

# 武汉市土地利用变化及对生态系统服务价值的影响

刘凤莲<sup>1,2</sup>, 杨人懿<sup>1,2</sup>

(1.云南财经大学 国土资源与持续发展研究所, 昆明 650221; 2.云南财经大学 精准扶贫与发展研究院, 昆明 650221)

**摘 要:**为分析武汉市土地利用变化及对生态系统服务价值(ESV)的影响,利用 1990—2015 年遥感影像数据,通过土地利用动态度、土地利用转移矩阵、生态系统服务价值和生态贡献率等方法,揭示了武汉市土地利用变化规律及对 ESV 的影响。结果表明:(1) 武汉市土地利用结构变化显著,耕地、林地和未利用地减少,建设用地和水域增加。土地利用的转移主要发生在耕地向建设用地的转移。(2) 研究期内武汉市土地利用综合动态度远超同时期全国水平,建设用地的动态度远高于其他用地类型,城市化建设处于增速。(3) 武汉市 ESV 总量增加,水域和草地的 ESV 增加,耕地、林地和未利用地的 ESV 减少。研究期内各项 ESV,以水文调节和水资源供给为主,单项 ESV 变化最大的是水文调节。(4) 水域、耕地和林地对 ESV 变化的生态贡献率较大,三者生态贡献率之和在 98%以上,是生态服务的主要贡献者,也是 ESV 变化的敏感因子。

**关键词:**城市化; 土地利用; 时空变化; 生态系统服务价值; 武汉市

**中图分类号:**F301.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2021)03-0177-07

## Evolution of Land Use Patterns in National Central Cities and Its Impact on Ecosystem Service Values: A Case Study of Wuhan City

LIU Fenglian<sup>1,2</sup>, YANG Renyi<sup>1,2</sup>

(1.*Institute of Land Resources and Sustainable Development, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China*; 2.*Institute of Targeted Poverty Alleviation and Development, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China*)

**Abstract:** In order to analyze land use change and its impact on ecosystem service value (ESV) in Wuhan, remote sensing images from 1990 to 2015 were used to reveal land use change patterns and their influence on ESV through the methods of land use dynamic attitude, land use transfer matrix, ecosystem service value and ecological contribution rate. The results showed that the land use structure of Wuhan had changed significantly, the cultivated land, forest land and unused land had decreased, and the construction land and water area had increased; the major land use shifts in Wuhan occurred from arable land to construction land; the comprehensive dynamic attitude of land use in Wuhan was far higher than that of the whole country, the dynamic attitude of construction land was much higher than those of other land types, and the urbanization construction was on the increasing speed; total ESV in Wuhan increased, and ESVs of water area and grassland increased, while ESVs of cultivated land, forestland and unused land decreased; the value of ecosystem service was dominated by hydrological regulation and water supply, and the biggest change of single ESV was hydrological regulation; the total ecological contribution rate of water area, cultivated land and forest land to ESV was greater than 98%, which was the main contributor of ESV and the sensitive factor on ESV change.

**Keywords:** urbanization; land use; spatiotemporal variation; ESV; Wuhan City

土地利用变化是全球变化研究的热点问题<sup>[1]</sup>,土地利用变化直接影响着全球环境和气候变化<sup>[2-3]</sup>。土地利用变化影响生态系统的结构、格局及功能<sup>[4]</sup>,是

影响生态系统服务功能变化的重要因素<sup>[5-6]</sup>。生态系统服务功能是评估区域可持续发展情形的重要视角<sup>[6-7]</sup>,生态系统服务功能(ecosystem service values,

收稿日期:2020-06-28

修回日期:2020-07-15

资助项目:国家自然科学基金重点项目(41931293);云南财经大学科学研究资助项目(2019B01)

第一作者:刘凤莲(1981—),女,山东临清人,博士,硕士生导师,研究方向为土地利用与精准扶贫。E-mail:305711428@qq.com

ESV)衰退和丧失也会大大影响土地利用系统的结构和效率,影响人类的可持续发展<sup>[8]</sup>。研究土地利用变化对生态系统服务价值的影响,对于剖析区域生态环境状况变化,提高地区土地利用水平具有重要的现实意义<sup>[9]</sup>。近年来遥感技术(Remote Sensing, RS)和地理信息系统(Geographical Information System, GIS)技术的快速发展,RS 和 GIS 技术在土地利用变化研究中的应用也逐渐增多<sup>[10-11]</sup>,应用 RS 和 GIS 技术研究区域土地利用变化,并进一步估算生态系统服务价值的变化,可为区域科学制定环境保护法规和生态补偿方案以及区域的可持续发展提供决策参考<sup>[12]</sup>。

