doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2025.09.042

邯郸市土地覆盖及生态系统服务价值分析

尚　明[1,2]　姚亚楠[1]　顾鹏程[3]　李　倩[2]　白　磊[4]　徐　桥[5]　石语琳[1]

(1.河北工程大学地球科学与工程学院,邯郸 056038;
2.中国科学院新疆生态与地理研究所新疆干旱区水循环与水利用重点实验室,乌鲁木齐 830011;
3.中国国土勘测规划院,北京 100871;4.海南大学生态学院,海口 570228;
5.湖北君邦环境技术有限责任公司,武汉 430035)

摘要:针对土地覆盖变化对生态系统服务价值的影响,以邯郸市为例,采用面向对象的分类方法获得土地覆盖数据,应用动态度和土地转移矩阵分析其变化。选择当量因子法得到生态系统服务价值,使用 Moran's I(莫兰指数)对其空间自相关进行分析,并利用改进的弹性分析探讨生态系统服务价值对土地覆盖变化的响应。结果表明:2000—2020 年,邯郸市建设用地、林地和水体呈增加趋势,耕地和未利用地呈减少趋势,草地先增加后减少。从各地类动态度来看,水体和未利用地变化幅度较大。从土地转移来看,耕地和建设用地相互转换最多。邯郸市生态系统服务价值从 2000 年的 230.1 亿元增加到 2020 年的 259 亿元,增长 12.6%。此外,气候调节、水文调节和土壤保持在生态系统服务价值中的占比总和超过 50%。邯郸市生态系统服务价值呈现显著的聚集性,"高-高"聚集区分布在西部山区,"低-低"聚集区分布在东部平原区。弹性分析表明草地和耕地的变化对邯郸市生态系统服务价值的影响较大。研究结果对邯郸市土地资源优化配置和可持续利用具有现实意义。

关键词:生态系统服务价值;邯郸市;土地覆盖数据;动态度;弹性分析;空间自相关

中图分类号:F301.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2025)09-0517-09　　**OSID**:

Analysis on Land Cover and Ecosystem Service Value in Handan City

SHANG Ming[1,2]　YAO Ya'nan[1]　GU Pengcheng[3]　LI Qian[2]　BAI Lei[4]　XU Qiao[5]　SHI Yulin[1]

(1. *School of Earth Science and Engineering*, *Hebei University of Engineering*, *Handan* 056038, *China*
2. *Xinjiang Key Laboratory of Water Cycle and Utilization in Arid Zone*, *Xinjiang Institute of Ecology and Geography*, *Chinese Academy of Sciences*, *Urumqi* 830011, *China*
3. *China Land Surveying and Planning Institute*, *Beijing* 100871, *China*
4. *School of Ecology*, *Hainan University*, *Haikou* 570228, *China*
5. *Hubei Junbang Environmental Technology Co.*, *Ltd.*, *Wuhan* 430035, *China*)

Abstract: Aiming to explore the land cover change and its impact on ecosystem service value in Handan City, the object-oriented classification method was used to obtain land cover data, and the change of land cover was analyzed with dynamic degree and land transfer matrix. The equivalent factor method was used to obtain the ecosystem service value, the Moran's I was selected to analyze its spatial autocorrelation, and the improved elasticity analysis was applied to reveal the response of ecosystem service value to land cover change. The results indicated that from 2000 to 2020, the construction land, forest land, and water area in Handan City displayed an increasing trend, while farmland and unused land showed a decreasing trend, and grassland was firstly increased and then decreased. From the perspective of land dynamic degree, the changes in water area and unused land were significant. According to land transfer, the most frequent conversion was between farmland and construction land. The ecosystem service value was increased by 12.6% from 23.01 billion yuan in 2000 to 25.9 billion yuan in 2020 in Handan City. In addition, climate regulation, hydrological regulation, and soil conservation contributed the most to

收稿日期:2025-03-26　修回日期:2025-05-08

基金项目:新疆干旱区水循环与水利用重点实验室开放课题(XJYS0907-2023-11)、国家自然科学基金项目(32260294)和邯郸市科学技术研究与发展计划项目(21422903273)

作者简介:尚明(1988—),男,讲师,博士,主要从事遥感及 GIS 技术应用研究,E-mail:shangming@hebeu.edu.cn

通信作者:姚亚楠(1987—),女,讲师,主要从事环境遥感研究,E-mail:250724096@qq.com

ecosystem service value, accounting for over 50% of the total ecosystem service value. The ecosystem service value of Handan City presented significant clustering, with "high - high" clustering areas distributed in the western mountainous areas, and "low - low" clustering areas distributed in the eastern plain areas. The elasticity analysis showed that changes in grassland and farmland had remarkable impact on the ecosystem service value of Handan City. The findings had practical significance for optimizing the allocation and sustainable utilization of land resources in Handan City.

Key words: ecosystem service value; Handan City; land cover data; dynamic degree; elasticity analysis; spatial autocorrelation

0 引言

随着社会经济的快速发展,人类活动导致的土地覆盖变化对生态环境造成各种影响,由此产生的生态系统服务价值变化成为研究热点[1-2]。目前对生态系统服务价值研究从空间尺度来看多集中在城市群[3-5]、省域[6-8]、流域[9-11]等大范围空间,市县域等较小范围的研究相对较少。从生态系统服务价值估算方法来看,主要包括功能价值法和当量因子法,其中功能价值法输入参数较多、计算过程相对复杂,当量因子法数据需求少、直观易用[12]。本文选择当量因子法来计算生态系统服务价值。

