

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.03.021.

马伟, 张文新, 王红瑞, 等. 阿温同城土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 373-382.

MA Wei, ZHANG Wenxin, WANG Hongrui, et al. Effects of Land Use Change on Ecological Service Value in A-wen Integration Area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(3): 373-382.

阿温同城土地利用变化对生态服务价值的影响

马伟¹, 张文新¹, 王红瑞², 金峰³, 周宏阳⁴

(1.北京师范大学地理科学学部, 北京 100875; 2.北京师范大学水科学研究院, 北京 100875;

3.北京北建大城市规划设计研究院有限公司, 北京 100875; 4.西北大学城市与环境学院, 西安 710727)

摘要: [目的]对快速城镇化区域土地利用及其生态服务价值变化进行模拟与分析, 可为阿温同城国土空间规划土地科学利用提供参考。[方法]运用ESV估算方法、CA_MCE_MARKOV模型、贡献度测算与分析了2010—2030年阿温同城土地利用变化对生态服务价值的影响。[结果] (1) 2010—2030年阿温同城草地、未利用地向其他地类转移, 耕地、园地、林地、建设用地扩张明显。ESV增加了129.62亿元, 呈“北高、南与西低”分布特征; 水文调节是ESV的主体, 水域的转换是影响ESV增减变化的主要因素。(2) ESV高值格网位于北部冰川高山, 低值格网位于西部阴干山区及南部绿洲平原; ESV损失冷点区域位于天山生态涵养区北部、城乡发展协调区中部, ESV增值热点区域位于天山生态涵养区北部、城乡发展协调区南部、田园绿洲保育区南部。(3) 2020—2030年ESV增值区向阿克苏河流域集中; 延续发展态势会导致城乡发展协调区、田园绿洲保育区ESV出现负增长。[结论]以水资源约束为前提, 积极开展荒地绿化、加强水体及林草地保护、严格控制建设用地和耕地的增长并引导其内部结构优化, 是谋求ESV良性增益、筑牢天山南麓生态安全屏障的有效措施。

关键词: 土地利用变化; 生态服务价值; 热点分析; 土地利用变化模拟; 阿温同城

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)03-0373-10

Effects of Land Use Change on Ecological Service Value in A-wen Integration Area

MA Wei¹, ZHANG Wenxin¹, WANG Hongrui², JIN Feng³, ZHOU Hongyang⁴

(1. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. College of Water

Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Bucea Urban Planning and Design Institute,

Beijing 102218, China; 4. College of Urban and Environment Sciences, Northwest University, Xi'an, 710727, China)

Abstract: [Objective] The simulation and analysis of the change of land use and ecological service value in the rapid urbanization area can provide a reference for the scientific land use of land spatial planning in A-wen integration area. [Methods] ESV estimation method, CA_MCE_Markov model, contribution calculation and analysis were used to examine the impact of land use change in the A-wen City on the value of ecological services from 2010 to 2030. [Results] (1) From 2010 to 2030, grassland and unused land were transferred to other land types, and cultivated land, garden land, forest land and construction land were expanded significantly. ESV increased by 12.962 billion yuan, showing the distribution characteristics of high in the north, low in the south and low in the west. Hydrological regulation was the main part of ESV, and the conversion of water area was the main factor affecting the increase and decrease of ESV. (2) The high value area of ESV was located in northern mountainous area. The low value area was located in western mountainous area and

收稿日期: 2022-03-08

修回日期: 2022-03-31

资助项目: 国家自然科学基金面上项目(51879010); 阿克苏地区国土空间总体规划(2021—2035年)(YH2020052632)

第一作者: 马伟(1993—), 男, 河南商丘人, 博士, 研究方向为区域发展与规划、土地生态系统调控。E-mail: MAWEI777@yeah.net

通信作者: 张文新(1968—), 男, 广西桂林人, 教授, 博士生导师, 主要从事国土空间规划、土地利用规划。E-mail: wzhang@bnu.edu.cn

<http://stbcyj.paperonice.org>

oasis plain in the south. The cold spot area of ESV loss was located in the north of Tianshan ecological conservation area and the middle of urban-rural development coordination area, while the ESV value-added hot spot areas were located in the north of Tianshan ecological conservation area, the south of urban-rural development coordination area and the south of pastoral oasis conservation area. (3) From 2020 to 2030, the ESV value-added area will concentrated in Aksu River Basin. The continuation of development trend will lead to negative growth of ESV in urban and rural development coordination area and pastoral oasis conservation area. [Conclusion] Under the precondition of water resource constraint, afforestation of wasteland, protection of water body and forest and grass land, strict control of urban construction land and cultivated land growth, and guidance of internal structure optimization are the effective measures to seek positive gain of ESV and build a strong ecological security barrier at the southern foot of Tianshan Mountain.

Keywords: land use change; ecosystem service value; grid square; land use change simulation; A-wen integration area

土地利用/覆盖变化是人类社会活动与自然环境发生关联的联系枢纽^[1],人为活动和环境变化共同作用并直接导致着土地利用结构发生改变,不同的土地利用类型及构成影响生态系统的结构与功能,决定着生态系统服务^[2]。同城化作为城镇群的一种构成形式^[3],同时也是人为活动发生最为剧烈、频繁的快速城镇化区域,同城跨界间的共建共治、资源共享以及经济文化互动依靠土地为载体谋求城乡发展战略的空间落位^[4-5],期间产生了“发展需求—土地利用变化—生态系统服务响应”三方交互影响。随着城镇化的推进,生态系统可提供给人类发展的各项福利,即生态系统服务价值(Ecological Service Value,ESV),也随之改变^[6-7]。

近年来,城镇群土地利用变化对生态服务价值影响的研究相对丰富,相关研究多围绕武汉都市圈^[8-10]、京津冀城市群^[11]、长江中游城市群^[12-14]、长三角城市群^[15]、成渝城市群^[16]、环渤海城市群^[17]、中原城市群^[18]、山东半岛城市群等^[19]城镇组群体量大、人口多、城镇化程度高的区域开展;研究时间跨度集中于距近期 10~30 a 间;研究方法分定量评价和空间研究两类:定量评价多运用 ESV 估算方法^[20]、土地利用类型动态度^[21]、敏感性指数^[16]、生态贡献度等^[22]进行量化分析,空间研究多运用网格法^[15]、热点分析^[11]、元胞自动机模型^[23]、FLUS 模型等^[20]分析、预测时空分布特征;总体来看,已有的对于城镇群土地利用及其 ESV 变化的相关研究存在以下不足:(1)对于干旱区等生态环境恶劣地区的研究相对较少;(2)对于同城化这一城镇群构成形式的研究相对较少;(3)鲜有对 ESV 与土地利用变化的空间复合分析,无法明确 ESV 增减变化的主要土地利用变化成因,郭椿阳等学者的研究具有借鉴意义^[2]。

