

广西壮族自治区耕地绿色利用效率 时空格局与影响因素

陆燕和¹, 刘彦花¹, 蒙焯铭¹, 韦媛媛¹, 梁云菲², 张林鹏²

(1. 南宁师范大学 自然资源与测绘学院, 广西 南宁 530100; 2. 南宁师范大学 地理科学与规划学院, 广西 南宁 530100)

摘要: [目的] 研究广西壮族自治区(简称“桂”)耕地绿色利用效率时空变化特征及影响因素, 为推动耕地管理和高效利用, 促进农业绿色发展提供决策依据。[方法] 基于 2010—2021 年 14 个地市面板数据构建指标体系, 利用超效率 SBM 模型测算耕地绿色利用效率, 借助 ArcGIS 分析工具可视化时空分布格局与演变趋势分析, 并采用 GTWR 模型揭示影响因子时空异质性。[结果] ① 时间上, 广西壮族自治区耕地绿色利用效率历经平稳增长、缓慢增长和快速增长 3 个阶段, 总体呈稳步上升态势, 各地市效率值曲线演变特征差异显著。② 空间上, 呈现桂东、桂南高, 桂西、桂北居中, 桂中较差的分布特征, “东西”和“南北”差异呈缩小态势。③ 各影响因子作用机理存在显著时空异质性。正向因子起到合理分配资源、调整产业结构等作用, 负向因子导致地力下降、劳动力短缺、污染加剧等问题。[结论] 广西壮族自治区耕地绿色利用效率存在显著的时空差异, 复种指数、农用机械投入强度及城乡收入差距影响强度大。建议未来深入挖掘各地农业特色与潜力, 差异化制定耕地绿色利用效率提升策略, 推动农业区域差异化发展, 全面提升广西壮族自治区耕地绿色利用效率。

关键词: 耕地绿色利用效率; 超效率 SBM 模型; GTWR 模型; 广西壮族自治区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2025)02-0325-12

中图分类号: F323.211, X322

文献参数: 陆燕和, 刘彦花, 蒙焯铭, 等. 广西壮族自治区耕地绿色利用效率时空格局与影响因素[J]. 水土保持通报, 2025, 45(2): 325-336. Lu Yanhe, Liu Yanhua, Meng Yeming, et al. Spatiotemporal pattern and influencing factors of green use efficiency of cultivated land in Guangxi Zhuang Autonomous Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(2): 325-336. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2025.02.033; CSTR: 32312.14.stbctb.2025.02.033.

Spatiotemporal pattern and influencing factors of green use efficiency of cultivated land in Guangxi Zhuang Autonomous Region

Lu Yanhe¹, Liu Yanhua¹, Meng Yeming¹, Wei Yuanyuan¹, Liang Yunfei², Zhang Linpeng²

(1. College of Natural Resources and Surveying, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi 530100, China; 2. School of Geography Science and Planning, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi 530100, China)

Abstract: [Objective] The spatio-temporal characteristics and influencing factors of the green use efficiency of cultivated land in Guangxi Zhuang Autonomous Region were studied, in order to provide decision-making basis for promoting the management and efficient use of cultivated land and promoting the green development of agriculture. [Methods] An index system was established using panel data from 14 cities and regions between 2010 and 2021. The super-efficiency SBM model was applied to estimate the green use efficiency of cultivated land, while the spatio-temporal distribution patterns and evolution trends were visualized using the ArcGIS analysis tool. Additionally, the GTWR model was employed to reveal the spatio-temporal heterogeneity of influencing factors. [Results] ① Temporal trends: The green use efficiency of cultivated land in Guangxi Zhuang Autonomous Region underwent three distinct phases—steady growth, slow growth, and rapid growth—demonstrating an overall upward trend. However, notable differences were observed in the efficiency evolution curves across different cities. ② Spatial distribution: The efficiency levels were highest in

收稿日期: 2024-11-18

修回日期: 2024-12-14

采用日期: 2024-12-16

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于图谱分析的区域经济发展与资源环境脱钩路径研究: 以广西北部湾经济区为例”(41461116)

第一作者: 陆燕和(2001—), 女(壮族), 广西壮族自治区来宾市人, 硕士研究生, 研究方向为土地信息技术与应用。Email: 2285725616@qq.com。