利用当量因子法计算生态系统服务价值时,土地覆盖数据是其重要的基础数据。当前大多数研究选择现有土地覆盖产品,但是其精度在不同区域差异性较大[13-15],这会给后续分析带来不确定性。此外,土地覆盖产品的更新时间也会给研究带来不便,因此有必要借助遥感影像分类手段来获取土地覆盖数据。目前,根据遥感影像分类对象是否为像元可分为基于像元和面向对象两大类方法,而大量研究表明面向对象的分类方法优于基于像元的方法[16-18]。因此,本文选择面向对象的方法获取研究区土地覆盖数据。

应用土地覆盖数据得到生态系统服务价值后,还需进一步研究生态系统服务价值对土地覆盖变化的敏感程度,文献[19]引入经济学中的弹性分析研究了整体土地类型变化对生态系统服务价值的影响。文献[20-21]采用弹性分析研究了各类土地类型变化对生态系统服务价值的影响。上述研究均用生态系统服务价值总变化率对土地类型平均变化率的响应进行研究,这会放大生态系统服务价值对土地覆盖变化的敏感程度。因此本文用生态系统服务价值平均变化率替代其总变化率,改进弹性分析的计算方式,以使相关结果更加合理。

基于以上分析,本文以邯郸市为例,以面向对象的方法获取研究区 2000 年、2010 年和 2020 年的土地覆盖数据,应用当量因子法计算生态系统服务价值,基于改进的弹性分析研究生态系统服务价值对土地覆盖变化的响应,并结合空间分析方法对研究区生态系统服务价值空间分布模式进行研究,以期为邯郸市发展及其他相关研究提供参考,同时丰富生态系统服务价值研究案例。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况及数据源

邯郸市地处河北省南部,位于 35°57′~37°08′N,113°21′~115°37′E,地势西高东低,总面积 12 066 km^2。截至 2023 年末,邯郸市下辖 6 个区、11 个县和 1 个县级市(图 1)。本文将邯郸市土地覆盖类型分为耕地、林地、草地、水体、建设用地和未利用地[22-23]。

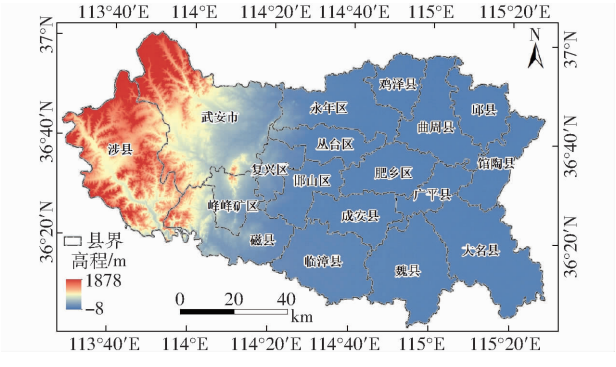


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Location diagram of study area

用于分类的遥感影像为 Landsat 数据。其中 2000 年和 2010 年数据为 Landsat 5 TM,所选波段序号为 1~5 和 7。2020 年数据为 Landsat 8 OLI,所选波段序号为 1~7 和 9。空间分辨率均为 30 m。另外文中所用统计资料来自《中国统计年鉴》、《河北经济年鉴》和《河北统计年鉴》。

1.2 研究方法

1.2.1 土地覆盖动态度

(1)单一动态度。该指标用来描述研究区某一土地覆盖类型在某一时期的变化速率[24-25],其公式为

$$C = \frac{C_b - C_a}{C_a} \frac{1}{T} \times 100\% \tag{1}$$

式中 T——监测时段长度,a

C_a——研究初期某种土地类型面积

C_b——研究末期某种土地类型面积

当 C 为正值时，表明该地类在增加；为负值时，表明该地类在减少；C 的绝对值越大说明该地类变化率越大。

(2)综合动态度。该指标用来反映某一研究时段内，研究区所有地类动态变化总体情况[24-25]，该值越大，说明研究区土地覆盖动态变化越剧烈。计算公式为

$$L_C = \frac{\sum_{i}^{n} \Delta L_{C_{ij}}}{2\sum_{i}^{n} L_{C_i}} \frac{1}{T} \times 100\% \tag{2}$$

式中　L_{C_i}——监测时段初期第 i 类土地类型面积

$\Delta L_{C_{ij}}$——研究期内第 i 类土地转换为第 j 类 $(j \neq i)$ 土地类型面积的绝对值

1.2.2　生态系统服务价值计算

利用单位面积价值当量因子法，将生态系统服务分为 4 大类、11 小类，评估邯郸市生态系统服务价值[12]。文献[12]以全国为研究对象，因此在研究具体区域时需要根据实际情况对其在全国范围得到的 1 个标准当量因子的生态系统服务价值进行修正(3 406.5 元/hm^2)。参考文献[21]，利用从《中国统计年鉴》、《河北经济年鉴》和《河北统计年鉴》获得的同期全国和邯郸市各自的粮食作物单位面积产量对该值进行修订。根据统计资料得到在研究时段邯郸市与全国的粮食作物单位面积产量比值为 1.08，据此得到邯郸市 1 个标准当量因子生态系统服务价值为 3 679.02 元/hm^2。在此基础上，计算生态系统服务价值，公式为

$$ESV = \sum_{i=1}^{n} (A_i VC_i) \tag{3}$$

其中

$$VC_i = E_i D \tag{4}$$

式中　ESV——生态系统服务价值，元

A_i——土地类型 i 面积，hm^2

VC_i——第 i 类土地类型生态系统服务价值系数，元/hm^2

D——修正后 1 个标准当量因子生态系统服务价值，取 3 679.02 元/hm^2

E_i——第 i 类土地类型生态系统服务价值当量

E_i 值参考文献[12]获得，本文水体所用值对应于文献[12]中水系的值，未利用地对应于裸地，耕地、林地和草地则由文献[12]中相应二级地类求均值得到。

1.2.3　弹性分析

在经济学中，弹性表示一个变量变化的百分比引起另一个变量变化的百分比。本文利用弹性分析衡量生态系统服务价值对土地覆盖变化的响应，该指标能够反映土地覆盖对生态系统服务价值的贡献及重要性。弹性值计算式为[19-21]

