

哈尔滨都市圈生态系统服务价值时空演变特征研究

栾欣慧

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2025年8月12日; 录用日期: 2025年9月8日; 发布日期: 2025年9月17日

摘要

哈尔滨都市圈作为东北振兴的核心引擎和对俄开放的门户, 近年来随着城市化进程加速, 哈尔滨都市圈生态系统服务价值的时空变化特征比较明显。因此, 本文以哈尔滨都市圈为研究对象, 基于2005~2020年土地利用数据, 采用土地利用动态度和土地利用转移矩阵的方法, 结合生态系统服务价值测算模型, 分析生态系统服务价值时空演变特征及驱动机制。结果表明: (1) 2005~2020年, 哈尔滨都市圈的生态系统服务价值先减少后增加, 总体呈现正向增长。其中, 草地和水域面积的扩张是推动ESV增加的主要原因, 而耕地与林地的缩减则成为制约ESV增长的关键因素。(2) 空间分布上, 呈现中高西低的格局特征。松花江流域及研究区北部呈现ESV高值集聚特征。

关键词

哈尔滨都市圈, 土地利用, 生态系统服务价值, 时空演变

Research on the Spatiotemporal Evolution Characteristics of Ecosystem Service Value in the Harbin Metropolitan Area

Xinhui Luan

College of Geographic Sciences, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Aug. 12th, 2025; accepted: Sep. 8th, 2025; published: Sep. 17th, 2025

Abstract

As the core engine of Northeast China's revitalization and the gateway to Russia, the Harbin Metro-

politan Area has seen significant spatiotemporal changes in the value of its ecosystem services in recent years, driven by accelerated urbanization. Therefore, this study takes the Harbin Metropolitan Area as its research object, utilizing land use data from 2005 to 2020. It employs methods such as land use dynamics and land use transition matrices, combined with an ecosystem service value estimation model, to analyze the spatiotemporal evolution characteristics and driving factors of ecosystem service value. The results indicate: (1) From 2005 to 2020, the ecosystem service value (ESV) of the Harbin urban agglomeration first decreased and then increased, showing an overall positive growth trend. The expansion of grassland and water area was the primary driver of ESV growth, while the reduction of farmland and forest land became the key factor constraining ESV growth. (2) Spatially, the distribution exhibited a pattern of high values in the central region and low values in the western region. The Songhua River basin and the northern part of the study area showed a concentration of high ecosystem service values.

Keywords

Harbin Metropolitan Area, Land Use, Ecosystem Service Value, Spatio-Temporal Evolution

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生态系统是人类生存发展的根基,对维系生态环境稳定、支撑社会经济持续发展意义深远。生态系统服务价值(ESV)的动态演变,本质上反映着土地利用变化驱动下生态系统结构与功能的转型过程[1]。对ESV的合理性评估有利于区域的可持续发展。近年来,随着人类干扰不断加强与气候变化的影响,区域ESV发生了显著变化,与其相关的研究日益受到关注。为此,国内外学者在多个方面进行了大量的研究工作。韩伟等人对哈尔滨市2005~2020年的研究显示,耕地和建设用地面积增加,林地减少,ESV呈下降趋势[2]。刘志涛等人研究粤港澳大湾区发现,2000~2015年研究范围ESV减速下降,下降区域集中在城市快速扩张区,不同时期变化存在空间分异[3]。Gashaw T等人以青尼罗河上游流域安达萨流域为研究对象,采用土地利用分类和马尔可夫模型,分析1985~2015年土地利用变化对ESV的影响,并预测2045年的ESV变化,结果显示流域内ESV总量从1985年到2015年持续下降,且预计到2045年还会进一步降低[4]。

哈尔滨都市圈承载着黑龙江省经济转型与生态安全的双重使命,其寒地平原、松花江流域、黑土资源等独特自然条件,使其生态系统服务功能具有显著的区域特性。然而,随着城市化加速,区域生态系统面临土地退化、湿地萎缩、生物多样性减少等挑战,这直接影响着区域的粮食安全、水资源供给和气候调节功能,故量化评估其范围内ESV的动态变化尤为重要。