通信作者: 刘彦花(1972—), 女(汉族), 湖南省衡阳市人, 博士, 教授, 主要从事地理信息技术方向相关研究。Email: 369737045@qq.com。

Eastern and Southern Guangxi Zhuang Autonomous Region, moderate in western and Northern Guangxi Zhuang Autonomous Region, and lowest in Central Guangxi Zhuang Autonomous Region. The disparities between “east vs. west” and “north vs. south” gradually narrowed over time. ③ The impact mechanisms of various factors exhibited significant spatio-temporal heterogeneity. Positive factors contributed to rational resource allocation and industrial structure optimization, while negative factors exacerbated challenges such as soil degradation, labor shortages, and pollution intensification. [Conclusion] The green use efficiency of cultivated land in Guangxi Zhuang Autonomous Region displays substantial spatio-temporal variations. The multiple cropping index, agricultural machinery input intensity, and urban-rural income disparity exert strong influences. To enhance land use efficiency, future efforts should focus on leveraging the unique agricultural characteristics of different regions, formulating region-specific improvement strategies, and promoting differentiated agricultural development, ultimately fostering a more sustainable and efficient use of cultivated land in Guangxi Zhuang Autonomous Region.

Keywords: green use efficiency of cultivated land; super-efficiency SBM model; GTWR model; Guangxi Zhuang Autonomous Region

耕地绿色利用是保障国家粮食安全与推进生态文明建设的重要路径,对促进绿色经济增长,实现农业可持续发展具有重要作用。然而,在当前人口增长、经济发展及城镇化加速三重驱动下^[1-2],耕地面临着非农化加速,面源污染加剧,农业碳排放上升以及地力退化等问题,严重威胁耕地生态健康。2024 年中央一号文件明确提出,推广绿色生产方式,持续推进农业绿色发展。广西壮族自治区(简称“桂”)作为全国重要的农产品生产区,承担着保障粮食和重要农产品供给的重任。但长期的高强度利用和不合理的耕作方式导致耕地“变瘦、变薄、变硬”,耕地利用向绿色化转型已成为当务之急。因此,研究广西壮族自治区耕地绿色利用效率的演变特征及影响因素对于践行生态文明理念,提升耕地生态保护水平,推动农业可持续发展具有重要意义。

如何提升耕地绿色利用效率,确保 14 多亿人口的粮食安全,长期以来是学者们热议的课题。随着生态文明建设的持续推进,学者们将生态理念融入耕地利用中,针对耕地绿色利用开展多维度研究,主要包含以下几个方面:①内涵界定。耕地绿色利用效率是在耕地利用效率的基础上将环境因素纳入评价指标的考虑范围内,具体指当投入或产出一定时,在实现最大效益或最低成本的基础上将环境成本考虑在内,将环境与效率充分联系起来。因而,学者们普遍认为耕地绿色利用效率是耕地利用过程中以最低生产要素投入实现最优的经济、社会和生态产出^[3-5]。②研究尺度。学界围绕省际、县域等层级^[6-7]探究耕地绿色利用效率的现状与演变规律,近几年来逐步聚焦到长江经济带、黄河下游等地域^[8-9]。③测算方法。从投入—产出视角构建效率评价体系并应用 DEA-

SBM 混合模型进行测度^[10-11],已成为耕地绿色利用研究的基本范式,超效率 SBM 模型、EBM 模型及 Malmquist-Luenberger 生产指数等^[12-14]数据包络分析方法为主流方法。④时空分析。聚焦在核密度估计^[15]、泰尔指数等^[16]方法,从地域整体及局部两方面揭示其时空分布特征。⑤影响因素研究。多采用 Tobit 回归分析^[17]、动态面板系统 GMM 等^[18]模型,指明耕地绿色利用效率受多重因素影响。