$$E = \left| C^{-1}(ESV_e - ESV_s)/ESV_s \right| \tag{5}$$

式中　E——弹性值

ESV_e——研究末期生态系统服务价值，元

ESV_s——研究初期生态系统服务价值，元

可以看出式(5)衡量土地类型多年平均变化率对生态系统服务价值多年总变化率的影响，这会放大生态系统服务价值对土地覆盖变化的敏感程度。将其改为

$$E = \left| C^{-1}T^{-1}(ESV_e - ESV_s)/ESV_s \right| \tag{6}$$

经过改动后，本文用弹性分析衡量土地类型多年平均变化率对生态系统服务价值多年平均变化率的影响。

1.2.4　空间自相关分析

使用 Moran's I(莫兰指数)进行空间自相关分析[26]。先使用 Global Moran's I(全局莫兰指数)分析邯郸市生态系统服务价值空间分布是否存在聚集性，再利用 Local Moran's I(局部莫兰指数)分析局部聚集特征。具体计算公式为

$$GM_I = \frac{n'\sum_{i=1}^{n'}\sum_{j=1}^{n'} w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{n'}\sum_{j=1}^{n'} w_{ij}\sum_{i=1}^{n'}(x_i - \bar{x})^2} \tag{7}$$

$$LM_{I_i} = \frac{n'(x_i - \bar{x})\sum_{j=1}^{n'} w_{ij}(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{n'}(x_i - \bar{x})^2} \tag{8}$$

式中　GM_I——全局莫兰指数

n'——空间单元数量

x_i——i 要素的属性值

x_j——j 要素的属性值

w_{ij}——i 与 j 之间空间连接矩阵中的元素

$\bar{x}$——属性均值

LM_{I_i}——局部莫兰指数

$GM_I > 0$ 表示空间上存在正相关，$GM_I < 0$ 表示负相关，$GM_I = 0$ 表示不相关。LM_{I_i} 可以将空间单元聚集特征划分为高-高、高-低、低-高、低-低 4 种聚集型。

2　结果与分析

2.1　土地覆盖结果

参考文献[27-29]对面向对象分类中常见分类器的比较研究，支持向量机(Support vector machine，SVM)的分类精度较优。因此利用

eCognition 软件,采用 SVM 分类方法,对研究区进行面向对象分类,并通过目视解译对分类结果进行修正,得到研究区 2000 年、2010 年和 2020 年土地覆盖分类结果(图 2),结合谷歌影像选择样本进行精度验证,各年土地覆盖分类结果总体精度均在 90% 以上。从图 2 可以看出邯郸市林地和草地主要分布在西部太行山区及丘陵区,耕地、建设用地主要分布在东部平原区。进一步对各地类面积占比进行统计(图 3),可以看出耕地、建设用地和草地是邯郸市土地覆盖的主导类型,这 3 种地类在各年的占比均在 90% 以上。此外,在所有地类中,耕地和未利用地面积表现为逐年减少的趋势,建设用地、林地和水体面积表现为逐年增加的趋势,草地面积表现为先增加后减少的趋势。

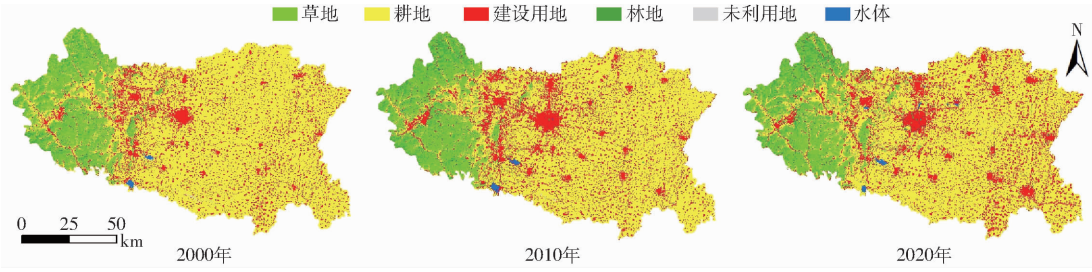


图 2 2000、2010、2020 年邯郸市土地覆盖分类结果

Fig. 2 Land cover classification results of Handan City in 2000, 2010, and 2020

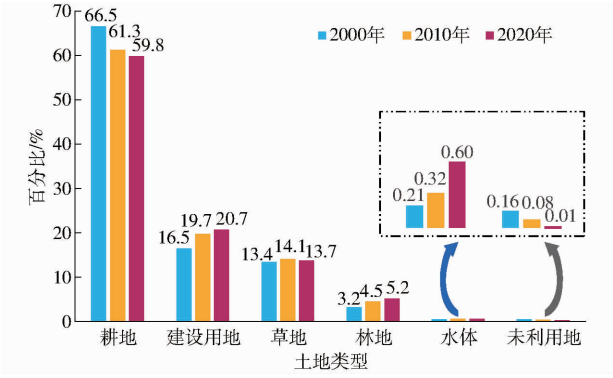


图 3 邯郸市 2000、2010、2020 年各土地类型面积占比

Fig. 3 Area proportion of each land type in Handan City in 2000, 2010, and 2020

2.2 土地覆盖转移特征

图 4 为邯郸市土地覆盖转移图。从图 4 可以看出,无论是分时段还是整个时间段,研究区土地覆盖变化以耕地和建设用地、草地和耕地及林地和草地的相互转换为主,其中耕地和建设用地的相互转换最多。从各地类转入转出面积来看(表 1),2000—2010 年,耕地转出面积远超其转入面积,建设用地转入面积远超其转出面积,林地的转入面积相比转出面积也较大,其余地类的面积变化不大。2010—2020 年,耕地、建设用地及林地的转入转出趋势与 2000—2010 年一致,但各自的增加减少趋势均有所放缓。这说明邯郸市在 2000—2010 年的城镇化速度强于 2010—2020 年。整体来看,2000—2020 年,耕地净减少 816.17 km^2,主要转出为建设用地。建设用地虽然转出面积也较大,但由于耕地的大面积转入,其净增加 507.36 km^2。林地则由于草地和耕地的转入相对较多,其净增加 240.27 km^2。水体和未利用地在研究区面积相对较小,其中水体净增加 47.11 km^2,主要由耕地转入,未利用地净减少 18.38 km^2,主要转出为耕地。草地的转入、转出面积分别为 545.59、505.77 km^2,净增加 39.82 km^2。