鉴于此,本文以阿温同城作为研究对象,从空间

分布、数量变化两个方面及全域、分区两个视角探究 2010—2030 年阿温同城土地利用及 ESV 的变化特征,同时将 2010—2015 年、2015—2020 年 ESV 产生剧烈变化的区域与土地利用变化图谱相套合,结合生态贡献度探讨同城地域 ESV 增、减变化的主要成因,并通过定位斑块编码实施分类管控,以填补在我国干旱区同城地域鲜有开展土地利用及其 ESV 变化研究的空白。阿温同城作为南疆铁路城镇发展轴的主要支点,地处塔里木盆地北缘,也是天山南坡西段绿洲生态修复带的重点治理区,具有典型性,开展本研究可为我国西部城镇组群优化土地利用结构与布局提供科学依据^[24]。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

阿克苏市南部市属飞地为沙漠,且与温宿县并无接壤,所以本研究将阿温同城地域界定为阿克苏市(除飞地)及温宿县全域(图 1)。阿温同城位于新疆维吾尔自治区中西部、天山托木尔峰南麓,位于 40°31'—42°15'N,79°41'—81°55'E,地势北高南低、西高东低。全域属典型的大陆性干旱气候特征,年均气温 11.6℃左右,年均降雨量 101 mm。境内有大面积冰川及永久积雪,世界级自然遗产 1 处(托木尔峰),且是著名的古龟兹文化和多浪文化发源地。2018 年阿温同城 GDP 达 270 亿元,总面积约 1.88×10^4 km²,总人口 82 万人。

参照《阿温同城规划(2018—2035 年)》,以镇(乡)、街道、管委会区划范围为单元将研究区划分为天山生态涵养区、城乡发展协调区和田园绿洲保育区,对应人口分别为 6.16 万人、67.07 万人、8.78 万人,对应面积分别为 0.89×10^4 km², 0.4×10^4 km², 0.6×10^4 km²,对应乡镇数量分别为 4 个、24 个、3 个(表 1)。天山生态涵养

区位于天山南坡,地域广阔、人口稀少,拥有大面积草原及冰川积雪,以生态涵养功能为主;城乡发展协调区位于阿克苏河冲积扇平原地带,人口密度高,是城乡社会经济活动的主要发生地,以城乡社会、经济高质量发展功能为主;田园绿洲保育区为绿洲地带,分布大量农场、林场、牧场及胡杨林保护区,以促进田园农业发展,维持绿洲森林、草原生物群落稳定功能为主。对各分区进行划定,一方面可落实上级规划总体空间格局及职能,另一方面可通过分区对镇(乡)、村级发展建设做出指引,从土地利用、生态规划方面衔接县(市)级规划与镇(乡)级规划。

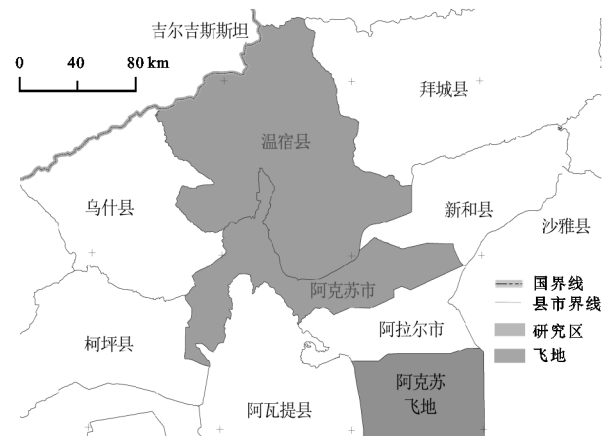


图 1 研究区范围

表 1 阿温同城各分区镇(乡)、街道、管委会名称

分区名称	镇(乡)、街道、管委会名称	数量/个
天山生态涵养区	吐木秀克镇、博孜墩乡、阿克青、塔格拉克	4
城乡发展协调区	温宿镇、托乎拉乡、阿热勒镇、依希来木其乡、恰格拉克乡、克孜勒镇、新城街道、英巴扎街道、兰干街道、红桥街道、晶水路街道、南城街道、林园街道委会、红旗坡片区管委会、纺织城片区管委会、西城街道、试验林场、依杆其乡、拜什吐格曼乡、托普鲁克乡、库木巴什乡、阿依库勒镇、新黄官民族分场、沙井子	24
田园绿洲保育区	佳木镇、古勒阿瓦提乡、喀拉塔勒镇	3

1.2 数据来源与处理

2010 年、2015 年、2020 年土地利用数据来自于中科院资源环境数据中心,将 25 类二级土地利用类型整合为耕地、园地、林地、草地、建设用地、水域、未利用地 7 类一级土地利用类型;GDP 与人口密度分布、年均降雨量、NDVI、湿润指数、土壤沙粒含量、水资源丰度指数等来源于中国科学院资源环境数据中心(<https://www.resdc.cn/>);土壤质地、土壤有机质数据来源于国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn/>);运用 ArcGIS 中掩膜提取、投影转换等工具对上述各项数据进行统一边界、统一坐标系处理,作为土地利用与 ESV 变化分析及模拟的基础数据。另外,旅游收入、粮食产量及价格等数据是制定生态系统服务价值系数的基础数据,来自于《阿克苏地区统计年鉴(2010—2021 年)》、《中国农产品价格调查年鉴》。

1.3 研究方法

1.3.1 基于 Ca_Mce_Markov 模型的土地利用变化模拟 Markov 模型作用原理为无后效性^[25],指随机过程在有限时序 $t_1 < t_2 < t_3 < \dots < t_n$ 内,任意时刻 t_n 的状态 U_n 只与其前一时刻 t_{n-1} 的状态 U_{n-1} 相关,常通过地类间相互转换的比例构建土地利用概率预测模型。多准则评价方法(Mce)则是通过对约束型因子和限制型因子进行量化处理,构建 Ca 局部规则的过程。本研究确定了 3 项限制型影响因子及 6 大项 14 小项约束型影响因子,并运用 AHP 层次分析法确定各项影响因子权重(表 2)。以 2015 年为基

期,运用 Markov 模型构建 2010—2015 年土地利用概率转移矩阵,结合 Mce 模型生成的适宜性图集,导入 IDRISI 软件模拟得到 2020 年土地利用图斑,并与实际的 2020 年土地利用状态进行 Kappa 精度测算,Kappa 系数为 0.76,具有较好一致性,说明该模型适用于模拟研究区土地利用变化。