综上所述,现有研究为进一步探讨耕地绿色利用效率的内涵、评估方法和影响机制奠定了良好基础。但仍有以下 2 个方面值得深化:①研究尺度多聚焦于宏观和微观尺度,中观尺度研究相对较少。国家尺度范围广但研究对象不够精准,县域尺度因官方数据缺失较多而难以保证研究结果可靠性。②影响因素研究以 Tobit 回归模型居多,其存在假设回归系数固定、处理空间数据能力有限及忽略空间异质性问题。据此,本研究以广西壮族自治区 14 个地市为研究对象,以地级市为研究单元可弥补中观层面研究缺失,且研究数据主要来源于地市统计年鉴或社会统计公报,具有连贯性和可靠性,确保研究结果准确,采用超效率 SBM 模型测度各地市 2010—2021 年耕地绿色利用效率,通过 ArcGIS 分析工具探究其时空演变特征,运用 GTWR 模型揭示影响因素的时空异质性,深入分析影响耕地绿色利用效率的因子,以期因地制宜为广西壮族自治区地区制定耕地绿色利用效率提升举措提供参考。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

广西壮族自治区地处祖国南疆,位于东经 104°26′—112°04′,北纬 20°54′—26°24′,是连接中国

内陆与东南亚的重要门户,下辖南宁市、柳州市、桂林市、梧州市、北海市、防城港市、钦州市、贵港市、玉林市、百色市、贺州市、河池市、来宾市、崇左市 14 个地市(图 1)。截至 2021 年,总耕地面积 $3.31 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占全区总面积的 13.91%,耕地面积最大的前 3 个地市依次为南宁 $6.80 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 崇左 $4.60 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 百色 $4.60 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 面积最小的前 3 个地市是防城港 $9.04 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 北海 $1.20 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 梧州 $1.41 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。耕地主要分布于坡度较小的区域,但各区域耕地的分布差异较大,70%耕地分布在桂东的平原、台地及丘陵,桂南和桂中耕地主要分布于平原及丘陵,而桂西和桂北耕地多分布于山间谷中。大部分耕地为中低产土壤,土层薄且肥力不高,土壤酸化严重,水土保持能力差,加之其农业生产长期过度依赖于农药、化肥、农业机械等使用,耕地地力退化、生态环境污染等状况逐渐加剧。因此,科学评价广西壮族自治区耕地绿色利用效率水平,深入分析驱动因子,是实现广西壮族自治区农业绿色发展的必然选择。

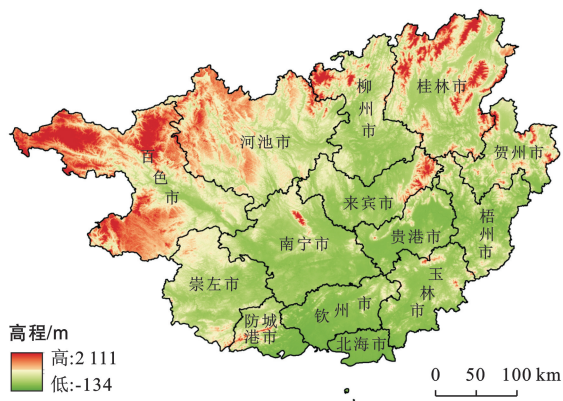


图 1 广西壮族自治区地形及行政区划

Fig.1 Topography and administrative divisions of Guangxi Zhuang Autonomous Region

1.2 数据来源

本研究所涉及耕地绿色利用指标及影响因素数据来源于 2011—2022 年的《广西统计年鉴》及各市统计年鉴、社会统计公报和相关统计资料、广西统计数据平台,行政区划数据来源于全国地理信息资源目录服务系统(www.webmap.cn)。

2 研究方法

2.1 超效率 SBM 模型

超效率 SBM 模型结合超效率 DEA 模型与 SBM 模型的优点,将非期望产出纳入模型的同时,还能够有效区分和排序效率值超过 1 的决策单元,有效避免了传统模型在评价过程中可能导致有效决策单元信