2.3 土地覆盖动态度

邯郸市各土地覆盖类型动态度见表 2。从单一动态度来看,2000—2010 年和 2000—2020 年各地

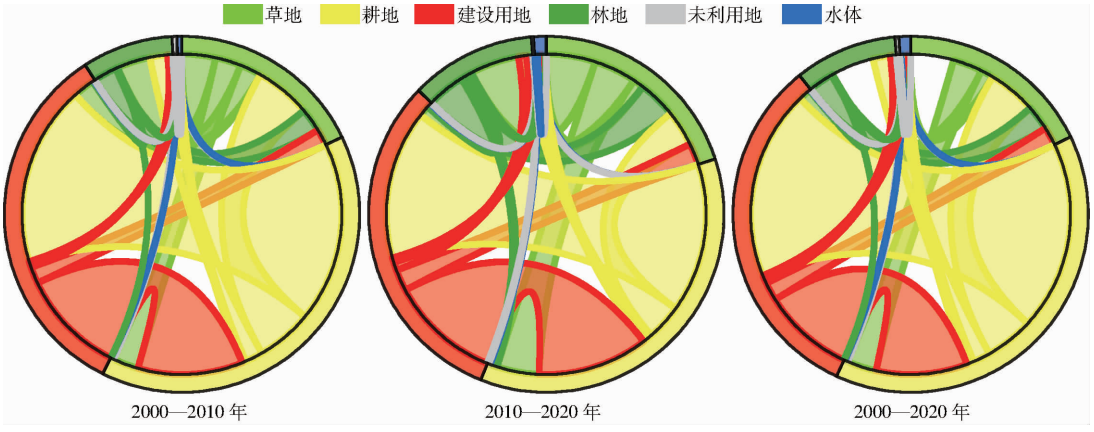


图 4 邯郸市 2000—2020 年土地覆盖转移图

Fig. 4 Diagram of land transfer in Handan City between 2000 and 2020

表 1　邯郸市 2000—2020 年土地覆盖类型转移矩阵

Tab. 1　Land cover type transfer matrix of Handan City from 2000 to 2020　　km^2

时期	土地类型	草地	耕地	建设用地	林地	未利用地	水体	转出面积合计
2000—2010 年	草地	1 202. 77	132. 48	110. 24	172. 24	0. 03	0. 33	415. 32
	耕地	287. 10	6 709. 19	925. 32	91. 70	5. 90	13. 18	1 323. 21
	建设用地	85. 70	540. 01	1 333. 96	26. 09	0. 94	3. 81	656. 55
	林地	121. 39	0. 18	8. 14	258. 78	0	0. 94	130. 65
	未利用地	0. 22	14. 15	2. 06	0	2. 80	0	16. 43
	水体	0. 12	1. 00	3. 24	0. 31	0	20. 32	4. 66
	转入面积合计	494. 53	687. 82	1 048. 99	290. 35	6. 87	18. 26	2 546. 82
2010—2020 年	草地	1 110. 51	242. 74	61. 03	281. 41	0. 11	1. 50	586. 80
	耕地	205. 08	6 284. 04	852. 69	35. 94	0. 46	18. 87	1 113. 05
	建设用地	123. 88	632. 39	1 553. 42	45. 92	0. 26	27. 09	829. 54
	林地	217. 59	40. 36	23. 48	265. 53	0. 01	2. 16	283. 60
	未利用地	0. 15	7. 62	1. 72	0. 03	0	0. 14	9. 67
	水体	0. 70	9. 34	5. 33	0. 86	0	22. 35	16. 22
	转入面积合计	547. 39	932. 44	944. 26	364. 16	0. 85	49. 76	2 838. 87
2000—2020 年	草地	1 112. 31	175. 46	74. 28	255. 01	0. 13	0. 90	505. 77
	耕地	286. 95	6 474. 46	1 124. 97	103. 39	0. 56	42. 22	1 558. 08
	建设用地	110. 20	542. 44	1 289. 41	36. 35	0. 16	11. 96	701. 10
	林地	147. 98	1. 65	5. 14	234. 56	0	0. 10	154. 87
	未利用地	0. 32	17. 25	1. 48	0. 14	0. 01	0. 03	19. 22
	水体	0. 14	5. 11	2. 60	0. 24	0	16. 89	8. 09
	转入面积合计	545. 59	741. 91	1 208. 46	395. 14	0. 84	55. 20	2 947. 14

表 2　2000—2020 年邯郸市土地覆盖类型动态度

Tab. 2　Land cover type dynamic degree of Handan City from 2000 to 2020　　%

动态度类型		时期		
		2000—2010 年	2010—2020 年	2000—2020 年
单一动态度	耕地	－0. 72	－0. 22	－0. 48
	林地	3. 73	1. 33	2. 94
	草地	0. 45	－0. 21	0. 12
	水体	4. 95	7. 90	8. 99
	建设用地	1. 79	0. 44	1. 21
	未利用地	－4. 52	－8. 29	－4. 55
综合动态度		0. 96	1. 07	0. 58