1.3.2 基于区域—社会修正系数的 ESV 计算

(1) 确定生态系统服务价值系数。为区分地域差异使生态系统服务价值评估结果更加准确,本研究借鉴刘倩等研究^[26],引入区域差异系数及社会发展系数进行修正。2010 年阿温同城地区粮食总产量为 4 161 万 t、总播种面积 $5.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$,总产值 6.6 亿元,参照谢高地等^[27]研究,计算得出粮食价格为 1.59 元/kg,ESV 当量因子为 1 743 元/ hm^2 。

以中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表^[28]为基础,各类用地生态服务价值系数构建原则为:耕地对应农田,林地对应森林(灌木、针叶按照 80%,20% 比重加和);园地取耕地和林地的平均值^[29];草原、灌草丛按照 94%,6% 比重加和为草地;水系、冰川积雪按照 93%,7% 比重加和为水域;未利用地对应荒漠(荒漠、裸地按照 20%,80% 的比重加和);建设用地只计算文化娱乐生态服务功能价值^[30],采用市场价值法,参考各年份旅游收入,以阿克苏市(除飞地)、温宿县面积比为权重,计算得到阿温同城建设用地文化服务价值系数为 470 元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ (表 3)。

(2)ESV 计算。公式为^[31]:

$$ESV = \sum A_k \times VC_k$$

(1)

$$ESV_f = \sum A_k \times VC_{jk} \quad (2)$$

式中:ESV 为生态系统服务价值(万元/a); A_k 是土地利用类型 K 的面积(hm^2); VC_k 为土地利用类型 K 的生态服务价值当量系数[万元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)]; ESV_f 为生态系统第 f 项服务功能的价值(万元/a); VC_{jk} 是土地利用类型 K 的第 f 项服务功能的系数[万元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)]。

表 2 影响因子构成及其权重

类型	影响因子	地类名称													
		耕地		园地		林地		草地		建设用地		水域		未利用地	
		YW	QZ	YW	QZ	YW	QZ	YW	QZ	YW	QZ	YW	QZ	YW	QZ
限制型	重要水域	√	—	√	—	√	—	√	—	√	—	√	—	√	—
	自然保护区	√	—	√	—	√	—	√	—	√	—	√	—	√	—
	高标准农田	√	—	√	—	√	—	√	—	√	—	√	—	√	—
地形地势	高程	√	0.03	√	0.04	√	0.02	√	0.27	√	0.07	—	—	—	—
	坡度	√	0.08	√	0.08	√	0.05	√	0.07	√	0.05	—	—	—	—
	地形起伏度	√	0.04	√	0.08	√	0.03	√	0.06	√	0.08	—	—	—	—
社会经济	人口密度	√	0.11	√	0.07	—	—	—	—	√	0.1	—	—	—	—
	GDP 密度	√	0.05	√	0.07	—	—	—	—	√	0.1	—	—	—	—
	主要道路	√	0.06	√	0.14	—	—	—	—	√	0.2	—	—	—	—
约束型	土壤质地	√	0.06	√	0.02	√	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—
	土壤环境	√	0.08	√	0.06	√	0.08	—	—	—	—	—	—	—	—
	土壤有机质	√	0.08	√	0.06	√	0.08	—	—	—	—	—	—	—	—
土壤环境	土壤沙粒含量	√	0.10	√	0.05	√	0.18	—	—	—	—	—	—	—	—
	年均降雨量	√	0.07	√	0.07	√	0.21	√	0.10	√	0.06	—	—	—	—
	湿润指数	√	0.11	√	0.14	√	0.13	√	0.20	√	0.12	—	—	—	—
水气环境	水资源丰度指数	√	0.10	√	0.07	√	0.06	√	0.10	√	0.22	—	—	—	—
	植被	√	0.06	√	0.06	√	0.21	√	0.20	—	—	—	—	—	—
	植被覆盖度	√	0.06	√	0.06	√	0.21	√	0.20	—	—	—	—	—	—
地灾	地灾易发区	√	0.05	√	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注:(1)“YW”表示有无影响;(2)“QZ”表示权重;(3)“√”表示受到此项影响因子作用;(4)“—”表示内容为空。

表 3 阿温同城地域生态系统服务价值系数

生态系统服务功能		不同土地利用类型的服务价值系数/(元· hm^{-2} · a^{-1})						
一级	二级	耕地	园地	林地	草地	城乡建设用地	水域	未利用地
供给服务	食物生产	871.50	522.9	156.87	87.15	0	592.62	0
	原材料生产	191.73	278.88	348.60	139.44	0	174.30	0
	水资源供给	−1028.37	−435.75	174.30	69.72	0	6222.51	0
调节服务	气体调节	697.20	941.22	1167.81	470.61	0	575.19	34.86
	气候调节	366.03	1934.73	3486.00	1237.53	0	1725.57	17.43
	净化环境	104.58	575.19	1045.80	400.89	0	4096.05	104.58
	水文调节	1185.24	1917.3	2649.36	906.36	0	75715.92	52.29
支持服务	土壤保持	418.32	923.79	1411.83	575.19	0	679.77	34.86
	维持养分循环	122.01	122.01	104.58	52.29	0	52.29	0
	生物多样性	139.44	714.63	1289.82	522.9	0	1882.44	34.86
文化服务	景观美学	52.29	313.74	575.19	226.59	470	1394.40	17.43
合计		3119.97	7808.64	12410.16	4688.67	470	93111.06	296.31

1.3.3 生态贡献率 生态贡献度可以反映出某时期任一地类的 ESV 变化量对总服务价值变化量的影响大小,以揭示出影响 ESV 变化的主要贡献因子和敏感因子^[32-34],计算公式为:

$$S_{KT} = \frac{|\Delta ESV_{KT}|}{\sum_{K=1}^7 |\Delta ESV_{KT}|} \times 100\% \quad (3)$$

式中: S_{KT} 为 K 类生态系统在时间段 T 的生态服务贡献度; ΔESV_{KT} 为 K 类生态系统在时间段 T 内的生态服务价值变化量。

2 结果与分析

2.1 土地利用类型的变化特征分析

2.1.1 土地利用类型的数量变化特征 2010 年阿温同城草地占比 49.63%、未利用地占比 22.47%,其余 5 种地类占比 27.9%;天山生态涵养区内,草地占比 50.25%、未利用地占比 24.13%、水域占比 22.41%,其余 4 种地类占比 3.21%;田园绿洲保育区内,草地占比 72.71%、未利用地占比 22.59%,其余 5 种地类占比

