2.21	2.33	-1.36	-5.49	6.92
	其他建设用地	-1.58	-1.62	-3.56	-2.87	119.57	125.87
	沟渠	12.80	9.54	34.28	-25.44	259.11	167.76
生活空间 Living space	水库坑塘	19.40	10.72	14.11	-44.74	31.63	-27.27
	城镇用地	-14.52	-9.45	-12.15	-34.89	28.57	-16.28
生态空间 Ecological space	农村居民点	-3.41	-2.53	-2.72	-25.95	7.78	-20.20
	有林地	175.97	92.31	41.70	-47.54	-54.83	-76.30
	灌木丛	10.01	5.17	0.48	-48.33	-90.70	-95.20
	疏林地	29.50	13.41	0.29	-54.54	-97.84	-99.02
	草地	2 292.05	1 181.77	684.70	-48.44	-42.06	-70.13
	河渠	0.00	45.21	15.61	451.10	-65.48	155.10
	湖泊	82.02	45.21	64.42	-44.88	42.48	-21.46
	冰川雪地	522.78	272.67	3.76	-47.84	-98.62	-99.28
	未利用地	9.42	4.84	0.43	-48.68	-91.16	-95.46
	合计 Total	3 219.16	1 713.88	865.16	-46.76	-49.52	-73.12

从图 7 可以看出,乌鲁木齐市各项生态系统服务功能中最突出的是水文调节功能,其次是气候调节功能,提供 ESV 最少的是食物生产功能。1990—2018 年,随着乌鲁木齐市“三生空间”格局的改变,各项 ESV 功能总体均呈下降趋势,水文调节生态价值量锐减,共减少了 799.1 万元,降幅为

75.64%,其原因是生态空间中冰川雪地的 ESV 降幅大;其次是气体调节,下降 199.9 万元,降幅为 74.90%;而 ESV 降幅最小的土壤保持也都减少了 241.0 万元,降幅为 71.01%;各项 ESV 功能生态价值量的平均降幅为 72.57%。