1997 年 Costanza 等提出了各类生态系统服务价值系数,定量研究了生态系统服务价值,奠定了 ESV 研究基础<sup>[7]</sup>。谢高地等展开了进一步研究,估算了我国生态系统服务价值<sup>[13-15]</sup>。国内其他学者选择了典型区域研究了土地利用结构和格局变化对生态系统服务价值的影响<sup>[6,11,16-18]</sup>。生态系统服务价值估算方法主要有两种,功能价值法和当量因子法<sup>[19]</sup>。功能价值法计算复杂,有大量计算参数,且受主观因素影响较大,而当量因子法由于具有操作简单,综合评价,适应性强的优点,被普遍采用<sup>[20]</sup>。

武汉市地处长江中游,江汉平原东部,是我国中部地区的国家中心城市,无论在自然地理位置,还是在经济地理圈层,武汉市都处于优越的中心位置,区位优势 and 交通优势显著,有“中国经济地理中心”之称。近年来,武汉市经济飞速发展,加之武汉市是两型社会建设的核心城市,拥有得天独厚的资源条件,是一座极具特色的滨江、滨湖城市。在经济飞速发展的同时,武汉市土地利用格局也发生了巨大改变,也必然会带动生态服务功能的变化。在前人研究的基础上,本研究选取武汉市近 25 a 来的六期遥感影像,综合利用 RS 和 GIS 技术,运用遥感数据解译、空间数据处理、海量数据建库、集成分析等方法<sup>[21-22]</sup>,对武汉市近 25 a 来的土地利用变化的时空演变特征进行监测分析,并根据当地实际情况修正各生态系统服务价值当量,研究区域生态系统服务价值变化,为区域国土资源优化配置和生态文明建设提供决策参考。

## 1 研究区概况

武汉市地处长江中游,江汉平原东部,包括江岸区、江汉区、硚口区、汉阳区、武昌区、洪山区、青山区 7 个中心城区和东西湖区、蔡甸区、江夏区、黄陂区、新洲区、汉南区 6 个新城,地理位置介于 113°41′—115°05′E, 29°58′—31°22′N,土地总面积 8 549.09 km<sup>2</sup>。武汉市中部平整,北面丘陵林立,南面多岗地,境内水网

密集,水资源丰富,水域面积约占全市面积的 1/4,拥有优越的自然条件。气候属亚热带季风性湿润气候,雨量充沛、日照充足、四季分明,夏季湿热,冬季凉爽湿润,夏季长达 135 d,初夏梅雨季节雨量较集中。2018 年末常住人口 1 108.1 万人,城镇人口 889.69 万人,城镇化率达到 80.29%,地区生产总值为 14 847.29 亿元,近年来武汉市经济快速发展,土地利用也发生了很大变化。一方面建设用地快速扩张,为经济发展提供了有利支撑,另一方面也出现了一些不容忽视的环境问题,如土地利用综合效益偏低<sup>[23-24]</sup>,生态环境下降<sup>[25-27]</sup>,土地资源供需失衡等<sup>[28-29]</sup>。因此,提高土地集约利用水平,调整土地利用结构,优化土地利用布局,成为武汉市亟待解决的问题。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与处理

本研究选取武汉市 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年的六期 Landsat TM/OLI 卫星影像为数据源,影像从美国地质调查局(USGS)网站(<https://www.usgs.gov/>)和地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>)获取,空间分辨率 30 m,影像云量小于 3%,便于解译。覆盖武汉市的每期遥感影像均采用 3 景遥感影像镶嵌而成,3 景影像的轨道号分别为 123—038,123—039,122—039。借助 ENVI5.3,以研究区 1:10 000 地形图为准并结合 GPS 野外调查控制点对六期遥感影像进行多波段融合、几何校正、影像镶嵌和裁减等预处理工作。本文采用 432 的波段组合为标准假彩色图像,在这种组合中,所有的植被都显示为红色,在植被、农作物、土地利用和湿地分析的遥感方面,这是最常用的波段组合。

利用 ENVI5.3 和 ArcGIS 10.5 软件,结合研究实际需求,首先建立土地利用信息提取标志(表 1),在整个研究区均匀选取训练样本,并对训练样本进行评价,然后选取“支持向量机”(Support Vector Machine Classification, SVM)的分类器进行监督分类,最后对分类结果进行精度评价。各期遥感影像的总分类精度分别为 88.24%,87.56%,89.73%,85.48%,84.18%,88.52%,Kappa 系数分别为 0.83,0.82,0.86,0.84,0.79,0.85,满足研究精度要求。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 土地利用变化分析