4.7%;城乡发展协调区内,未利用地占比 34.62%、耕地占比 30.28%、草地占比 12.86%、园地占比 11.8%,其余 3 种地类占比 10.44%;阿温同城土地利用构成表现为草地、未利用地占比明显高于其他地类,田园绿洲保育区此特征更加明显,城乡协调发展区则地类构成均衡程度高于其他两区。截至 2020 年,阿温同城未利用地、草地大幅减少,其中未利用地减少了 2 337.71 km²,草地减少了 1 173.99 km²;园地、林地、建设用地、耕地、水域面积增加,其中林地增加了 1 241.13 km²,园地增加了 751.22 km²。发生上述变化的主要原因是:(1) 国家政策与重大工程:杭州、金华市对口支援阿温同城,作为东部产业转移的承接地,需求大规模产业、工业园区等建设用地作为保障,使得建设用地占用耕地、未利用地进行扩张。为落实国家三北防护林重大工程建设,阿克苏地区(含阿温同城)相继实施了五个百万亩国土绿化工程,使得林地、水域等生态用地得到恢复与保护。(2) 城镇发展:2020 年阿温同城城镇化率为 49.02%,近十年阿温同城城镇规模日趋扩大,社会经济发展速度高,建设用地需求也随之增高。(3) 地方农业发展:阿温同城作为农产品主产区,粮食安全作用凸显,农民大量开荒耕种,加之南疆多地州大力推进林果业发展,耕地、园地等作为用地保障支撑地方农业生产。

2.1.2 土地利用类型的转移变化特征 阿温同城:从地类转入、转出面积大小来看,草地转入、转出面积最大,建设用地转入、转出面积最小。其中,草地转入 1 760.88 km²,主要转入地类为未利用地,草地转出 2 935.57 km²,主要转出地类为耕地、林地;建设用地转入 267 km²,主要转入地类为未利用地、耕地和草地;建设用地转出 128 km²,主要转出地类为园地、耕地。从地类转入、转出差值来看,林地地转入、转出差值最大,为 1 241 km²;未利用地转入、转出差值最小,为-2 339 km²;国土绿化工程植树造林,开发了大量未利用地。

分区:天山生态涵养区未利用地转出 1 757.93 km²,草地转入 1 481.48 km²,未利用地与草地间转移频繁,有 1 228 km²未利用地转为草地;田园绿洲保育区草地转出 1 901 km²,耕地转入 881.89 km²,林地转入 1 083.5 km²,草地与耕地、草地与林地转移频繁,有 554.15 km²草地转为耕地,930.36 km²草地转为林地;城乡发展协调区耕地转出 539.37 km²,园地转入 676.8 km²,耕地转入 270.85 km²,建设用地转入 175.86 km²,有 410.22 km²耕地转为园地,46.52 km²耕地转为建设用地,112.06 km²草地转为耕地。天山生态涵养区垦荒种植人工牧草强化生态功能,田园绿洲保育区除草种田、种树提升农林生产力,城乡发展协调区占用农田、草地发展林果业及城乡建设。

2.2 生态服务价值变化分析

2.2.1 生态系统服务价值(ESV)的数量测算特征

2010—2020 年,阿温同城 ESV 增加了 99.95 亿元,10 年间 ESV 增幅为 38%。其中天山生态涵养区 ESV 增加了 52.92 亿元,田园绿洲保育区 ESV 较 2010 年增长了 96%,城乡发展协调区 ESV 较 2010 年增长了 88%。

从不同地类上看(表 4):阿温同城水域价值最高,占 ESV 总价值的 76.93%;其次是草地,占 ESV 总价值的 16.84%;剩余地类占 ESV 总价值的比率不足 7%;建设用地价值最小,占 ESV 总价值的比率近乎为 0。天山生态涵养区、田园绿洲保育区垦荒活动占用了大量未利用地,使得未利用地 ESV 减少;国土绿化工程主要集中在田园绿洲保育区,使得区内林地 ESV 增加。

从不同服务功能上看(表 5):水文调节价值最高,占 ESV 总价值的 67.51%;气候调节占比 7.09%、净化环境占比 5.35%、水资源供给占比 4.63%、生物多样性占比 3.9%;上述五项服务功能价值,天山生态涵养区明显高于其他两区。2010—2020 年,水文调节、气候调节、净化环境、生物多样性服务价值均有增加,主要供给源是林地、水域,此四项服务功能中水文调节价值增加 71.87 亿元、增量最大,生物多样性价值增加 3.2 亿元、增量最小。唯一出现价值损失的是水资源供给,园地、耕地是水资源供给损失源,园地、耕地规模增加对水资源供给造成负向影响,对城乡协调发展区的影响尤为剧烈。

2.2.2 生态系统服务价值(ESV)的时空分异特征

以 2 km×2 km 为单元构建格网,链接单位格网内各地类生态服务价值,采用 ArcGIS 中自然断点法进行分组,得到 2010—2020 年阿温同城 ESV 空间分布图。阿温地域 ESV 呈现的北高、南与西低的分布特征(图 2),其北部冰川高山主要分布冰川积雪、草地,南部平原主要分布建设用地、园地、耕地,西部阴干山区主要分布未利用地。分区来看,天山生态涵养区自然保护地面积广、生态本底优良,ESV 高值格网分布多;城乡发展协调区主要分布建设用地、未利用地、耕地、园地,田园绿洲保育区主要分布林、草地及部分园地、未利用地,两区 ESV 中、低值格网分布多。

2.3 土地利用变化对生态服务价值的影响

2.3.1 土地利用类型数量变化对生态系统服务价值的影响

阿温同城 ESV 主要增值类型为未利用地转水域、草地转水域、草地转林地、耕地转水域、未利用地转草地,其中未利用地转水域使得 ESV 增加了 55.94 亿元、草地转水域使得 ESV 增加了 42.59 亿元,这两组土地利用类型的转换对生态系统服务功能起到了明显的改善作用;主要减值类型为水域转草地、水域

转未利用地、水域转耕地、草地转未利用地、草地转耕地、水域转未利用地使得 ESV 减少了 3.63 亿元,可见加强陆地水域的保护对抑制 ESV 下降至关重要。

表 4 2010—2020 年阿温同城不同地类面积及其生态系统服务价值

地类名称	统计项	2010 年			2015 年			2020 年		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
园地	面积/km ²	61.64	121.37	461.26	60.93	121.77	456.13	185.19	194.43	1015.87
	ESV/亿元	0.48	0.95	3.6	0.48	0.95	3.56	1.45	1.52	7.93
草地	面积/km ²	4470.5	4354.48	502.54	4463.67	4530.35	703.97	5287.7	2669.68	196.15
	ESV/亿元	20.96	20.42	2.36	20.93	21.24	3.3	24.79	12.52	0.92
建设用地	面积/km ²	30.13	80.14	271.91	33.34	51.63	288.94	40.77	96.96	383.61
	ESV/亿元	0.01	0.04	0.13	0.02	0.02	0.14	0.02	0.05	0.18
未利用地	面积/km ²	2146.7	723.05	1352.95	2145.07	543.01	1132.66	485.96	332.9	1066.13
	ESV/亿元	0.64	0.21	0.4	0.64	0.16	0.34	0.14	0.1	0.32
耕地	面积/km ²	81.99	452.74	1183.49	81	452.33	1180.83	98.02	1191.03	914.93
	ESV/亿元	0.26	1.41	3.69	0.25	1.41	3.68	0.31	3.72	2.85
林地	面积/km ²	111.29	178.14	61.91	111.47	178.04	60.71	309.61	1163.85	119.01
	ESV/亿元	1.38	2.21	0.77	1.38	2.21	0.75	3.84	14.44	1.48
水域	面积/km ²	1994	78.37	73.43	2000.83	111.16	84.25	2489.05	339.44	211.79
	ESV/亿元	185.66	7.3	6.84	186.3	10.35	7.84	231.76	31.61	19.72