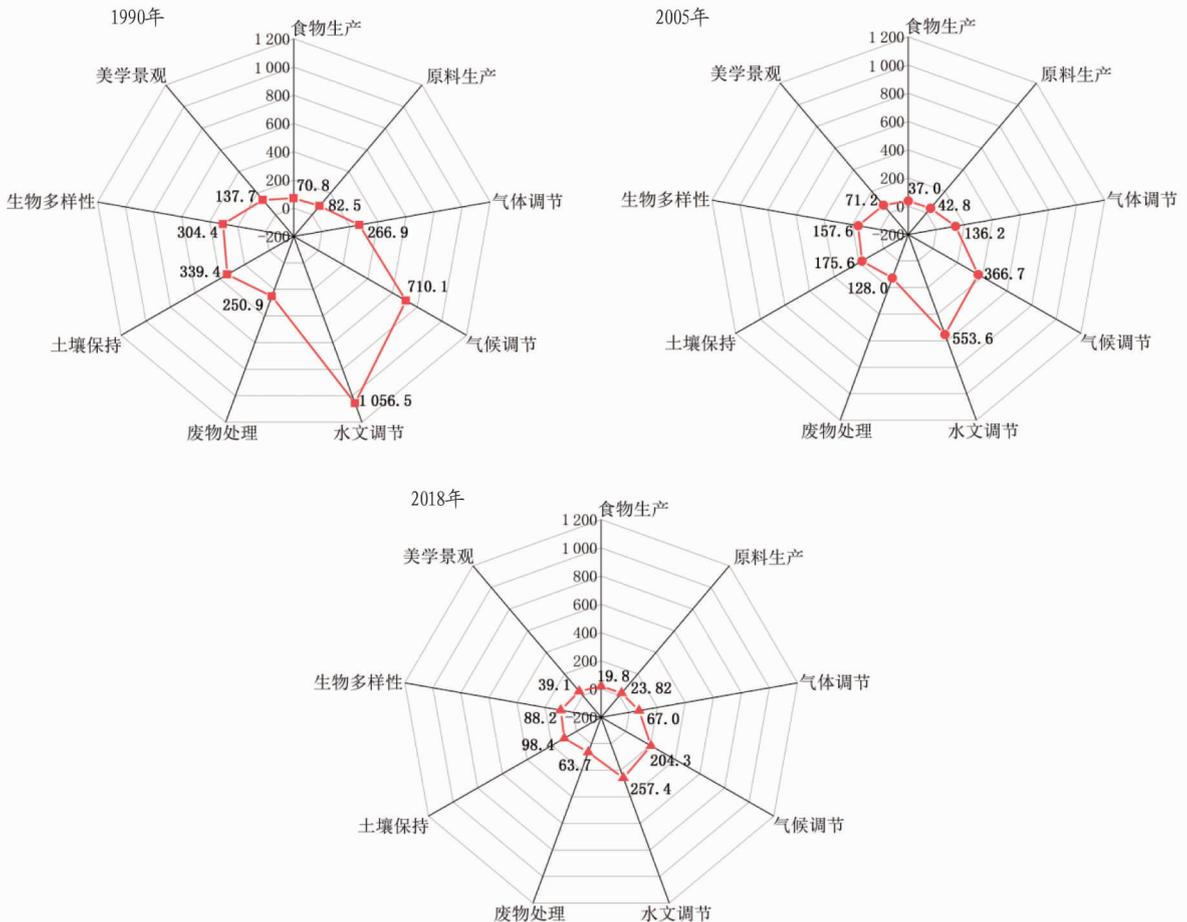


图 7 1990—2018 年乌鲁木齐市各生态功能价值量(单位:万元)

Fig. 7 The value of each ecological function in Urumqi City from 1990 to 2018

### 3 结论与讨论

**3.1 结论** 在“三生空间”时空变化方面,随着乌鲁木齐市持续扩张和经济的发展,1990—2018年乌鲁木齐市“三生空间”发生显著变化:①从“三生空间”面积分析,1990—2018年乌鲁木齐市占地面积最广的是生态空间,而生活空间面积最小。研究区生产空间面积经历了“增长一下降”的波动变化,总体变化幅度不大;生活空间面积逐年增长是该区域“三生空间”演变的主要方向;29年间生态空间面积与生活空间相反,逐年处于减少的状态,共减少了396.65 hm<sup>2</sup>。②从“三生空间”功能值分析,生产空间面积虽减少了但功能总值处于增长的趋势,增幅为17.38%,且向乌鲁木齐市北部整片扩张;生活空间功能总值随着面积的增长而上升,到2018年功能总值增加了27 553.90分,2018年功能总值约是1990年的2.8倍,且从主城区向郊区蔓延;生态空间功能出现破碎化,该空间功能总值处于减少趋势,减幅为4.04%。③分析乌鲁木齐市“三生空间”分布的均衡程度可知,生产空间在1990、2005年分布相差大,2018年得到改善分布相对合理;生活空间分布差距悬殊;生态空间分布绝对均衡。

在生态系统服务价值变化方面,产生ESV最高的是草地和有林地,29年间乌鲁木齐市ESV损失大于收益,共减少了2 354.00万元,而草地ESV损失最多,共减少了1 607.35万元;低等级、较低等级生态系统服务价值区域集中在主城区及工业区,且随着工业发展迅速而呈扩张趋势,而高等级ESV区域在萎缩;总ESV均值乌鲁木齐市外围到中心波动下降,其中水文调节和气体调节功能随时间推移衰退较显著。

**3.2 讨论** 该研究基于当量因子法,运用了修正的系数且从时空尺度研究“三生空间”格局和ESV动态演变,发现“三生空间”的变化会引起ESV的同步变化,但系数修正导致的差异对ESV也会产生影响。例如,1990—2005年生产空间面积增加幅度较大,但ESV降低幅度也较大,该现象主要因为修正系数的变化造成的。因此,修正ESV系数对分析ESV的变化起着至关重要的作用。

草地、冰川雪地和有林地是乌鲁木齐市高ESV的代表,且单类功能价值的变化与冰川雪地、草地的面积变化相关,研究结果可知乌鲁木齐市水土流失严重、水源保护力度小,为了确保乌鲁木齐市生态系统发挥作用使生态平衡,建议保护和修复这2种地类。城市快速发展会导致区域ESV呈现下降趋势。乌鲁木齐市主城区是建设用地增加的主要区域,也是ESV低值分布的主要区域。故建议进行合理的土地空间规划,加强管控生态保护红线力度,继而提升区域生态系统提供服务的能力。

为了改善乌鲁木齐市生态环境,2011年乌鲁木齐市政府发布了《乌鲁木齐市环境景观综合整治三年行动纲要》,而生态治理水平也有了质的飞跃,响应政策要求,各区积极植树造林,治理水土流失,扩大城镇绿化面积,改善环境。但土地利用过程中仍有不少问题:①建设用地侵占优质耕地现象严重,耕地保护力度不足,导致农产品产量减少,且建设用地扩张过程中环境问题显著;②林地面积减少快速,缺少生态涵