(1) 净变化量是表征土地利用变化幅度的指标,用来计算某种地类在研究期内的变化量。其计算公式为:

$$C_i = U_{ib} - U_{ia}$$

式中: $C_i$ 为研究期内第  $i$  种地类的净变化量; $U_{ia}$ 和

$U_{ib}$  分别为研究期初和研究期末第  $i$  种地类的面积。

表 1 研究区假彩色影像土地利用信息提取标志

类型	定义	影像特征	影像示例(TM432)
耕地	耕地类中包含水田、旱地,主要作物有水稻、油菜、甘蔗等	几何特征明显,田块呈面状条带分布,排列较整齐,边界明显;多呈粉红色、深青色或者暗红色;影像结构均匀	
林地	林地类包含有林地、灌木林地、疏林地、其他林地等	受地形、高程控制,在人类活动弱的地区多成片出现,边界影像较圆滑、形状较不规则;多呈深红、暗红色;覆盖度高处结构细腻,低处结构粗糙	
草地	草地类包含高覆盖度草地、中覆盖度草地和低覆盖度草地	形状受地形和人类活动影响,形状不规则,边界清晰;枯萎期草地呈现黄褐色或浅黄色,茂盛期呈红色;影像结构较均一	
建设用地	建设用地包含城镇建筑物、街道、农村居民地等人类活动场所	几何特征明显、边界清晰;灰色或白色,色调较杂乱;影像结构粗糙	
水域	水域包括河流、湖泊等	青蓝色或者深青色;多呈流线型;结构均一;纹理细腻	
未利用地	未利用地包括滩涂、裸地、沙地等	裸地多成灰白色,结构粗糙,多棱角;沙地多为浅灰,波状纹理,零星植被	

(2) 土地利用动态度是研究土地利用变化的经典范式,其表征的是研究区内特定时间段内不同地类的变化速率。其计算公式为:

$$D_i = \frac{|C_i|}{U_{ia}} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中: $D_i$  为第  $i$  种地类的土地利用动态度; $C_i$  为研究期内第  $i$  种地类的净变化量; $U_{ia}$  为研究期初第  $i$  种地类的面积; $T$  为研究时长。综合土地利用动态度为各种地类  $D_i$  之和。

(3) 土地利用转移矩阵是研究不同土地利用类型转移方向和数量变化的经典方法,可以直观展现各地类格局的演化过程。其数学表达式为:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nm} \end{bmatrix}$$

式中: $A_{ij}$  为研究期初为第  $i$  种土地利用类型在研究期末转换成第  $j$  种土地利用类型的土地面积; $i(i=1,2,\cdots,n),j(j=1,2,\cdots,n)$  分别表示研究期初和研究期末的地类; $n$  代表土地利用类型数。

2.2.2 生态系统服务价值

(1) 生态系统服务价值评估。参照 Costanza<sup>[30]</sup> 和谢高地等<sup>[31]</sup> 提出的生态系统服务价值系数,结合谢高地<sup>[13]</sup> 2015 年对中国陆地生态系统服务当量因子的改进,为研究区各土地利用类型各项生态系统服务价值当量赋值(表 2),建设用地的价值当量为 0,并通过以下公式计算武汉市生态系统服务价值。

$$ESV = \sum_{i=1}^n VC_i \times A_i$$

$$ESV_f = \sum_{i=1}^n VC_{fi} \times A_i$$

$$VC_i = \sum_{f=1}^k EC_f \times E_a$$

式中:ESV 是研究区生态系统服务价值; $VC_i$  是第  $i$  种地类的单位面积生态系统服务价值; $A_i$  是第  $i$  种地类的面积; $i$  为土地利用类型;ESV<sub>*f*</sub> 是第  $f$  项生态系统服务价值; $VC_{fi}$  是第  $i$  种地类的单位面积的第  $f$  项生态系统服务价值; $f$  为生态系统服务价值的项数; $EC_f$  是某种地类第  $f$  项生态系统服务的价值当量; $E_a$  为 1 个标准当量生态系统服务价值。谢高地等<sup>[13-14]</sup> 确定的中国 1 个陆地生态系统价值当量的经济价值为 3 406.50 元/hm<sup>2</sup>,本文选取研究区 2015 年单位面积粮食产量和当年全国单位面积粮食产量的比值作为修正系数,计算出研究区生态系统服务经济价值当量因子为 3 613.36 元/hm<sup>2</sup>。