注:(1)“A”代表“天山生态涵养区”;(2)“B”代表“田园绿洲保育区”;(3)“C”代表“城乡发展协调区”。

表 5 2010—2020 年阿温同城不同服务功能

亿元

生态系统服务功能		2010 年			2015 年			2020 年		
一级	二级	A	B	C	A	B	C	A	B	C
供给服务	食物生产	1.69	0.91	1.36	1.7	0.94	1.39	2.18	1.75	1.5
	原材料生产	1.05	0.8	0.46	1.05	0.83	0.49	1.35	1.12	0.57
	水资源供给	12.63	0.3	−0.91	12.67	0.52	−0.83	15.73	1.2	−0.03
调节服务	气体调节	3.57	2.77	1.66	3.57	2.85	1.74	4.54	3.84	1.99
	气候调节	9.55	6.56	2.31	9.55	6.84	2.56	12.33	8.78	3.34
	净化环境	10.35	2.46	1.09	10.38	2.65	1.19	12.81	3.94	1.86
支持服务	水文调节	155.65	11.16	8.53	156.17	13.8	9.51	194.58	33	19.63
	水土保持	4.25	3.13	1.41	4.25	3.26	1.5	5.4	4.1	1.78
	维持养分循环	0.36	0.32	0.24	0.36	0.34	0.25	0.47	0.45	0.26
文化服务	生物多样性	6.35	2.84	1.03	6.36	2.98	1.14	8.01	3.86	1.55
	景观美学	3.92	1.31	0.6	3.94	1.38	0.67	4.95	1.92	0.98
合计		209.37	32.56	17.78	210	36.39	19.61	262.35	63.96	33.43

注:(1)“A”代表“天山生态涵养区”;(2)“B”代表“田园绿洲保育区”;(3)“C”代表“城乡发展协调区”。

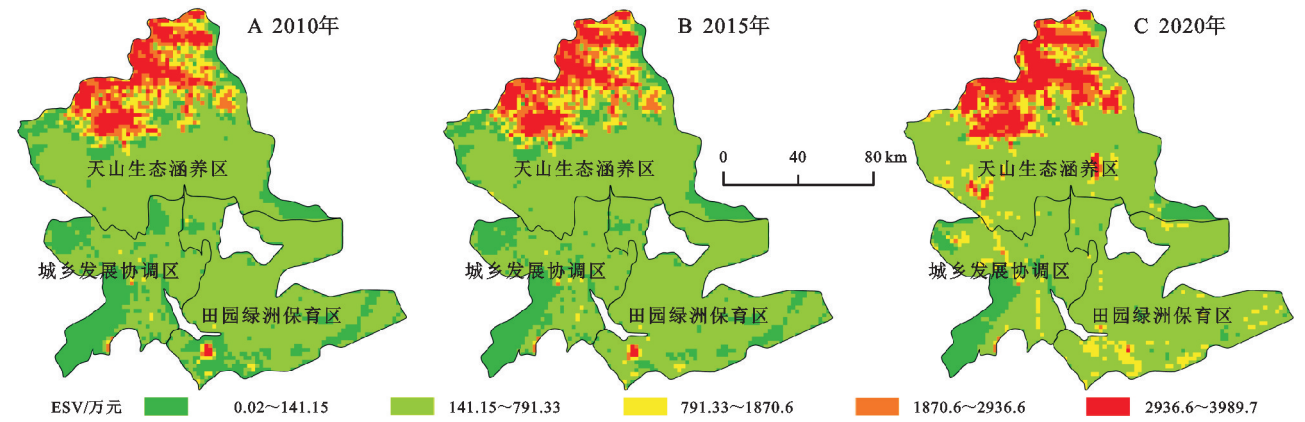
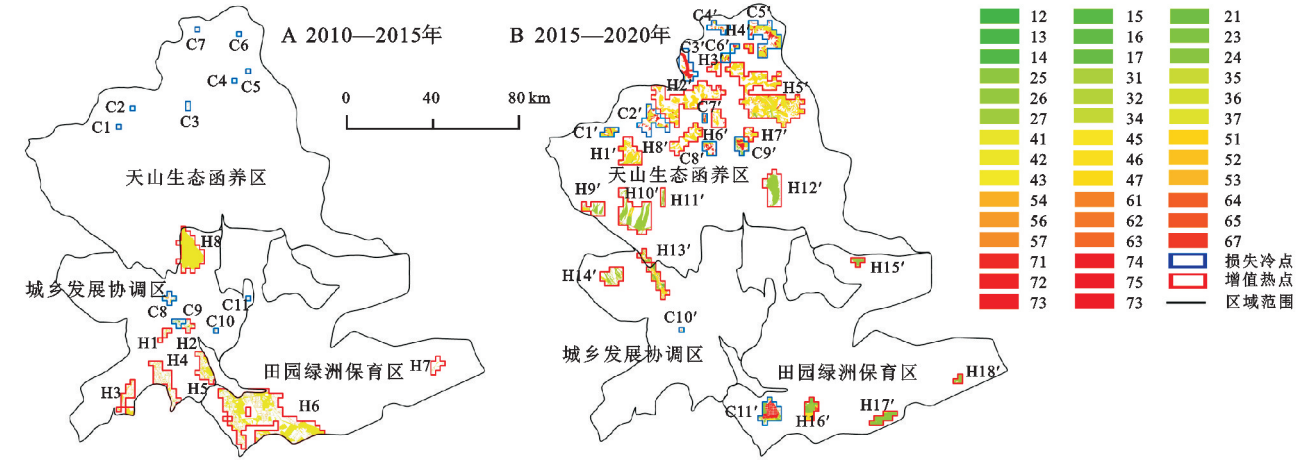