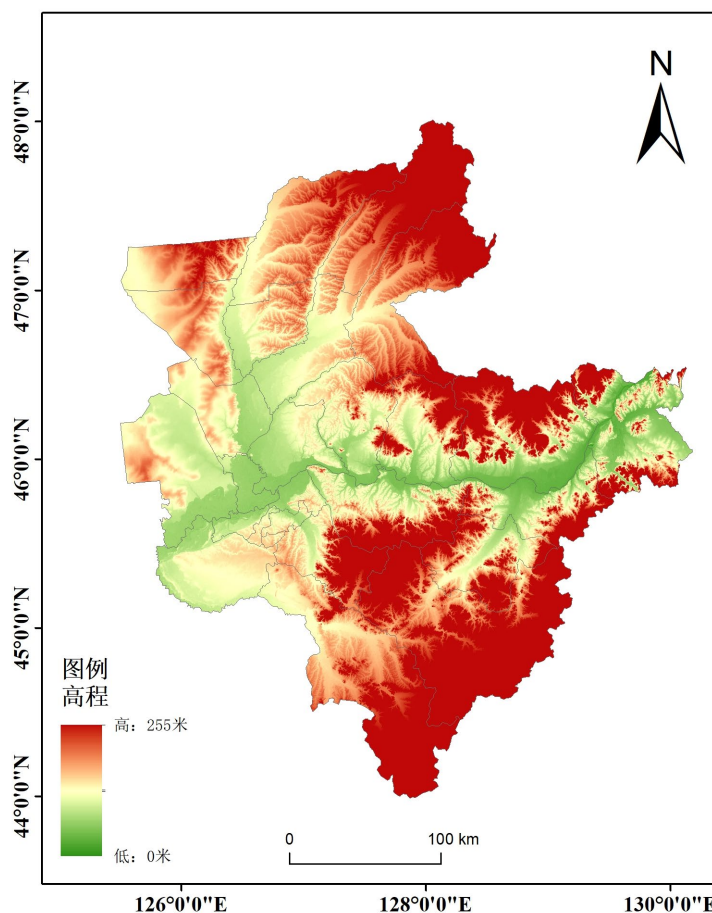
鉴于此,本文基于2005~2020年哈尔滨都市圈土地数据,综合运用土地利用动态度、土地利用转移矩阵及生态系统服务价值量化模型系统地探究区域ESV时空演变特征。以期填补寒地城市圈ESV的研究空白,为寒地城市圈的生态安全与高质量发展提供科学支撑。

2. 研究区概况与研究方法

2.1. 研究区概况

哈尔滨都市圈位于黑龙江省(图1),将哈尔滨主城区与绥化市等22个区县级行政单元整合,总面

积为 84,430 平方公里[5]。研究区位于松嫩平原东缘,地处小兴安岭西南麓与张广才岭西缘交汇带,地势呈弯月状向西延展,形成东高西低的空间分布格局。境内地貌丰富多样,属中温带大陆性季风气候区,季节差异显著,冬季严寒漫长,夏季炎热短促,年均温 4.9℃,降水集中于夏季,春秋两季降水较少。



图片来源: 图片由 ArcGIS 10.2 软件制图。

Figure 1. Location map of the study area

图 1. 研究区位置图

2.2. 数据来源与处理

高程数据来源于地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>), 采用 ArcGIS 10.2 软件对 DEM 数据进行镶嵌与裁剪。土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn/Default.aspx>), 运用 ArcGIS 10.2 进行重分类, 将研究区土地利用类型分为 6 类: 草地、水域、林地、耕地、建设用地和其他土地[6]。除此之外, 本研究构建哈尔滨都市圈单位面积 ESV 修正系数时, 采用 2006、2011、2016、2021 年《黑龙江省统计年鉴》及《全国农产品成本收益汇编》中的权威统计数据作为校准依据。