类变化幅度由大到小依次为水体、未利用地、林地、建设用地、耕地和草地；2010—2020 年变化幅度最大为未利用地，其次为水体，其余各地类变化幅度大小顺序与其他两个时期一致。无论是在整个研究时段还是分时段上，水体和未利用地的变化幅度较大，均超过 4. 5%，其中水体表现为增加趋势而未利用地表现为减少趋势。耕地和草地的变化幅度相对较小，均低于 1%，其中耕地表现为减少趋势，草地表现为先增加后减少的趋势。林地和建设用地均呈现增长趋势。此外，耕地、林地、草地和建设用地在 2000—2010 年变化幅度大于 2010—2020 年变化幅度，而水体和未利用地则是 2010—2020 年变化幅度大于 2000—2010 年变化幅度。从综合动态度来看，两个时期的值分别为 0. 96% 和 1. 07%，说明人类活动对邯郸市不同时期土地覆盖变化产生的影响差异不大。

2. 4　邯郸市生态系统服务价值分析

2. 4. 1　生态系统各功能服务价值分析

根据式(3)得到邯郸市 2000 年、2010 年和 2020 年生态系统服务价值分别为 230. 1 亿元、242. 09 亿元和 259 亿元(表 3)，2000—2010 年增加 11. 99 亿元，2010—2020 年增加 16. 91 亿元，2000—2020 年共增加 28. 9 亿元，增长百分比达到 12. 6%。结合图 3 可以看出，虽然建设用地扩张、耕地减少会造成生态系统服务价值的减少，但是生态系统服务价值当量较高的林地和水体面积的增加使得邯郸市生态系统服务价值保持了增加的趋势。

从一级生态系统功能来看，调节服务在研究时段是邯郸市生态系统服务的核心功能。从占比来看，调节服务占比介于 50% ~56%，支持服务占比介于 24% ~28%，供给服务则介于 16% ~20%，文化服务占比较小，一直保持在 3% 左右，可以看出各类功能变化幅度不大，说明 2000—2020 年邯郸市各类生态系统服务较为稳定。从二级生态系统功能来看，气候调节、水文调节和土壤保持贡献率较大，研究时段三者占比保持在 15% ~23%，且三者占比和超过 50%，其次为气体调节和食物生产，贡献率在 10% 左右。

表 3 2000—2020 年邯郸市生态系统各功能服务价值

Tab. 3 Service values for different ecosystem functions in Handan City from 2000 to 2020

生态系统功能构成		2000 年		2010 年		2020 年	
一级	二级	价值/亿元	百分比/%	价值/亿元	百分比/%	价值/亿元	百分比/%
供给服务	食物生产	26.94	11.71	25.21	10.42	24.79	9.57
	原料生产	14.72	6.40	14.24	5.88	14.12	5.45
	水资源供给	2.91	1.26	3.51	1.45	4.58	1.77
	小计	44.57	19.37	42.96	17.75	43.49	16.79
调节服务	气体调节	29.79	12.95	29.73	12.28	29.77	11.50
	气候调节	38.02	16.52	41.57	17.17	42.84	16.54
	净化环境	12.14	5.28	13.47	5.57	14.43	5.57
	水文调节	36.64	15.92	44.00	18.17	57.20	22.09
	小计	116.59	50.67	128.77	53.19	144.24	55.70
支持服务	土壤保持	42.60	18.51	42.04	17.37	41.94	16.19
	维持养分循环	4.48	1.95	4.34	1.79	4.31	1.66
	生物多样性	15.07	6.55	16.52	6.82	17.18	6.63
	小计	62.15	27.01	62.90	25.98	63.43	24.48
文化服务	美学景观	6.79	2.95	7.46	3.08	7.84	3.03
合计		230.10	100	242.09	100	259.00	100

2.4.2 生态系统服务价值空间分布模式分析

利用莫兰指数对邯郸市 2000—2020 年生态系统服务价值的空间分布模式进行了研究。为了消除由于各区县面积差异导致的结果不同，文中用各区县地均生态系统服务价值进行分析。从全局莫兰指数来看（表 4），研究时段该值均大于 0.5 且呈上升趋势。结合 p 值来看，各时期 p 值均小于 0.001，说明各区县地均生态系统服务价值在空间上呈显著正相关性，即表现出聚集性，且这种聚集性随着时间变化有增强的倾向。进一步利用局部莫兰指数对各时期空间聚集性进行分析（图 5），可以看出各时期有一定相似性，即“高-高”聚集区分布在邯郸市西部，“低-低”聚集区则分布在东部区域，且随着时间变化“高-高”聚集区有向东部扩张的趋势，“低-低”聚集区有向东北部扩张的趋势。具体来看，在 2000 年“高-高”聚集区包括涉县、武安市、峰峰矿区和磁县，“低-低”聚集区包括成安县、魏县、广平县和大名县。2010 年“高-高”聚集区没有变化，“低-低”聚集区包括成安县、魏县、广平县、曲周县和馆陶县，“低-高”聚集区为复兴区。2020 年“高-高”聚集区相较前两个时期多了复兴区，“低-低”聚集区相较于 2010 年少了馆陶县。

表 4 邯郸市 2000—2020 年地均生态系统服务价值全局莫兰指数

Tab. 4 Global Moran's I of average ecosystem service value in Handan City from 2000 to 2020