息缺失问题。超效率 SBM 模型原理如下:在耕地利用过程中,假设有 n 个决策单元, m 个投入指标, s_1 个期望产出指标, s_2 个非期望产出指标,向量 $x \in R^m$ 为投入,向量 $y^g \in R^{s_1}$ 为期望产出,向量 $y^b \in R^{s_2}$ 为非期望产出,定义矩阵为 $X = [x_1 \cdots x_n] \in R^{m \times n}$, $Y^g = [y_1^g \cdots y_n^g] \in R^{s_1 \times n}$, $Y^b = [y_1^b \cdots y_n^b] \in R^{s_2 \times n}$, 模型的表达式为^[19]:

$$\rho^* = \min \left(1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{D_i^-}{x_{ih}} \right) / \left[1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{D_r^g}{y_{rh}^g} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{D_k^b}{y_{kh}^b} \right) \right] \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} x_{ik} \geq \sum_{j=1, j \neq h}^n \lambda_j x_{ij} - D_i^- & (i=1 \cdots m) \\ y_{rh}^g \geq \sum_{j=1, j \neq h}^n \lambda_j y_{rj}^g + D_r^g & (r=1 \cdots s_1) \\ y_{kh}^b \geq \sum_{j=1, j \neq h}^n \lambda_j y_{kj}^b - D_k^b & (k=1 \cdots s_2) \\ 1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{D_r^g}{y_{rh}^g} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{D_k^b}{y_{kh}^b} \right) > 0 \\ D^- \geq 0, D^g \geq 0, D^b \geq 0 \end{cases}$$

式中: D^- , D^g , D^b 分别为投入、期望产出、非期望产出的松弛变量; λ 为权重向量; ρ^* 为决策单元的耕地绿色利用效率值。

2.2 趋势面分析

趋势面分析法运用全局多项式对空间采样点的数值进行数学函数拟合,将二维空间的采样点数据转换为三维可视化平滑曲线,从而揭示地理要素在空间上的变化趋势。本研究采用趋势面展示广西壮族自治区耕地绿色利用效率的空间演化趋势。设 $Z_i(x_i, y_i)$ 为第 i 个地理要素的真实观测值, $T_i(x_i, y_i)$ 为趋势面拟合值,计算公式为^[20]:

$$Z_i(x_i, y_i) = T_i(x_i, y_i) + \epsilon_i \quad (2)$$

式中: (x_i, y_i) 为地理坐标; ϵ_i 为残差。

2.3 GTWR 模型

GTWR 模型在 GWR 模型的基础上进行扩展,通过引入时间维度,不仅实现了对空间和时间双重非平稳性的全面考量,还解决了截面数据样本数量有限的问题。公式为^[21]:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i, t_i) X_{ik} + \epsilon_i \quad (3)$$

式中: y_i 代表第 i 个样本点的响应值,为被解释变量; $\beta_0(u_i, v_i, t_i)$ 为第 i 个样本点的截距项;回归系数 $\beta_k(u_i, v_i, t_i)$ 为第 i 个样本点在第 k 个解释变量上的系数值; (u_i, v_i) 为第 i 个样本点的经纬度坐标; t_i 为观测时间; X_{ik} 为第 i 个样本点的第 k 个解释变量; ϵ_i 为随机误差项,表示模型中未包括的其他随机因素对 y_i 的影响。

2.4 评价指标体系构建

耕地绿色利用是在可持续发展理念指导下的强调生态优先、资源节约、循环利用的土地利用方式。经济维度体现绿色生产方式,减少化学肥料消耗。社会维度构建符合民众期待的土地利用格局,持续增进民生福祉。生态维度强化生态屏障,优化生态产品供给,推动绿色现代化发展。参考文献已有研究基于准确性、科学性和可代表性等原则,构建耕地绿色利用

效率指标体系(如表 1 所示)^[22-23]。其中,非期望产出由农业碳排放表示,包括化肥、农药、机耕、农业灌溉、农用机械等形成的碳排放,表征农业生产造成的负面环境效应,测算公式^[24-25]为:

$$E = \sum E_i = \sum (G_i \times \delta_i) \quad (4)$$

式中: E 是碳排放总量; E_i 是第 i 个碳源的碳排放量; G_i 是各碳排放源的原排放量; δ_i 是碳排放系数,可参考相关研究^[26-27]确定系数。

表 1 耕地绿色利用效率投入—产出指标体系

Table 1 Input-output index system of green use efficiency of cultivated land

一级指标	二级指标	指标说明
投入	土地投入	农作物播种面积/hm ²
	劳动力投入	乡村人口×(农业总产值/农林牧渔业总产值)/10 ⁴ 人
	资金投入	农药施用量/t 化肥使用量(折纯量)/t
	技术投入	农用机械总动力/10 ⁴ kW 有效灌溉面积/hm ²
期望产出	社会产出	粮食总产量/10 ⁴ t
	经济产出	农业总产值/10 ⁸ 元
非期望产出	农业碳排放	化肥、农药、农用机械、农业灌溉、机耕碳排放量/10 ⁴ t