2.3. 研究方法

2.3.1. 土地利用动态度

土地利用动态度是表征土地利用类型动态演变程度的指标, 涵盖单一与综合两种测算维度, 能够直观展现研究区域土地利用类型在特定时段的变化特征[7], 计算公式如下:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中：\$K\$ 表征土地利用类型变化程度，\$U_a\$ 为研究初期该类型土地面积，\$U_b\$ 是研究末期对应面积，\$T\$ 代表研究周期时长。

$$L_c = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n \Delta LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中：\$L_c\$ 为综合土地利用动态度，\$\Delta LU_i\$ 为初始时刻特定土地利用类型的面积大小，\$\Delta LU_{i-j}\$ 为特定土地利用类型转变为其他类型时面积的绝对变化量，\$T\$ 代表研究周期。

2.3.2. 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵通过构建时空对应关系，系统性量化研究时段内地类单元的动态演变过程，精确揭示不同地类的转换特征与空间重构规律[8]，公式如下：

$$K_{ab} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ k_{m1} & k_{m2} & \cdots & k_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中：\$K\$ 代表面积，\$n\$ 代表土地利用类型的数量；\$a\$、\$b\$ 表示初始时期和结束时期的土地利用类型；\$K_{ab}\$ 表示的是开始时 \$a\$ 类土地转变为结束时 \$b\$ 类土地的面积[9]。

2.3.3. 生态系统服务价值测算

本研究构建的生态系统服务价值估算模型，以谢高地等构建的 ESV 当量因子表为基础依据[10]，基于上述研究成果，结合研究区地物类型确定 ESV 当量因子，公式如下：

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i q_i p_i}{M} \quad (i = 1, 2, 3, \cdots, n) \quad (4)$$

式中，\$E_a\$ 是生态系统服务价值当量，\$i\$ 是主要的农产品作物种类；其中，\$p_i\$ 为全国 \$i\$ 类作物平均价格，\$q_i\$ 表示 \$i\$ 类作物单位面积产量，\$m_i\$ 是 \$i\$ 类作物种植面积，\$M\$ 为主要农产品作物种植总面积。