年份	全局莫兰指数	p
2000	0.53	<0.001
2010	0.54	<0.001
2020	0.62	<0.001

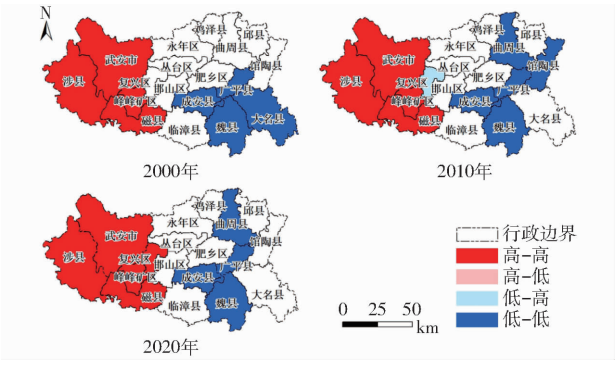


图 5 邯郸市 2000—2020 年地均生态系统服务价值空间自相关结果

Fig. 5 Spatial autocorrelation maps of average ecosystem service value in Handan City from 2000 to 2020

2.4.3 生态系统服务价值对土地覆盖的响应

利用弹性分析（式（6））探讨 2000—2010 年、2010—2020 年及 2000—2020 年 3 个时间段邯郸市生态系统服务价值对土地覆盖变化的敏感程度，结果如图 6 所示。2000—2010 年，生态系统服务价值对各地类敏感程度从大到小依次为草地、耕地、林地、未利用地和水体，其中草地和耕地弹性值分别为

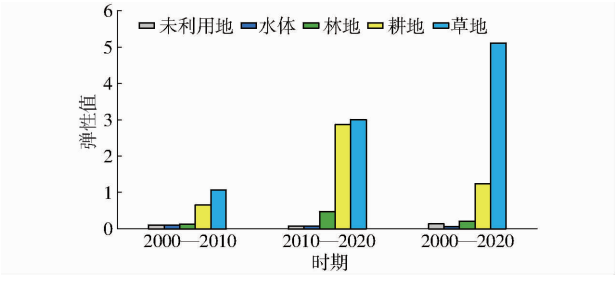


图 6 改进公式的邯郸市不同土地类型弹性值

Fig. 6 Elastic values for each land type in Handan City from 2000 to 2020 with improved formula

1.06 和 0.66，其余土地类型弹性值均小于 0.13。2010—2020 年，生态系统服务价值对各地类敏感程度从大到小来看，草地和耕地弹性值分别为 3.01 和 2.86，林地的弹性值为 0.48，水体和未利用地的弹性值较小，分别为 0.08 和 0.07。2000—2020 年，各土地类型弹性值从大到小分别为 5.11（草地）、1.24（耕地）、0.2（林地）、0.13（未利用地）和 0.07（水体）。可以看出，在 3 个时段，草地弹性值最高，耕地次之，其余土地类型弹性值相对较小，这说明草地和耕地的变化对邯郸市生态系统服务价值的影响较大。

3　讨论

弹性值反映的是土地类型面积变化 1% 带来的生态系统服务价值变化百分比[19-20,30-31]。应用前人所用计算方法（式（5））得到结果见图 7，可以看出与本文所用式（6）的结果（图 6）相比，虽然各土地类型变化对生态系统服务价值影响重要性的相对关系保持不变，但两者土地类型面积变化 1% 带来的生态系统服务价值变化百分比的差异较大。如 2000—2020 年期间，对于草地，前人和本文所得弹性值分别为 5.11 和 107.23，即草地面积变化 1% 分别带来生态系统服务价值变化 5.11% 和 107.23%。前人所得结果会放大土地类型面积变化对生态系统服务价值的影响程度。无论哪种计算方式，各时期对邯郸市生态系统服务价值贡献最大的都是草地，其次是耕地。这是因为弹性值大小取决于各地类面积及各地类生态系统服务价值当量。从图 3 可以看出，耕地面积占比最大，建设用地占比次之，但建设用地不参与计算，随后占比较大的是草地。结合文献[12]，草地的生态系统服务价值当量高于耕地，这最终造成草地的弹性值大于耕地。

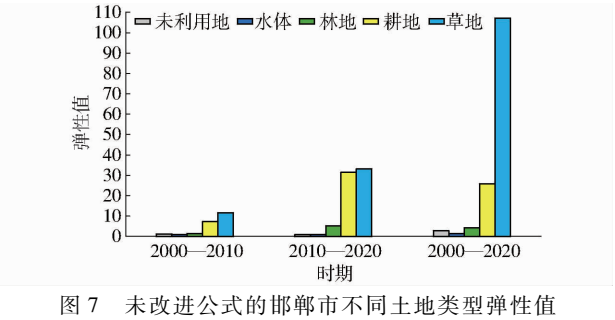


图 7　未改进公式的邯郸市不同土地类型弹性值

Fig. 7　Elastic values for each land type in Handan City from 2000 to 2020 with unimproved formula

对于邯郸市来说，若要进一步提高生态系统服务价值，一方面应严格控制建设用地的扩张；另一方面，在当前严格控制耕地转为其他地类的国策下，结合实际情况，可以考虑将草地转为生态系统服务价值当量更高的其他地类，如林地、湿地。对于各区县来说（图 5），位于西部的区县应保持好当前的高生态系统服务价值，位于东部的低生态系统服务价值的县域应合理规划用地，以期提高生态系统服务价值。此外，本文核算生态系统服务价值时，没有考虑建设用地所提供生态系统服务的价值，今后在相关数据充足时，应对该部分进行计算，使结果更合理。

4　结论

（1）从各地类变化趋势来看，邯郸市建设用地、林地和水体表现为增加的趋势，耕地和未利用地呈现减少的趋势，草地先增加后减少。对于各地类变化幅度，从单一动态度来看，2000—2010 年和 2000—2020 年各地类变化幅度由大到小依次为水体、未利用地、林地、建设用地、耕地和草地；2010—2020 年变化幅度最大为未利用地，其次为水体，其余各地类变化幅度顺序与上述两个时期一致。从综合动态度来看，2000—2010 年和 2010—2020 年的值分别为 0.96% 和 1.07%。