表 2 武汉市单位面积生态服务价值当量

一级类型	二级类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
供给服务	食物生产	1.36	0.29	0.30	0.8	0	0.01
	原料生产	0.09	0.66	0.45	0.23	0	0.03
	水资源供给	2.63	0.34	0.25	8.29	0	0.02
	气体调节	1.11	2.17	1.56	0.77	0	0.11
调节服务	气候调节	0.57	6.50	4.12	2.29	0	0.10
	净化环境	0.17	1.93	1.36	5.55	0	0.31
	水文调节	2.72	4.74	3.01	102.24	0	0.21
	土壤保持	0.01	2.65	1.90	0.93	0	0.13
支持服务	维持养分循环	0.19	0.20	0.15	0.07	0	0.01
	生物多样性	0.21	2.41	1.73	2.55	0	0.12
文化服务	美学景观	0.09	1.06	0.76	1.89	0	0.05

注:研究区农田多为水田,耕地取水田值,谢高地视水田为耗水类型, Costanza 则视水田为供水类型,顾及到武汉市降雨充沛,水田蓄水能力大于消耗,本研究将水田当作供水类型,耕地的水资源供给当量因子采用正值;林地多为落叶阔叶林和常绿阔叶林,林地取阔叶林值;草地取灌草丛和草甸的平均值。本文仅考虑自然生态系统服务价值,故不将建设用地纳入其中。

(2) 生态贡献率。生态贡献率是研究周期内不同地类的生态系统服务价值变化量占整个研究区总生态服务价值变化量的比例,能够揭示影响研究区生态服务价值变化的主要贡献因子和敏感因素。其数学表达式为:

$$S_i = \frac{|\Delta \text{ESV}_i|}{\sum_{i=1}^6 |\Delta \text{ESV}_i|}$$

式中: $S_i$ 为第*i*类土地利用类型在研究期内的生态服务贡献率; $\Delta \text{ESV}_i$ 是第*i*类土地利用类型在研究期内的生态服务价值变化量;*i*为土地利用类型。

3 结果与分析

3.1 武汉市土地利用时空变化

3.1.1 土地利用结构变化 根据遥感解译分类结果(附图 1)可以看出,武汉市主要地类为耕地,占土地总面积的一半以上,主要分布在在建设用地的外围,在远城区连绵成片,随着建设用地的扩张,耕地分布趋于破碎;其次为水域,占总面积的 1/5 左右,以长江和汉水以及汤逊湖、东湖和严西湖等数百个湖泊为主;林地占 9% 以上,主要分布在黄陂区和新洲区;建设用地占 6% 以上,主要分布在长江两侧的滨水平原;其他土地利用类型占比较少。

近 25 a 间,武汉市面积缩减的地类包括耕地、林地和未利用地,其中耕地减少最多,净减少量为 811.02 km<sup>2</sup>,林地和未利用地分别减少了 22.12,22.93 km<sup>2</sup>。建设用地净增加量最大,净增加量为 720.08 km<sup>2</sup>,建设用地比例由 6.45% 上升到 14.87%,其次为水域,增加了 138.41 km<sup>2</sup>。分阶段来看,2005—2010 年建设用地、耕地、水域、林地的净变化量均比其他时段大,显示武汉市在这个时段土地利用发生剧烈变化。从具体地类来看,林地 1995—2000 年增加,其他时段减少,这和武汉市 1998 年洪灾之后政府全面实施封山育林、退耕还林有关。

研究期内武汉市各地类具有明显的时间变化特征(图 1)。具体表现为:耕地面积大幅度缩减,尤其是 2005—2010 年耕地面积急剧减少,净减少量为 347.66 km<sup>2</sup>,是整个研究周期减少速率最快的时段;建设用地面积不断扩大,且增长速度越来越快,研究期内净增加量为 720.08 km<sup>2</sup>,建设用地的增加量和耕地的减少量基本相当;林地面积总体上呈减少趋势,但是 2010—2015 年变化趋于平缓;未利用地和草地变化率较大,但面积的绝对变化量较小;水域面积有所增加。