结合研究区主要农作物单位面积粮食平均价格与产量数据，测算出 ESV 当量因子，并最终计算得到 ESV 系数[11]，公式如下：

$$ESV = \sum_{i=1}^n (LUC_i \times VC_i) \quad (5)$$

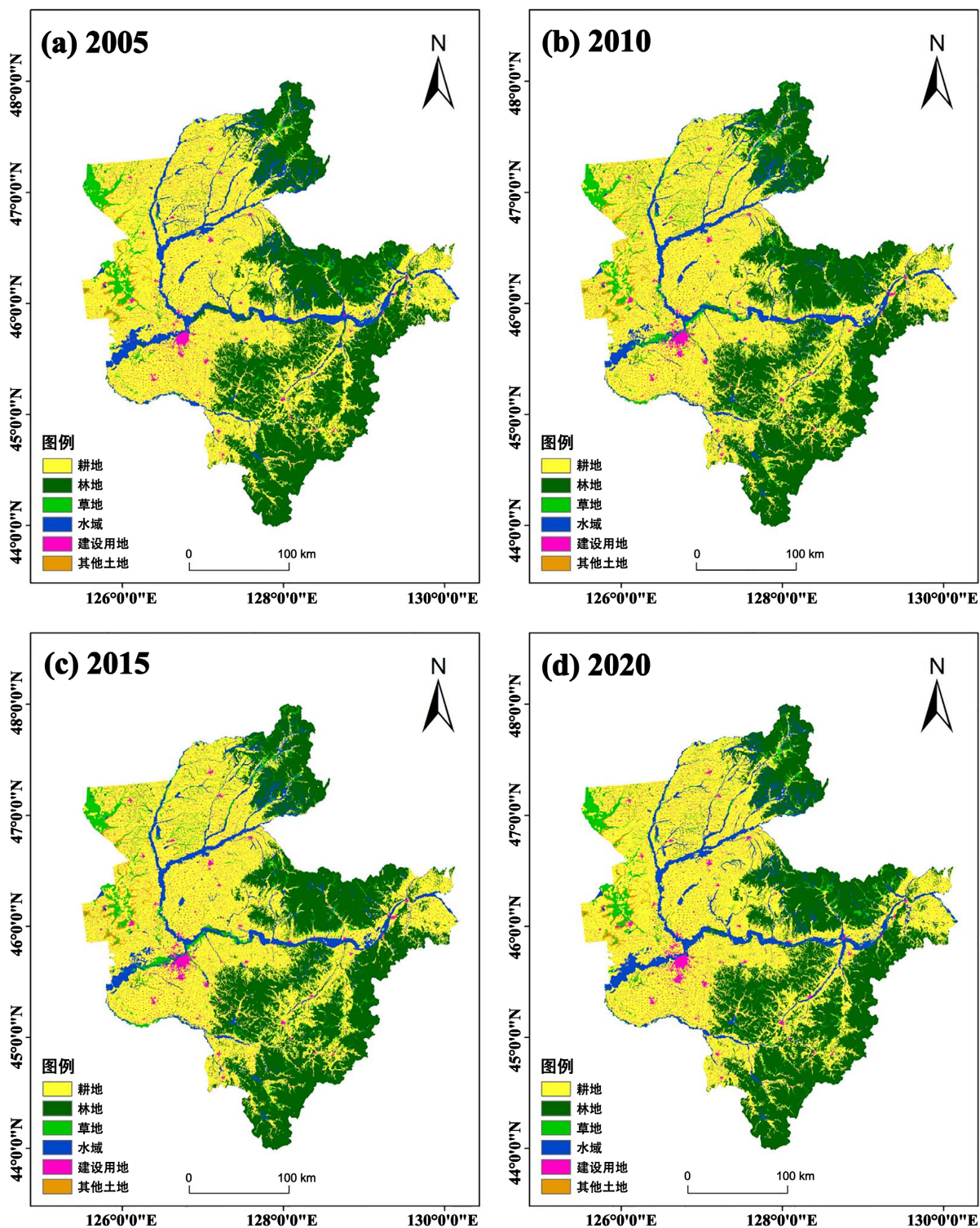
式中，生态系统服务价值以 ESV 表示，\$LUC_i\$ 用于表征 \$i\$ 类土地利用类型面积，\$VC_i\$ 则代表 \$i\$ 类土地利用类型的 ESV 系数。

3. 结果分析

3.1. 土地利用变化特征分析

哈尔滨都市圈 2005~2020 年土地利用类型情况如图 2 所示，研究区主要土地利用类型为耕地和林地，两者占比超过 80%。耕地和林地总面积整体显示出下降趋势；草地面积从 2005 年的 2964.77 km² 增至 2015 年的 3825.87 km²，呈增加趋势，而后于 2020 年下降至 3130.76 km²；水域面积自 2005~2015 年呈下降趋势，从 2005 年的 6503.97 km² 减至 2015 年的 5577.88 km²，至 2020 年增至 6714.63 km²；建设用地