图 2 2010—2020 年阿温同城 ESV 空间分布

2.3.2 土地利用类型空间分异对生态系统服务价值的影响 以上述网格为单元,链接各网格内 2010—2015 年、2015—2020 年 ESV 变化值,运行 ArcGIS 中的热点分析工具,运行结果中选取置信度 $\geq 95\%$ 具有统计显著性的冷点、热点与土地利用变化图谱进行叠加,冷点范围内相关土地利用类型间的转移及其贡献度是造成生态服务价值损失的主要来源,热点范围内相关土地利用类型间的转移及其贡献度是造成生态服务价值增值的主要来源,其中 C、C' 为 2010—2015 年、2015—2020 年 ESV 损失冷点斑块编码,H、H' 为 2010—2015 年、2015—2020 年 ESV 增值热点斑块编码,通过编码为分类管控提供位置信息。

结合图 3A、表 6 可知,在 2010—2015 年,ESV 增值热点区域主要发生于城乡发展协调区北部、南部和田园绿洲保育区西南部,由未利用地转草地、建设用地转水域、未利用地转水域、耕地转水域引起,其中未利用地转草地的贡献率为 26%、建设用地转水域的贡献率为 24%、未利用地转水域的贡献率为 20%、耕地转水域的贡献率为 17%;ESV 损失冷点区域主要发生于天山生态涵养区北部、城乡发展协调区中部,由水域转未利用地、水域转建设用地、水域转耕地、园地转建设用地引起,其中水域转未利用地的贡献率为 40%、水域转建设用地的贡献率为 27%、水域转耕地的贡献率为 25%、园地转建设用地的贡献率为 8%。



注:“1”为“园地”、“2”为“草地”、“3”为“建设用地”、“4”为“未利用地”、“5”为“耕地”、“6”为“林地”、“7”为“水域”;“XY”为“X”地类向“Y”地类转移。

图 3 2010—2020 年阿温同城 ESV 剧烈变化区内土地利用转移图谱

在 2015—2020 年期间,天山生态涵养区中北部发生 ESV 增值现象,少量发生在城乡发展协调西北部和田园绿洲保育区南部,主要是未利用地转水域、草地转水域、未利用地转草地引起 ESV 增加,其中未利用地转水域的贡献率 61%、草地转水域的贡献率为 35%、未利用地转草地的贡献率为 2%;天山生态涵养区北部发生 ESV 减少现象,主要由水域转草地、水域转耕地、水域转未利用地引起,其中水域转草地的贡献率为 75%、水域转耕地的贡献率为 17%、水域转未利用地的贡献率为 5%。

由此可见,由于水域的生态服务价值高,水域与其他地类间转变是影响 ESV 增减变化的首要因素,草地与林地、未利用地与草地、园地与建设用地间的转换同样对 ESV 增减变化具有重要影响。

通过对 2010—2020 年阿温同城土地利用类型数量、空间变化对 ESV 的影响分析,可以得出:因全球气候变暖,部分冰川积雪消融覆盖荒草地、未利用形成地表水,河道径流量及水域面积的增加是天山生态涵养区 ESV 增加的主要原因。东部产业转移加速了阿温同城城镇化进程,以及农业空间的发展共同驱使

城乡发展协调区内未利用地、草地向园地、建设用地等地类转化,使得该区 ESV 增加。粮食安全、生态安全受到重视,国土绿化生态工程的开展以耕作面积的增长,同样促使田园绿洲保育区 ESV 的增加。

2.4 土地利用变化模拟与生态服务价值测算

以 2020 年为基期,迭代次数为 10,通过模拟运算生成 2030 年土地利用模拟图斑,并运用格网分析对此图斑进行 ESV 空间赋值与表达(图 4)。

土地利用类型上,2030 年草地面积持续减少至 6 347 km²,位于第一梯队(地类面积占全域国土面积比例 $\geq 30\%$);水域、耕地、园地、林地规模持续增多,位于第二梯队(地类面积占全域国土面积比例在 10%~30%);未利用地规模持续减少,建设用地增加但基数小,共同位处第三梯队(地类面积占全域国土面积比例 $\leq 10\%$)。

土地利用转移上,建设用地、园地、耕地增加,有 141.4 km² 园地、105.44 km² 耕地转为建设用地,445 km² 耕地、273 km² 林地、100 km² 草地转为园地,813 km² 草地、122 km² 水域转为耕地。未利用地进一步减少,324 km² 未利用转为草地。

生态服务价值上,北向高,南、西向低的总体空间格局没有变;其中 ESV 增值热点范围主要分布于城乡发展协调区西部及沿阿克苏河流域;ESV 损失冷点范围主要位于城乡发展协调区中部、田园绿洲保育区南部地区;城乡发展协调区中部大量园地、耕地转为建设用地导致 ESV 降低。

表 6 2010—2020 年阿温同城土地利用变化对 ESV 剧烈变化区的贡献程度

土地利用转移类型	2010—2015 年			2015—2020 年		
	斑块编码	ESV 变化量/亿元	贡献度/%	斑块编码	ESV 变化量/亿元	贡献度/%
76	—	—	—	C9'	−0.2399	3
75	C8—C11	−0.0401	25	C11'	−1.8427	17
74	C1—C7	−0.0639	40	C2',C5',C10'	−0.5165	5
73	C8—C9	−0.0435	27	—	—	—
72	—	—	—	C1'—C9'	−8.1298	75
13	C8—C10	−0.0126	8	—	—	—
17	H2—H6	0.1651	5	—	—	—
26	—	—	—	H5',H10',H12'—H13',H15',H18'	0.229	1
27	H6—H7	0.1053	3	H5',H9'—H18'	16.327	35
32	H1—H6,H8	0.0369	1	—	—	—
35	H1—H6,H8	0.0319	1	—	—	—
37	H1—H7	1.1699	24	—	—	—
42	H2—H8	1.2636	26	H1'—H2',H4',H9',H13'—H14'	0.668	1
45	H1,H3—H6	0.0265	1	—	—	—
47	H2,H5—H6	1.0037	20	H1'—H10',H13'—H14',H16'	29.0037	61
57	H1,H3—H6	0.8383	17	H13'—H14'	0.1086	1
67	H6	0.0405	2	H16'	0.0941	1

2020—2030 年,生态用地(水域、林地、草地)共计减少了 1 007 km²,生产用地(耕地、园地)共计增加了 1 370 km²,生活用地(建设用地)增加了 217 km²。全域 ESV 总值为 389.34 亿元,较 2020 年增加了 29.67 亿元,其中天山生态涵养区增加了 31.43 亿元、田园绿洲保育区减

少了 0.94 亿元、城乡发展协调区减少了 0.82 亿元。生态用地的减少以及生产、生活用地的增加,势必会带来以建设用地、耕地、园地、林草地为主的田园绿洲保育区、城乡发展协调区 ESV 值下降,生产生活活动持续高速发展易造成生态服务价值损失。