利用 ArcGIS 的空间分析功能对两个不同年份的土地利用数据叠加分析,得到土地利用转移矩阵(表 4)。

表 3 1990—2015 年武汉市土地利用变化

类型 年份	耕地		林地		草地		水域		建设用地		未利用地	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
1990	5359.08	62.69	805.07	9.42	73.78	0.86	1669.19	19.52	551.06	6.45	90.91	1.06
1995	5255.11	61.47	798.64	9.34	74.41	0.87	1704.74	19.94	617.02	7.22	99.17	1.16
2000	5209.46	60.94	801.22	9.37	73.21	0.86	1727.84	20.21	657.85	7.69	79.51	0.93
2005	5089.10	59.53	796.21	9.31	74.51	0.87	1732.71	20.27	779.73	9.12	76.83	0.90
2010	4741.44	55.46	783.03	9.16	77.26	0.90	1831.61	21.42	1048.29	12.26	67.46	0.79
2015	4548.06	53.20	782.95	9.16	78.36	0.92	1807.61	21.14	1271.14	14.87	60.98	0.71
1990—1995	−103.97	−1.22	−6.43	−0.08	0.63	0.01	35.55	0.42	65.96	0.77	8.26	0.10
1995—2000	−45.65	−0.53	2.58	0.03	−1.20	−0.01	23.10	0.27	40.83	0.48	−19.65	−0.23
2000—2005	−120.36	−1.41	−5.01	−0.06	1.30	0.02	4.87	0.06	121.88	1.43	−2.69	−0.03
2005—2010	−347.66	−4.07	−13.18	−0.15	2.75	0.03	98.90	1.16	268.56	3.14	−9.37	−0.11
2010—2015	−193.38	−2.26	−0.08	0.00	1.10	0.01	−24.01	−0.28	222.85	2.61	−6.48	−0.08
1990—2015	−811.02	−9.49	−22.12	−0.26	4.58	0.05	138.41	1.62	720.08	8.42	−29.93	−0.35

表 4 1990—2015 年武汉市土地利用转移矩阵

地类	2015 年						
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	总流失量
1990 年	耕地	—	154.84	26.74	477.26	730.71	1413.09
	林地	150.33	—	9.77	26.45	47.07	234.89
	草地	11.83	8.74	—	15.96	0.60	51.30
	水域	303.09	27.01	12.06	—	131.63	492.92
	建设用地	217.12	19.08	5.05	50.30	—	293.80
	未利用地	17.53	1.27	0.92	39.74	8.84	68.30
	总增加量	699.90	210.94	54.54	609.71	932.41	2554.29