面积占比在 2005~2020 年稳定在 3.22%~3.68%之间。



图片来源：图片由 ArcGIS 10.2 软件制图。

Figure 2. Land use types in the Harbin metropolitan area from 2005 to 2020

图 2. 哈尔滨都市圈 2005~2020 年土地利用类型图

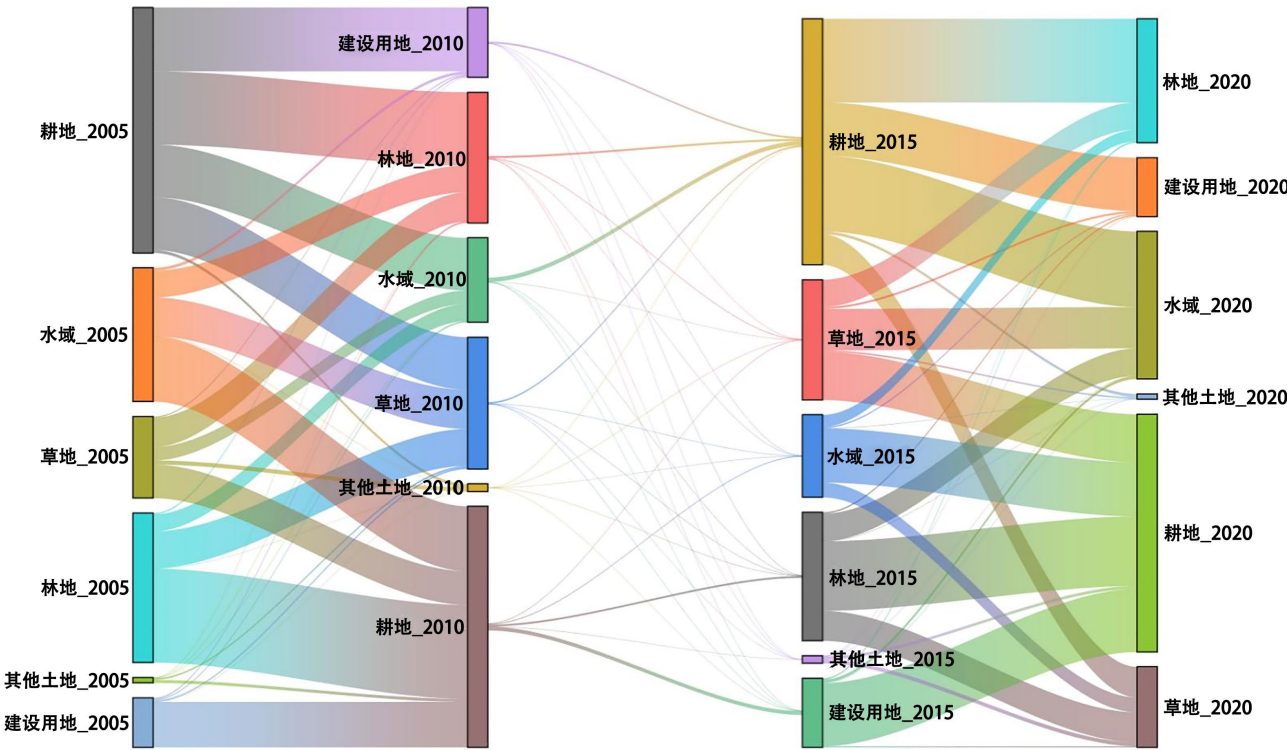
哈尔滨都市圈 2005~2020 年各土地利用类型动态如表 1 所示，可以看出，不同土地利用类型变化速率存在显著差异，其中草地变化最为剧烈，2005~2010 年增长 5.89%，2015~2020 年则下降 3.63%；水域在 2015~2020 年增幅达 4.08%。研究期内，2005~2010 年为整体土地利用变化最快阶段，综合土地利用动态度达 0.19%，此期间建设用地、草地及其他土地面积呈扩张态势，而耕地、林地和水域面积出现缩减。

Table 1. Statistics on land use dynamics in the Harbin metropolitan area from 2005 to 2020 (Unit: %)

表 1. 哈尔滨都市圈 2005~2020 年土地利用动态统计表(单位：%)

时间	耕地	林地	草地	水域	建设用地	其他土地	综合土地利用动态度
2005~2010	-0.03	-0.23	5.89	-2.65	2.57	1.41	0.19
2010~2015	0.02	0.00	-0.07	-0.23	0.25	-0.02	0.01
2015~2020	-0.07	-0.06	-3.63	4.08	-1.13	-1.52	0.15

哈尔滨都市圈 2005~2020 年各土地利用类型转移情况如图 3 及表 2 所示，该时段研究区土地利用格局显著调整，林地、其他土地及耕地面积缩减，草地、水域与建设用地面积扩张。其中，耕地转出规模最大，达 1557.37 km²，489.55 km² 转化为水域；同时，耕地也是转入面积最大的类型，1390.08 km² 的转入量主要源自水域(429.25 km²)与林地(518.35 km²)。利用 ArcGIS 10.2 对 2005 年和 2020 年土地利用栅格数据开展计算，生成变化图谱，结果表明土地利用类型转换区域集中分布于水域与耕地周边。