（2）从各地类转移来看，研究时段邯郸市以耕地和建设用地、草地和耕地及林地和草地的相互转换为主，且耕地和建设用地的相互转换最多。具体来看，2000—2020 年，耕地净减少 816.17 km^2，主要转出为建设用地；建设用地、水体、草地分别净增加 507.36、47.11、39.82 km^2，主要由耕地转入；林地净增加 240.27 km^2，主要由草地和耕地转入。

（3）邯郸市 2000 年、2010 年和 2020 年生态系统服务价值分别为 230.1 亿元、242.09 亿元和 259 亿元。从生态系统功能来看，各时期气候调节、水文调节和土壤保持的贡献率均高于 15%，且三者总贡献率均超过 50%。

（4）从空间分布来看，邯郸市生态系统服务价值呈现显著的聚集性。具体来说，各时期表现为“高-高”的聚集区均包括涉县、武安市、峰峰矿区和磁县，其中 2020 年多了复兴区。各时期表现为“低-低”的聚集区均包括成安县、魏县和广平县，其中 2000 年还包括大名县，2010 年多了曲周县和馆陶县，2020 年多了曲周县。

（5）从弹性值来看，2000—2010 年和 2000—2020 年，生态系统服务价值对各地类敏感程度从大到小依次为草地、耕地、林地、未利用地和水体；2010—2020 年为草地、耕地、林地、水体和未利用地。

参 考 文 献

[1] 林坚, 张瑜, 安芃霏, 等. 2023 年土地科学研究重点进展评述及 2024 年展望——土地资源利用与空间规划分报告[J]. 中国土地科学, 2024, 38(2): 102 - 113.
LIN Jian, ZHANG Yu, AN Pengfei, et al. Progress review on land science research in 2023 and prospects for 2024: the sub-report on land resources, land use and spatial planning[J]. China Land Science, 2024, 38(2): 102 - 113. (in Chinese)

[2] 李魁明, 王晓燕, 姚罗兰, 等. 京津冀地区生态系统服务价值时空变化及驱动因子分析[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(4): 1114 - 1122.
LI Kuiming, WANG Xiaoyan, YAO Luolan, et al. Spatio-temporal change and driving factor analysis of ecosystem service value in the Beijing - Tianjin - Hebei region[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2022,12(4): 1114 - 1122. (in Chinese)

[3] 周雅萍, 赵先超. 长株潭城市群人类活动强度与生态系统服务价值空间关系[J]. 中国环境科学, 2024, 44(5): 2948 - 2960.
ZHOU Yaping, ZHAO Xianchao. Spatial relationship between human activity intensities and ecosystem services value in Changsha - Zhuzhou - Xiangtan urban agglomeration[J]. China Environmental Science, 2024, 44(5): 2948 - 2960. (in Chinese)

[4] 马舒意, 黄小兰, 黄晶. 环鄱阳湖城市群生态系统服务价值时空变化及权衡协同关系[J]. 水土保持研究, 2024, 31(3): 391 - 400.
MA Shuyi, HUANG Xiaolan, HUANG Jing. Temporal and spatial variation of ecosystem service value and its trade-offs and synergies in the urban agglomeration around Poyang Lake[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(3): 391 - 400. (in Chinese)

[5] 段维利, 余新晓, 陈丽华, 等. 京津冀城市群城镇化与生态建设对生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2023, 30(4): 404 - 411.
DUAN Weili, YU Xinxiao, CHEN Lihua, et al. Impact of urbanization and ecological construction on the ecosystem services value in the Beijing - Tianjin - Hebei urban agglomeration[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(4): 404 - 411. (in Chinese)

[6] 孙定钊, 梁友嘉, 刘丽珺. 贵州省 2000 ~ 2020 年土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(3): 547 - 560.
SUN Dingzhao, LIANG Youjia, LIU Lijun. Impact of land use change on ecosystem service value in Guizhou Province from 2000 to 2020[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, 33(3): 547 - 560. (in Chinese)

[7] 梁仕豪, 李文, 高宇, 等. 吉林省生态系统服务价值与景观生态风险关联性及其空间分异[J]. 应用生态学报, 2024, 35(3): 769 - 779.
LIANG Shihao, LI Wen, GAO Yu, et al. Correlations between ecosystem service value and landscape ecological risk and its spatial heterogeneity in Jilin Province, China[J]. Journal of Applied Ecology, 2024, 35(3): 769 - 779. (in Chinese)

[8] 路昌, 韩笑, 韩会芹. 山东省土地利用转型与生态服务功能交叉敏感性研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(10): 223 - 231.
LU Chang, HAN Xiao, HAN Huiqin. Cross-sensitivity of land use transformation and ecological service function in Shangdong Province[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(10): 223 - 231. (in Chinese)

[9] 陈慧灵, 蒋莉莎, 王振波. 黄河流域土地利用碳排放与生态系统服务价值时空耦合及影响因素[J]. 环境科学, 2025, 46(6): 3536 - 3545.
CHEN Huiling, JIANG Lisha, WANG Zhenbo. Spatial temporal coupling and influencing factors of land-use carbon emissions and ecosystem service value in the Yellow River basin[J]. Environmental Science, 2025, 46(6): 3536 - 3545. (in Chinese)

[10] 李依汶, 林涛, 周文强, 等. 基于多情景模拟的洞庭湖流域生态系统服务价值研究[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(10): 109 - 121.
LI Yiwen, LIN Tao, ZHOU Wenqiang, et al. Analysis of ecosystem service value with multi-scenario simulation in Dongting Lake basin[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2024, 45(10): 109 - 121. (in Chinese)

[11] 高伟, 李欣悦, 张远, 等. 长江流域生态系统服务价值时空演变与预测[J]. 生态学报, 2023, 43(15): 6203 - 6211.
GAO Wei, LI Xinyue, ZHANG Yuan, et al. Evolution and prediction of ecosystem service values of the Yangtze River basin [J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(15): 6203 - 6211. (in Chinese)

[12] 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.
XIE Gaodi, ZHANG Caixia, ZHANG Leiming, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1243 - 1254. (in Chinese)

[13] XU P, TSENDBAZAR N E, HEROLD M, et al. Comparative validation of recent 10m-resolution global land cover maps[J]. Remote Sensing of Environment, 2024, 311: 114316.