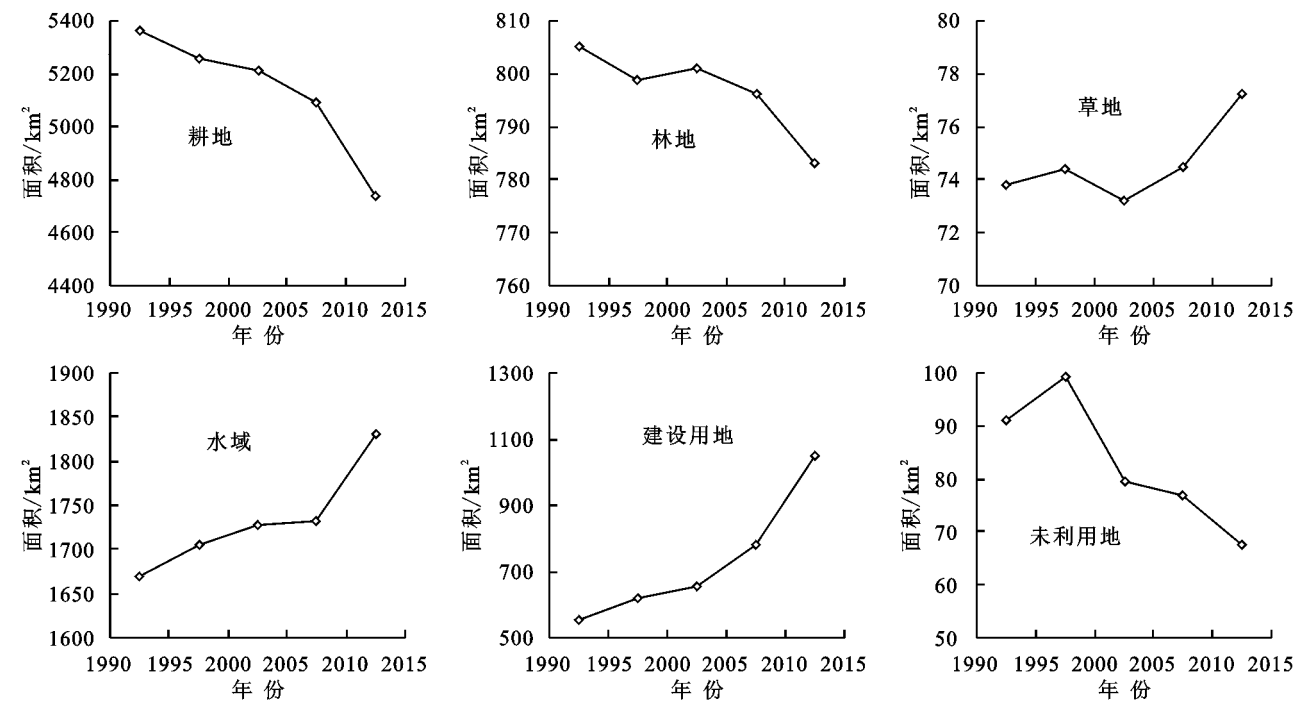


图 1 1990—2015 年武汉市各类土地利用面积变化

分析可知,武汉市土地利用的主要转移发生在耕地向建设用地的转移。具体来看,耕地总转化量(1 413.09 km<sup>2</sup>)的一半(730.71 km<sup>2</sup>))转化为建设用地,这主要发生在城市边缘区以及原有的农村居民点附近,建设用地扩张大量侵占耕地;其次耕地的重要流向为水域(477.26 km<sup>2</sup>, 33.77%),这主要发生在湖泊周围,得益于武汉市大力推行退耕还湖政策;耕地向林地转移了 154.84 km<sup>2</sup>,约占耕地总转移量的 10.96%,主要发生在山丘与平原的交错地带。水域的总转移量里也有相当大的部分转化为耕地(303.09 km<sup>2</sup>, 61.49%)和建设用地(131.63 km<sup>2</sup>, 26.7%)。耕地和水域的双向转移主要发生在坑塘和湖泊周围。这表明武汉市的城市建设由于山水相间的自然地形格局的约束,城市建设用地扩张主要通过占用耕地和填埋水域来完成。

3.1.2 土地利用动态度 土地利用动态度表征地类变化速度的快慢,代表着某个时期内人类活动对土地利用覆被变化影响的大小。根据武汉市土地利用数

据,计算土地利用动态度(表 5)。参考全国和武汉市的土地利用变化数据,可以看出如下特点:(1) 从总体情况来看,武汉市 1990—2015 年土地利用综合动态度为 8.84%,为同时期全国水平(1.90%)的 4 倍多,说明武汉市作为中国中部地区最大都市,社会经济快速发展引起的土地利用覆被变化活跃程度和变化速度远超过全国平均水平。(2) 从各种土地利用类型来看,建设用地的动态度远高于其他用地类型,为 5.23%,排在第二位的未利用地为 2.04%,耕地的动态度是 0.61%,说明近 25 a 间,武汉市城市化建设活动处于活跃期。(3) 从分阶段来看,武汉市 2005—2010 年土地利用动态度最高(12.91%),是研究期内的低值(1990—1995 年,5.35%)的 2 倍多。(4) 分阶段分地类的动态度分析结果显示,研究期内武汉市的城市建设活动处于增速,尤其是 2005—2010 年,城市建设处于急剧加速时期。从城镇化率来看,2015 年末武汉市城镇化率为 79.77%,远高于同期全国城镇化率水平 56.1%,表明武汉市城市化发展迅速。

表 5 1990—2015 年武汉市土地利用动态度 %

类型	1990—1995 年	1995—2000 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年	1990—2015 年
耕地	0.39	0.17	0.46	1.37	0.82	0.61
林地	0.16	0.06	0.12	0.33	0.00	0.14
草地	0.17	0.32	0.35	0.74	0.28	0.38
水域	0.43	0.27	0.06	1.14	0.26	0.45
建设用地	2.39	1.32	3.71	6.89	4.25	5.23
未利用地	1.82	3.96	0.68	2.44	1.92	2.04
合计	5.35	6.12	5.38	12.91	7.53	8.84

3.2 武汉市生态系统服务价值变化

3.2.1 生态系统服务价值变化 近 25 a 来,武汉市生态系统服务价值有所增加,从 1990 年的 1 006.00 亿元增加到 2015 年的 1 040.32 亿元,增加了 3.41%(表 6)。水域是武汉市生态系统服务价值构成的主体,占了全市 ESV 的 3/4 以上,其次为耕地和林地。总体上来看,水域和草地的 ESV 有所增加,耕地、林地和未利用地的 ESV 减少,这和各土地利用类型面积的变化是一致的。从近 25 a 间武汉市各地类生态系统服务价值的变化可以看出,耕地面积减少引起的耕地生态系统服务价值减少是武汉市生态系统服务价值减少的主要原因,水域面积增加引起的水域生态系统服务价值增加是武汉市生态系统服务价值增加的主要原因,耕地和水域不仅是武汉市土地利用构成的主要部分,也是影响武汉市生态系统服务价值变化的重要原因。