图片来源：图片由 Origin 软件制图。

Figure 3. Sankey diagram showing changes in land use types in the Harbin metropolitan area from 2005 to 2020

图 3. 哈尔滨都市圈 2005~2020 年土地利用类型变化桑基图

Table 2. Land use conversion matrix for the Harbin Metropolitan area, from 2005 to 2020 (Unit: km²)
表 2. 哈尔滨都市圈 2005~2020 年土地类型转移矩阵表(单位: km²)

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	其他土地	转出面积
耕地	-	444.46	194.61	489.55	415.06	13.68	1557.36
林地	518.35	-	210.05	298.36	10.74	2.49	1040.00
草地	191.44	107.65	-	39.81	15.80	5.87	360.58
水域	429.25	66.33	112.05	-	17.76	0.42	625.82
建设用地	235.54	5.66	4.59	7.97	-	0.42	254.18
其他土地	15.49	0.30	5.16	1.39	6.47	-	28.81
转入面积	1390.08	624.40	526.47	837.09	465.84	22.89	-

3.2. 生态系统服务价值时空演变特征分析

由哈尔滨都市圈生态系统服务价值变化统计表(表 3)所示, 研究区 2005~2020 年 ESV 呈现出先下降后上升的趋势, 总体增长幅度为 0.95%。草地和水域是使得哈尔滨都市圈 ESV 增加的地类, 其中水域对 ESV 的正向贡献最为显著; 耕地、林地是 ESV 减少的主要地类, 其中, 林地是最主要的负向贡献因子。从年际变化来看, 2015~2020 年 ESV 的年际变化幅度最大, 增加了 257.29 亿元, 这与同一时期水域面积的增加有关。

Table 3. Statistics on changes of ESV in the Harbin metropolitan area
表 3. 哈尔滨都市圈生态系统服务价值变化统计表