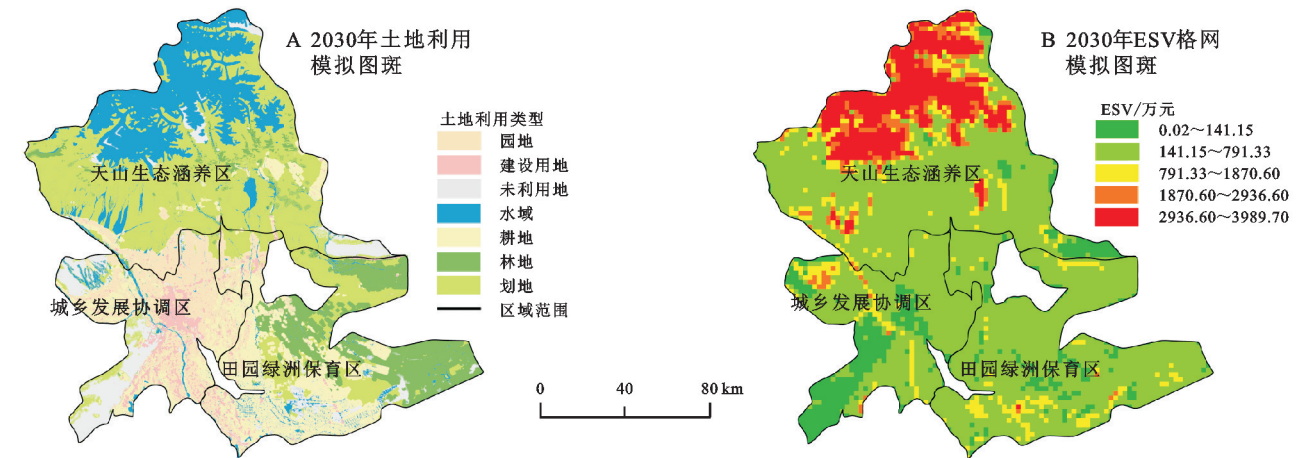


图 4 2030 年阿温同城地域土地利用变化模拟及 ESV 空间分布

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 以水资源为约束,谋求 ESV 良性增益 近 10 年间阿温同城大力推进水土保持、绿化造林工程,全域生态用地面积大量增加与生态服务价值总量大幅增加相契合。延续城乡发展势头,未来 10 年间建设

用地、园地、耕地的激增会对地区生态环境造成负面影响,与 2020—2030 年城乡发展协调区、田园绿洲保育区生态服务价值出现负增长相适应。ESV 大幅增加的同时用水压力逐年递增,阿温同城用水指标控制在(19~20)亿 m³ 左右,且有逐年下降的趋势,参照《2014 年新疆维吾尔自治区农业灌溉用水定额》及《城市居民生活水量标准》(GB/T50331-2002),确定耕地、园地、建

设用地等地类用水标准,把实际用水量与用水控制指标的比值算作用水压力系数 λ ,经计算得出 $\lambda_{2010}=0.35$, $\lambda_{2015}=0.33$, $\lambda_{2020}=1.01$, $\lambda_{2030}=1.83$),用水压力呈逐年递增趋势,自2020年起出现超载现象。阿温同城地处塔里木河重要源流区,以此下去势必会对塔河中下游水安全造成严重威胁,需调转发展势头,严格控制生产、生活用地增长,以水资源约束性为前提优化土地利用结构,坚决不突破用水总量控制红线,谋求良性的生态服务价值增益效果。

3.1.2 以斑块编码为定位标靶,实施分类管控 生态恢复类:荒漠化地区(土地转移代码为74)。该区主要指位于天山生态涵养(斑块编码为C1—C7,C2'、C5')内的冰川积雪转移为未利用地和城乡发展协调区阿克苏河(斑块编码为C10')内的水域转化为未利用地,是ESV变化中冷点,造成了ESV的损失,需在现状荒地基础上开展国土绿化工程,防止土地沙化蔓延。

严格保护类:(1)河流、湖泊和坑塘水面(土地转移代码为57,67,17,27,37,47)。该区主要指位于城乡发展协调区(斑块编码为H1—H5,H13'—H14')和田园绿洲保育区(斑块编码为H6—H7,H16'—H18')内阿克苏河流域、湖泊周围部分耕地、林地、草地转移为水域,以及天山生态涵养区(斑块编码为H1'—H10')内的未利用地转移为水域,是ESV变化中的热点,使得ESV有所增加。随着全球气温升高、蒸发量增加及水资源超采现象的发生,水域受到威胁,同时水域也是生态价值系数最高的地类,应对现状水域进行严格保护,预防水位下降。(2)林草用地(土地转移代码为32,42,26)。主要是指于城乡发展协调区(斑块编码为H1—H5,H8,H13')和田园绿洲保育区(斑块编码为H6—H7,H15'、H18')及天山生态涵养区(斑块编码为H12')内的农村建设用地、未利用转移为草地及草地转移为林地。草地、林地生态用地,在增加ESV的同时提升了区域防风固沙能力,应加以保护。

控制引导类:(1)城镇建设地区(土地转移代码为73,13)。该区主要位于城乡发展协调区(斑块编码C8—C10),2010—2020年阿温同城城镇化水平快速提升,工业园区及城镇建设占用城镇周边的农业、生态用地进行扩张,现状人均城镇建设用地在300 m³以上,存在一定数量的闲置用地及用地粗放布局的问题,在未来的规划当中应严格控制城镇建设用地外延,引导建设用地存量挖潜^[2],并结合城乡建设用地增加挂钩政策置换用地指标,走内涵集约发展的新路子。(2)农业发展地区(土地转移代码为75,35,45)。该区主要指位于城乡发展协调区(斑块编码为H1—H5,H8)和田园绿洲保育区(斑块编码为H6,C11')内的水域、建设用地、未利用地转移为耕地,应

引导该区内河道耕地、湖区耕地、沙荒耕地等不稳定耕地和污染耕地合理有序退减,对永久基本农田实行特殊保护,耕作条件良好的一般耕地进行严格保护,并立足于水资源总量控制,通过耕地规模与布局调整,提高耕地产量,落实我国粮食安全战略。

3.2 结论

(1)生活与生产用地持续增加,未利用地及生态用地中的草地骤减。2010—2030年,阿温同城园地增加了1 541 km²,林地增加了1 793 km²,草地减少了2 983 km²,未利用地减少了2 918 km²;各分区变化特征表现不一,天山生态涵养区水域、林草地增加,田园绿洲保育区耕地、林地增加,城乡发展协调区园地、建设用地增加,但各分区内草地、未利用地均有所减少。