武汉市各类生态系统服务价值中(表 7),以水文调节和水资源供给为主,其次为气候调节和净化环境等。近 25 a 间,单项 ESV 变化最大的是水文调节,增加 42.81 亿元,增长了 6.26%;其次是供给服务中的食物生产,减少 3.60 亿元,变化率达到了-11.24%;水资源供给减少 3.59 亿元,变化率为-3.52%;调节服务中的气体调节减少 3.03 亿元,变化率为-9.20%;净化环境功能增加 2.11 亿元,变化率为 4.93%。水域的 ESV 系数中水文调节、水资源供给和净化环境等系数较大,水域面积在研究期内增加,直接影响了研究区总体生态系统服务价值的增加;耕地的各项 ESV

系数中水文调节、水资源供给、食物生产和气体调节等系数较大,耕地面积在研究期内的大量减少,是研究区生态系统服务价值减少的重要原因。由于武汉市对水域的良好保护,使得水域面积不减反增,这对于武汉市维持生态系统服务价值稳定起到了积极的正向作用。

表 6 1990—2015 年武汉市各地类生态系统服务价值							
生态系统类型		耕地	林地	草地	水域	未利用地	合计
1990 年	价值量/亿元	177.12	66.76	4.16	757.60	0.36	1006.00
	贡献率/%	17.61	6.64	0.41	75.31	0.04	100.00
1995 年	价值量/亿元	173.68	66.23	4.19	773.74	0.39	1018.23
	贡献率/%	17.06	6.50	0.41	75.99	0.04	100.00
2000 年	价值量/亿元	172.18	66.44	4.12	784.22	0.32	1027.28
	贡献率/%	16.76	6.47	0.40	76.34	0.03	100.00
2005 年	价值量/亿元	168.20	66.03	4.20	786.43	0.31	1025.17
	贡献率/%	16.41	6.44	0.41	76.71	0.03	100.00
2010 年	价值量/亿元	156.70	64.93	4.35	831.32	0.27	1057.57
	贡献率/%	14.82	6.14	0.41	78.61	0.03	100.00
2015 年	价值量/亿元	150.31	64.93	4.41	820.43	0.24	1040.32
	贡献率/%	14.45	6.24	0.42	78.86	0.02	100.00
ESV 变化量/亿元		-26.81	-1.83	0.25	62.83	-0.12	34.32
ESV 变化率/%		-15.14	-2.74	6.01	8.29	-33.33	3.41

水域、耕地和林地是武汉市生态系统服务价值的最重要的组成部分,未来的城市建设工作,应重点加强水域、林地和耕地等生态用地的保护,加快推进区域生态保护红线划定工作,重视城市的合理开发和有序建设,盘活城市的存量用地,避免“摊大饼”式的过度膨胀导致的生态系统失衡甚至崩溃。

表 7 1990—2015 年武汉市土地生态系统单项服务价值

一级服务功能	二级服务功能	生态系统服务价值/亿元						ESV	ESV
		1990 年	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	变化量	变化率/%
供给服务	食物生产	32.08	31.66	31.51	30.93	29.49	28.47	-3.60	-11.24
	原料生产	5.18	5.16	5.17	5.12	5.06	4.98	-0.20	-3.81
	水资源供给	101.97	102.04	102.30	101.30	100.94	98.39	-3.59	-3.52
调节服务	气体调节	32.90	32.53	32.42	31.92	30.71	29.87	-3.03	-9.20
	气候调节	44.89	44.83	44.96	44.65	44.48	43.90	-0.99	-2.20
	净化环境	42.84	43.46	43.89	43.88	45.56	44.96	2.11	4.93
	水文调节	683.96	695.98	704.08	704.62	737.54	726.77	42.81	6.26
支持服务	土壤保持	14.06	14.12	14.21	14.18	14.39	14.30	0.24	1.72
	维持养分循环	4.73	4.66	4.63	4.55	4.33	4.19	-0.54	-11.35
	生物多样性	26.96	27.16	27.34	27.26	27.80	27.44	0.48	1.79
文化服务	美学景观	16.44	16.63	16.78	16.76	17.27	17.05	0.60	3.67

3.2.2 各地类对生态系统服务价值变化的生态贡献率 从整体上看,在近 25 a 的研究期内,水域对生态系统服务价值变化的贡献率最多,其生态贡献率为 68.41%;耕地次之,耕地的生态贡献率为 29.19%;林地的生态贡献率为 1.99%,草地(0.27%)和未利用地(0.13%)较小。分阶段来看,在 2000—2005 年耕地

的生态贡献率最高,达到了 59.49%,这个时间段也是林地在整个研究周期生态贡献率最高的阶段,林地的生态贡献率为 6.13%。由于水域和耕地在地类转移里双向流动较多,所以水域和耕地的生态系统服务价值变化较大,其生态贡献率变化也较大,最大变化分别是 44.49%,47.33%。水域、耕地和林地三者生态贡献率之