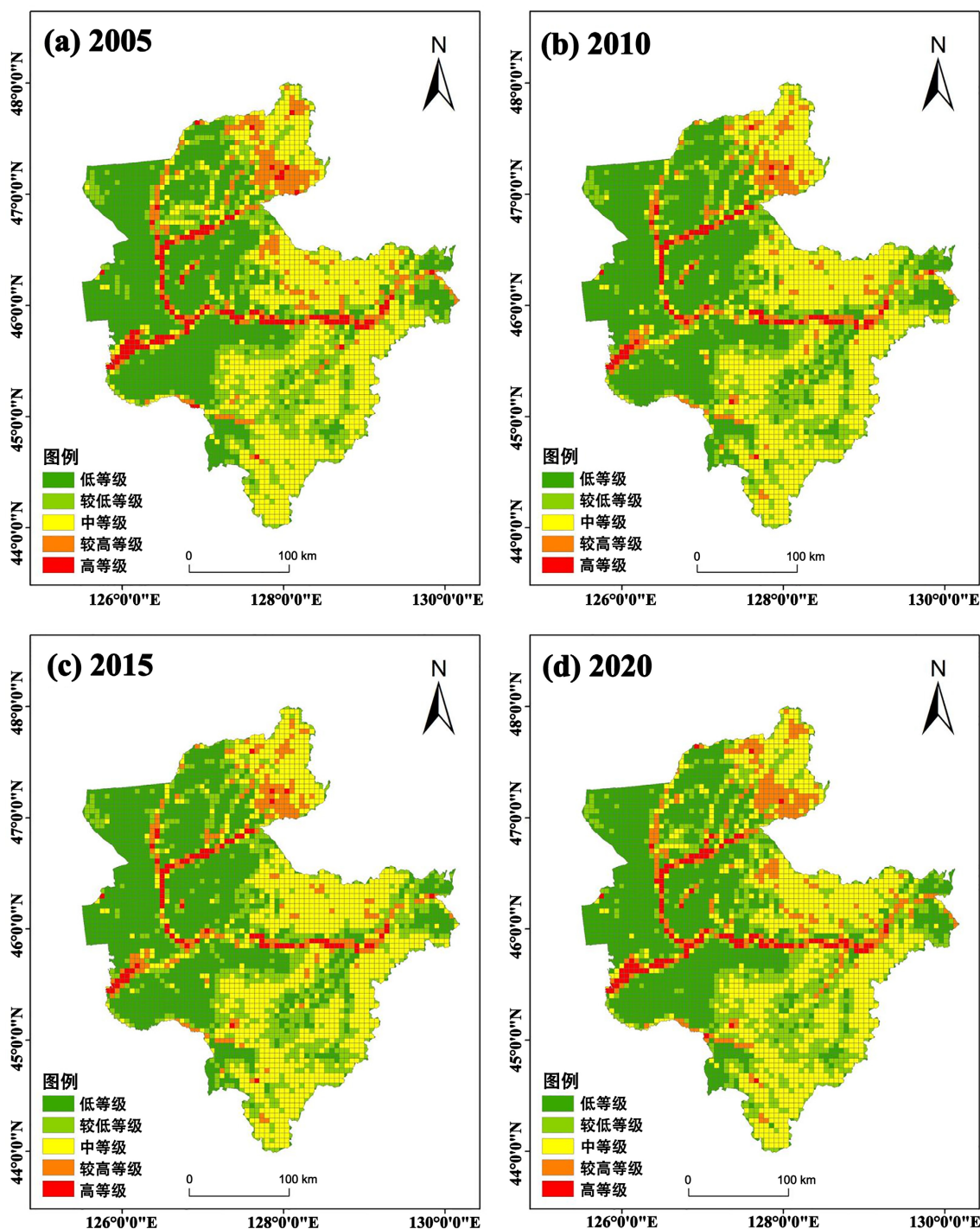
土地利用类型	生态系统服务价值 ESV/10 ⁸ 元				平均占比/%	变化量 ESV/10 ⁸ 元		
	2005	2010	2015	2020		2005~2010	2010~2015	2015~2020
耕地	332.16	331.61	331.97	330.88	9.84	-0.55	0.36	-1.09
林地	1472.02	1455.24	1454.88	1450.68	43.26	-16.78	-0.36	-4.20
草地	69.88	90.47	90.17	73.79	2.40	20.59	-0.30	-16.38
水域	1596.19	1385.06	1368.92	1647.89	44.49	-211.13	-16.14	278.97
其他土地	0.20	0.21	0.21	0.20	0.01	0.01	0.00	-0.01
总计	3470.45	3262.59	3246.15	3503.44	100.00	-207.86	-16.44	257.29

哈尔滨都市圈不同服务功能 ESV 如表 4 所示, 调节服务在各类生态系统服务功能中占据主导, 占价值总量的 76.86%, 支持服务、供给服务和文化服务依次居后。2005~2020 年, 各生态系统服务功能价值演变趋势与哈尔滨都市圈整体 ESV 变化一致, 其中调节服务价值变动最为突出。

Table 4. Statistical table of ESV for different service functions in the Harbin metropolitan area
表 4. 哈尔滨都市圈不同服务功能生态系统服务价值统计表

服务功能类型	生态系统服务价值 ESV/10 ⁸ 元				2005~2020	
	2005	2010	2015	2020	平均占比/%	变化量 ESV/10 ⁸ 元
供给服务	211.29	195.96	194.73	214.14	6.05	2.85
调节服务	2678.09	2493.55	2479.15	2711.16	76.86	33.07
支持服务	478.01	472.98	472.44	475.14	14.08	-2.87
文化服务	103.06	100.10	99.83	103.00	3.01	-0.06

本研究通过在 ArcGIS 软件中按研究区范围创建 $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ 格网作为研究单元, 以分析哈尔滨都市圈 ESV 时间和空间变化特征; 完成各格网单元 ESV 测算后, 采用自然间断点法将研究区 ESV 划分为低、较低、中、较高、高五个等级。经重分类处理, 形成 2005~2020 年该区域 ESV 总体空间分布状况(图 4)。



图片来源: 图片由 ArcGIS 10.2 软件制图。

Figure 4. Spatio-temporal distribution map of ESV in the Harbin metropolitan area from 2005 to 2020