[14] 付东光, 李登秋, 陆灯盛, 等. 基于调查数据的福建省 3 种 30 m 全球土地覆盖产品精度评价[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2023, 39(2): 122 - 136.
FU Dongguang, LI Dengqiu, LU Dengsheng, et al. Accuracy assessment of three 30 m resolution global land cover products in Fujian Province based on survey data[J]. Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition), 2023, 39(2): 122 - 136. (in Chinese)

[15] GAO Y, LIU L Y, ZHANG X, et al. Consistency analysis and accuracy assessment of three global 30-m land-cover products over the European Union using the LUCAS dataset[J]. Remote Sensing, 2020, 12(21): 3479.

[16] 庄小燕, 况润元. 基于 Sentinel-2 数据的南矶湿地面向对象决策树分类[J]. 湿地科学, 2024, 22(5): 630-640.
ZHUANG Xiaoyan, KUANG Runyuan. Object-oriented decision tree classification of the Nanji wetland based on Sentinel-2 data[J]. Wetland Science, 2024, 22(5): 630-640. (in Chinese)

[17] SHANG M, WANG S X, ZHOU Y, et al. Effects of training samples and classifiers on classification of Landsat8 imagery[J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2018, 46(9): 1333-1340.

[18] 李天驰, 王道儒, 赵亮, 等. 基于 Landsat8 遥感数据的西沙群岛永乐环礁底质分类与变化分析[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(2): 70-79.
LI Tianchi, WANG Daoru, ZHAO Liang, et al. Analysis of classification and changes of substrate in Yongle Atoll of Xisha based on Landsat8 remote sensing data[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(2): 70-79. (in Chinese)

[19] SONG W, DENG X Z. Land-use/land-cover change and ecosystem service provision in China[J]. Science of the Total Environment, 2017, 576:705-719.

[20] YIN J R, LIU X, WANG H, et al. Spatio-temporal variations of ecosystem service values in response to land use/cover change in Luoyang City[J]. Frontiers in Environmental Science, 2022, 10: 984888.

[21] 戚丽萍, 闫丹丹, 李静泰, 等. 江苏省生态系统服务价值对土地利用/土地覆盖变化的动态响应[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2021, 57(2): 255-264.
QI Liping, YAN Dandan, LI Jingtai, et al. Dynamics of ecosystem services value in response to land use/land cover changes in Jiangsu Province[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2021, 57(2): 255-264. (in Chinese)

[22] 张增祥. 中国土地覆盖遥感监测[M]. 北京: 星球地图出版社, 2010.

[23] 张磊,吴炳方,李晓松,等. 基于碳收支的中国土地覆被分类系统[J]. 生态学报, 2014, 34(24): 7158-7166.
ZHANG Lei, WU Bingfang, LI Xiaosong, et al. Classification system of China land cover for carbon budget[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(24): 7158-7166. (in Chinese)

[24] 李衡, 陈国银, 王世晶, 等. 基于 CLUE-S 情景模拟的挠力河流域耕地适宜性评价研究[J]. 农业机械学报, 2023, 54(10): 329-339.
LI Heng, CHEN Guoyin, WANG Shijing, et al. Suitability evaluation of cultivated land in Naoli River basin based on CLUS-S scenario simulation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(10): 329-339. (in Chinese)

[25] 杨崇科, 马泉来, 周浩, 等. 基于时序过程的沿黄粮食主产区土地利用分异研究[J]. 农业机械学报, 2023, 54(8): 171-179.
YANG Chongke, MA Quanlai, ZHOU Hao, et al. Land use differentiation in typical main grain producing areas along Yellow River based on time series processes[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(8): 171-179. (in Chinese)

[26] 孟斌, 王劲峰, 张文忠, 等. 基于空间分析方法的中国区域差异研究[J]. 地理科学, 2005,25(4): 11-18.
MENG Bin, WANG Jinfeng, ZHANG Wenzhong, et al. Evaluation of regional disparity in China based on spatial analysis[J]. Scientia Geographica Sinica, 2005,25(4): 11-18. (in Chinese)

[27] 尚明, 马杰, 李悦, 等. Landsat 和 GF 数据面向对象土地覆盖分类研究[J]. 自然资源遥感, 2024, 36(3): 240-247.
SHANG Ming, MA Jie, LI Yue, et al. Exploring the object-oriented land cover classification based on Landsat and GF data [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2024, 36(3): 240-247. (in Chinese)

[28] 尚明. 中分辨率遥感数据面向对象分类的影响要素研究[D]. 北京:中国科学院大学, 2018.
SHANG Ming. Research on influence factors of object-based classification of medium resolution remote sensing data[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2018. (in Chinese)

[29] SHANG M, WANG S X, ZHOU Y, et al. Object-based image analysis of suburban landscapes using Landsat-8 imagery[J]. International Journal of Digital Earth, 2019, 12(6):720-736.

[30] YUAN S F, ZHU C M, YANG L X, et al. Responses of ecosystem services to urbanization-induced land use changes in ecologically sensitive suburban areas in Hangzhou, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(7): 1124.

[31] 陈万旭, 李江风, 朱丽君. 长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(2): 325-337.
CHEN Wanxu, LI Jiangfeng, ZHU Lijun. Spatial heterogeneity and sensitivity analysis of ecosystem services value in the middle Yangtze River region[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(2): 325-337. (in Chinese)