和在 98%以上,水域、耕地和林地的生态系统服务价值变化量对研究区总生态系统服务价值量变化影响较大,因此是主要贡献因子和敏感因子(表 8)。

表 8 1990—2015 年武汉市各地类对 ESV 变化的生态贡献率

时间段	水域	耕地	林地	草地	未利用地
1990—1995	80.02	17.06	2.63	0.15	0.15
1995—2000	85.00	12.17	1.70	0.57	0.57
2000—2005	33.03	59.49	6.13	1.20	0.15
2005—2010	77.83	19.94	1.91	0.26	0.07
2010—2015	62.69	36.79	0.00	0.35	0.17
1990—2015	68.41	29.19	1.99	0.27	0.13

4 结论

(1) 1990—2015 年,耕地和水域是研究区主体土地利用类型,土地利用结构发生了显著的变化,建设用地大量增加,增加量为 720.08 km<sup>2</sup>;耕地显著减少,减少量为 811.02 km<sup>2</sup>;水域增加了 138.41 km<sup>2</sup>,林地和未利用地变化不大。土地利用转移主要发生在耕地向建设用地的转移,建设用地扩张主要通过占用耕地和填埋水域来实现。

(2) 1990—2015 年,研究区土地利用综合动态度是同时期全国水平的 4 倍多,土地利用覆被变化活跃程度和变化速度远超全国平均水平。建设用地的动态度为 5.23%,远超其他地类,城市建设活跃。尤其是 2005—2010 年,土地利用动态度最高,土地利用变化加快,2010—2015 年土地利用动态度变缓,土地利用趋于稳定。

(3) 1990—2015 年,研究区生态系统服务价值呈增加趋势,增加了 34.32 亿元,3.41%。其中水域、耕地和林地是武汉市生态系统服务价值构成的主体。单项生态服务价值以水文调节和水资源供给为主,其次是气候调节和净化环境,单项 ESV 变化最大的是水文调节,增加 42.81 亿元,增长了 6.26%。武汉市水域面积在研究期内增加,使得水文调节和水资源供给等单项生态系统服务价值增加,这也是研究区总生态系统服务价值增加的主要原因。

(4) 1990—2015 年,水域对 ESV 变化的贡献率最大,其生态贡献率为 68.41%,耕地以 29.19%的生态贡献率居第二位,第三是林地。水域、耕地和林地的生态贡献率之和超过了 98%,是 ESV 变化的主要贡献因子和敏感因子。

研究期内武汉市建设用地大量增加,耕地大量减少,土地利用发生变化活跃。将来的土地利用规划中,应重点加强水域、林地和耕地等生态用地的保护,注重土地利用空间格局的优化调控,及时划定生态保护红线,保证生态

用地维持在一定数量。区域协调快速城市化发展和生态环境的可持续发展,是未来值得重视的问题。

参考文献:

[1] Li X B. A review of the international researches on land use/land cover change [J]. Acta Geographica Sinica, 1996,63(6):553-558.

[2] Sterling S M, Ducharne A, Polcher J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle [J]. Nature Climate Change, 2012,3(4):385-390.

[3] Mooney H A, Duraipappah A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013,110(1):3665-3672.

[4] Daily G C. Nature's services[M]. Washington, DC: Island Press, 1997.

[5] 邓楚雄,钟小龙,谢炳庚,等.洞庭湖区土地生态系统的服务价值时空变化[J].地理研究,2019,38(4):844-855.

[6] 张天海,田野,徐舒,等.滨海城市土地利用格局演变及对生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2018,38(21):7572-7581.

[7] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998,25(1):3-15.

[8] Gascoigne W R, Hoag D, Koontz L, et al. Valuing ecosystem and economic services across land-use scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA[J]. Ecological Economics, 2011,70(10):1715-1725.

[9] 阳文锐.北京城市景观格局时空变化及驱动力[J].生态学报,2015,35(13):4357-4366.

[10] 吴海珍,阿如早,郭田保,等.基于 RS 和 GIS 的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J].地理科学,2011,31(1):110-116.

[11] 史慧慧,程久苗,费罗成,等.1990—2015 年长三角城市群土地利用转型与生态系统服务功能变化[J].水土保持研究,2019,26(1):301-307.

[12] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等.1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J].地理学报,2014,69(1):54-63.

[13] 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.

[14] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746.

[15] 谢高地,张钰铨,鲁春霞,等.中国自然草地生态系统服务价值[J].自然资源学报,2001,16(1):47-53.

[16] 雷金睿,陈宗铸,陈小华,等.1980—2018 年海南岛土地利用与生态系统服务价值时空动态变化[J].生态学报,2020,40(14):1-14.