图 4. 哈尔滨都市圈 2005~2020 年 ESV 时空分布图

研究区 ESV 存在中部偏高, 西部较低的空间分布特点, 中部 ESV 高等级地区主要为水域和林地, 西部低等级和较低等级地区主要为耕地和建设用地; 其中, ESV 高等级地区沿松花江流域分布; 对哈尔滨都市圈除松花江流域以外地区进行分析得出, 研究区西部 ESV 主要为低等级, 东部 ESV 主要为中等等级, 北部为 ESV 较高等级集中分布区。

4. 结论

本研究聚焦哈尔滨都市圈, 利用土地利用动态度、土地利用转移矩阵、生态系统服务价值评估等方法, 全面剖析研究区 ESV 时空分异规律, 揭示了该区域土地利用和 ESV 的变化规律。结果表明:

(1) 研究期内, 哈尔滨都市圈土地利用结构出现明显转变。耕地与林地面积持续减少, 草地和水域面积先升后降, 建设用地面积占比相对稳定。各土地利用类型变化速度差异显著, 草地变化最为剧烈, 水域变化速度次之。土地类型转换以耕地、林地转出为主, 同时存在其他土地类型向草地、水域、建设用地的转入现象。

(2) 哈尔滨都市圈 2005~2020 年 ESV 呈现先下降后上升的趋势, 研究区 ESV 累计增长 0.95%, 增长的主要贡献类型包括草地和水域, 其中水域的贡献度最高; 而耕地和林地则是导致 ESV 减少的主要因素。从服务功能构成看, 调节服务占据核心地位, 各服务功能价值与 ESV 总量变化呈现高度同步性, 调节服务价值波动幅度最为显著。在空间分布上, ESV 呈现中部偏高、西部较低的特点, 高等级区域主要集中在松花江流域的水域和林地, 低等级和较低等级区域主要为西部的耕地和建设用地。

基金项目

黑龙江省哲学社会科学规划项目(22JYE462), 哈尔滨师范大学研究生创新项目(HSDSSCX2024.02)。

参考文献

- [1] 殷楠, 王帅, 刘焱序. 生态系统服务价值评估: 研究进展与展望[J]. 生态学杂志, 2021, 40(1): 233-244.
- [2] 韩伟, 徐珊. 松嫩平原土地利用变化特征及生态系统服务价值研究——以哈尔滨市为例[J]. 中国农学通报, 2022, 38(26): 82-90.
- [3] 刘志涛, 王少剑, 方创琳. 粤港澳大湾区生态系统服务价值的时空演化及其影响机制[J]. 地理学报, 2021, 76(11): 2797-2813.
- [4] Gashaw, T., Tulu, T., Argaw, M., Worqlul, A.W., Tolessa, T. and Kindu, M. (2018) Estimating the Impacts of Land Use/Land Cover Changes on Ecosystem Service Values: The Case of the Andassa Watershed in the Upper Blue Nile Basin of Ethiopia. *Ecosystem Services*, **31**, 219-228. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.05.001>
- [5] 哈黑龙江省建设厅. 黑龙江省建设厅关于加强哈尔滨大都市圈城镇体系规划编制工作有关问题的通知[EB/OL]. <https://www.pkulaw.com/lar/bdabab51e9b126c3243bfb26e07712aebdfb.html>, 2001-06-04.
- [6] 陈百明, 周小萍. 《土地利用现状分类》国家标准的解读[J]. 自然资源学报, 2007(6): 994-1003.
- [7] 秦晓川, 付碧宏. 青岛都市圈生态系统服务-经济发展时空协调性分析及优化利用[J]. 生态学报, 2020, 40(22): 8251-8264.
- [8] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 643-650.
- [9] 张涛, 徐军朋. 东莞市 1987-2021 年土地利用变化及驱动分析[J]. 地理空间信息, 2023, 21(12): 72-76.
- [10] 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.
- [11] 黄贞斌, 李红波. 武汉城市圈土地利用及生态系统服务价值时空演变多情景模拟[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(12): 2542-2557.