养能力;③乌鲁木齐市还未建立保护水域的有效机制,水资源短缺问题日益严重;④未利用地开发难度大,技术手段落后,未利用地开发仍存在较大潜力。

### 参考文献

- [1] 黄金川,林浩曦,漆潇潇.面向国土空间优化的三生空间研究进展[J].地理科学进展,2017,36(3):378-391.
- [2] 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[J].地理学报,2010,65(6):708-714.
- [3] 张鹏,李庆.南昌市“三生”空间时空格局演化特征分析与预测[J].国土资源科技管理,2020,37(6):60-75.
- [4] 宋小青,李心怡.区域耕地利用功能转型的理论解释与实证[J].地理学报,2019,74(5):992-1010.
- [5] 刘继来,刘彦随,李裕瑞.中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J].地理学报,2017,72(7):1290-1304.
- [6] 于莉,宋安安,郑宇,等.“三生用地”分类及其空间格局分析:以昌黎县为例[J].中国农业资源与区划,2017,38(2):89-96.
- [7] 蒙向丽,张裕凤.多规合一背景下县域三生空间划定与实证研究:以内蒙古土默特左旗为例[J].中国国土资源经济,2021,34(9):67-75.
- [8] 郑洋,郝润梅,吴晓光,等.基于MCR模型的村庄“三生空间”格局优化研究[J].水土保持研究,2021,28(5):362-367.
- [9] 华吉庆,叶长盛,王飞,等.佛山市“三生”用地演变及其驱动因素分析[J].农业现代化研究,2019,40(1):26-35.
- [10] 沈思考.基于GIS的“三生空间”时空演变及驱动因素分析:以南流江流域为例[D].南宁:南宁师范大学,2020.
- [11] 李欣,方斌,殷如梦,等.江苏省县域“三生”功能时空变化及协同/权衡关系[J].自然资源学报,2019,34(11):2363-2377.
- [12] 孔冬艳,陈会广,吴孔森.中国“三生空间”演变特征、生态环境效应及其影响因素[J].自然资源学报,2021,36(5):1116-1135.
- [13] 孙善良,张小平.陕西省土地利用转型时空演变及其生态环境效应分析[J].水土保持研究,2021,28(6):356-363,370.
- [14] 龚亚男,韩书成,时晓标,等.广东省“三生空间”用地转型的时空演变及其生态环境效应[J].水土保持研究,2020,27(3):203-209.
- [15] 谢译诣,邹艳.2000—2020年北京市“三生空间”格局变化特征分析[J].桂林理工大学学报,2022,42(1):141-150.
- [16] 孙莹莹.基于“三生”协调的庆安县乡村空间格局优化研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [17] 邹艳,张绍良,谢译诣,等.徐州市三生空间分布格局与时空演化特征分析[J].测绘科学,2020,45(7):154-162.
- [18] 马颖,王立华.基于“三生空间”视角的城市资源环境承载力研究:以山东省青岛市为例[J].国土资源科技管理,2020,37(1):1-12.
- [19] 欧惠,戴文远,黄万里,等.基于“三生空间”的福建省城市综合承载力研究[J].生态科学,2020,39(3):71-79.
- [20] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387:253-260.
- [21] MARCHANT R, RICHER S, BOLES O, et al. Drivers and trajectories of land cover change in East Africa: Human and environmental interactions from 6000 years ago to present[J]. Earth-science reviews, 2018, 178:322-378.
- [22] KINDU M, SCHNEIDER T, TEKETAY D, et al. Changes of ecosystem service values in response to land use/land cover dynamics in Munessa-Shashemene landscape of the Ethiopian highlands[J]. Science of the total environment, 2016, 547:137-147.
- [23] 刘修远,宁佳,匡文慧,等.2010—2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J].地理学报,2018,73(5):789-802.
- [24] 欧朝蓉,朱清科,孙永玉.干热河谷区土地利用与生态系统服务价值:以云南省元谋县为例[J].农业现代化研究,2018,39(3):494-502.
- [25] 吕立刚,周生路,周兵兵,等.区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究:以江苏省为例[J].地理科学,2013,33(12):1442-1449.
- [26] 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.
- [27] 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,2008,23(5):911-919.
- [28] 施卫国.一种简明的基尼系数计算方法[J].江苏统计,1997(2):16-18.
- [29] 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(8):1243-1254.
- [30] 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,2003,18(2):189-196.