(2)ESV总量增加,呈现“北高、南与西低”的分布特征。2010—2030年阿温全域ESV增加129.62亿元,其中水文调节是ESV的主体,主要供给源为林地、水域,但水资源供给是唯一出现价值损失的服务功能,损失源为园地、耕地。不同分区ESV的分布特点不同,天山生态涵养区ESV基数大、田园绿洲保育区与城乡发展协调区ESV基数小。

(3)水域是影响ESV增减变化的主要因素,建设用地、耕地、林地是影响ESV增减变化的重要因素。历年间的城乡发展与生态建设下,未利用地转草地、建设用地转水域、未利用地转水域、耕地转水域构成了ESV增值热点区主要土地利用成因;水域转未利用地、水域转建设用地、水域转耕地、园地转建设用地、水域转草地、水域转耕地、水域转未利用地构成了ESV损失冷点区主要土地利用成因。

(4)未来10年,城乡发展协调区及田园绿洲保育区ESV出现拐点。模拟结果显示阿温同城ESV总量虽增加29.67亿元,但城乡发展协调区和田园绿洲保育区两区ESV下降了1.76亿元,两区内生态用地减少、生产与生活用地增加,对区域生态系统造成严重影响,急需在水资源约束下,结合斑块编码实施分类管控,追求ESV的良性增益。

参考文献:

- [1] 魏慧,赵文武,张骁,等.基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价:以山东省德州市为例[J].生态学报,2017,37(11):3830-3839.
- [2] 郭椿阳,高尚,周伯燕,等.基于格网的伏牛山区土地利用变化对生态服务价值影响研究[J].生态学报,2019,39(10):3482-3493.
- [3] 廖开怀,符蓝, Werner B,等.边界融合理论视角下的同城化研究:以广佛为例[J].城市发展研究,2021,28(7):115-123.
- [4] 沈丽珍,陈少杰,汪侠.流动空间视角下的同城化地区发展阶段划分与特征[J].地理研究,2021,40(9):2558-2571.

- [5] 彭耕,熊琳,朱直君,等.新时期成都—资阳同城化空间发展规划探索[J].规划师,2021,37(11):63-68.
- [6] 李怡,郭力宇,温豪.陕西渭北旱塬区土地利用与生态系统服务价值变化:以陇县为例[J].水土保持研究,2019,26(1):368-373.
- [7] 张帅,汪洋,夏婷婷,等.塔里木河生态输水条件下土地利用/覆被变化对生态系统服务价值的影响[J].干旱区地理,2021,197(3):739-749.
- [8] 底玉洁.基于土地利用变化的武汉城市圈生态系统服务价值研究[D].武汉:华中科技大学,2016.
- [9] 姚小微,曾杰,李旺君.武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J].农业工程学报,2015,31(9):249-256.
- [10] 杨锁华.武汉城市圈生态系统服务价值时空分异影响机制研究[D].武汉:中国地质大学,2018.
- [11] 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.
- [12] Luo Q, Zhou J, Li Z, et al. Spatial differences of ecosystem services and their driving factors: a comparison analysis among three urban agglomerations in China's Yangtze River Economic Belt[J]. Science of the Total Environment, 2020,725:138452.
- [13] Chen W, Chi G, Li J. Ecosystem services and their driving forces in the Middle Reaches of the Yangtze River Urban Agglomerations, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020,17(10):3717.
- [14] 陈万旭,刘志玲,李江凤,等.长江中游城市群生态系统服务和城镇化之间的空间关系研究[J].生态学报,2020,40(15):5137-5150.
- [15] Li Z, Sun Z, Tian Y, et al. Impact of land use/cover change on Yangtze River Delta Urban Agglomeration ecosystem services value: temporal-spatial patterns and cold/hot spots ecosystem services value change brought by urbanization [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019,16(1):123.
- [16] Chen Y, Lu H, Li J, et al. Effects of land use cover change on carbon emissions and ecosystem services in Chengyu urban agglomeration, China [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2020,34(8):1197-1215.
- [17] Zhang Y, Zhao L, Liu J, et al. The impact of land cover change on ecosystem service values in urban agglomerations along the coast of the Bohai Rim, China [J]. Sustainability, 2015,7(8):10365-10387.
- [18] Liu M, Fan J, Wang Y, et al. Study on Ecosystem Service Value (ESV) Spatial Transfer in the Central Plains Urban Agglomeration in the Yellow River Basin, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021,18(18):9751.
- [19] Yang Y, Zhang H, Zhao X, et al. Effects of urbanization on ecosystem services in the Shandong Peninsula urban agglomeration, in China: The case of Weifang City[J]. Urban Science, 2021,5(3): DOI: org/10.3390/urbansci5030054
- [20] 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.
- [21] 闫焱.昆玉一体化区域生态系统服务价值研究[D].昆明:云南大学,2019.
- [22] Dai X, Wang L, Huang C, et al. Spatio-temporal variations of ecosystem services in the urban agglomerations in the middle reaches of the Yangtze River, China [J]. Ecological Indicators, 2020,115:106394.
- [23] Bindajam A A, Mallick J, Talukdar S, et al. Integration of artificial intelligence-based LULC mapping and prediction for estimating ecosystem services for urban sustainability: past to future perspective [J]. Arabian Journal of Geosciences, 2021,14(18):1-23.
- [24] 王波,杨太保.1980—2018年银川市生态系统服务价值评价及驱动力分析[J].干旱区地理,2021,196(2):552-564.
- [25] Guan D J, Gao W J, Watari K, et al. Land use change of Kitakyushu based on landscape ecology and Markov model[J]. Journal of Geographical Sciences, 2008,18(4):455-468.
- [26] 刘倩,李葛,张超,等.基于系数修正的青龙县生态系统服务价值动态变化研究[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(6):971-980.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 邵雪亚,刘勇,王三,等.快速城市化地区土地利用变化对生态服务价值的影响:以重庆市北碚区为例[J].西南师范大学学报:自然科学版,2011,36(6):80-85.
- [30] 冉圣宏,李秀彬,吕昌河.近20年渔子溪流域土地利用变化的环境影响[J].环境科学学报,2006,26(12):2058-2064.
- [31] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,387(6630):253-260.
- [32] 封建民,郭玲霞,李晓华.汉中市土地利用时空变化及其对生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2020,27(1):275-282.
- [33] 毋兆鹏,张金燕,王娟娟,等.精河流域绿洲土地利用及生态系统服务价值时空变化研究[J].生态与农村环境学报,2021,37(9):1168-1175.
- [34] 李冬花,张晓瑶,王咏,等.新安江流域生态系统服务演化过程及权衡协同关系[J].生态学报,2021,41(17):6981-6993.