3 结果与分析

3.1 广西壮族自治区的耕地绿色利用效率的演变特征

3.1.1 广西壮族自治区的耕地绿色利用效率演变特征 由图 2 可见,研究期内,广西壮族自治区耕地绿色利用效率整体呈稳步上升态势,由 2010 年的 0.71 提升至 2021 年的 0.96,增幅为 35.21%,但尚未达到最有效的投入生产前沿(即效率值大于等于 1)。基于效率值范围及曲线斜率将研究期分为 3 个阶段:①2010—2013 年为平稳增长期(效率值介于[0.70, 0.75]),斜率为 0.017,除 2011 年略有下滑外,其他年份均保持增长。该时期,全区通过实施增施有机肥、农作物秸秆还田等耕地质量建设项目,显著提升了耕地生产质量,粮食总产量实现了 9.95×10^5 t 的增长。同时,全区有多个县(市、区)被认定为国家级现代农业示范区,全力推进绿色农业项目,推广绿色生产方式,从而整体提升耕地绿色利用效率^[28]。②2013—2016 年处于缓慢增长期(效率值介于[0.75, 0.77]),斜率为 0.003。该阶段,广西壮族自治区洪涝、台风等灾害频发,对农业生产造成了负面影响。2013 年中央一号文件再次聚焦“三农”,国务院印发《关于加快发展现代农业,进一步增强农村发展活力的若干意见》首次提出从单纯“追求产量”向“数量质量效益并重”的方向转变,同时,要求必须健全国家对农业的支持保护体系,推广实施种粮农民补贴,提高农业保险保障水平,充分发挥政策惠农增收效应。这为恢复全区农业生

产,促进农业转型升级提供有力保障。③2016—2021 年为快速增长期(效率值介于[0.77, 0.96]),斜率为 0.038,增长势头明显增强。该时期,广西壮族自治区政府提出大力实施质量兴农绿色发展行动,持续推进“三品一标”认证,加快化肥农药使用量负增长行动步伐,创新节水灌溉技术,于 2020 年,全区农作物标准化生产基地面积超过 2.00×10^5 hm²,主要农作物化肥、农药使用量实现负增长,节肥、节药、节水耕地面积均超过 1.00×10^6 hm²,耕地绿色利用效率明显提升,生态循环农业发展取得显著成效。

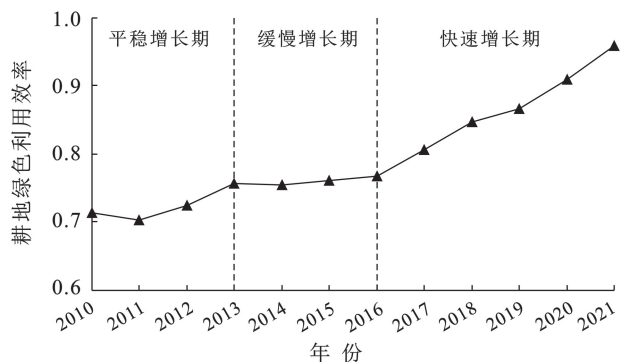


图 2 2010—2021 年广西壮族自治区耕地绿色利用效率的际年变化

Fig.2 Interannual change of green use efficiency of cultivated land in Guangxi Zhuang Autonomous Region from 2010 to 2021

3.1.2 地市耕地绿色利用效率演变特征 广西壮族自治区各地市耕地绿色利用效率均呈上升特征,但地

区间仍存在差异。为直观呈现各地市在耕地绿色利用上的相对优劣态势,以各市多年度效率值是否超越广西壮族自治区同期平均效率水平作为标准,将 14 个地市划分为高效能地城市群组、低效能地城市群组两个不同群组进行图示化展示。

(1) 高效能地城市群组分析。桂林市、梧州市、北海市、钦州市、玉林市、贺州市 6 市的效率值曲线波动幅度较大,在部分时段出现明显上升或下降(如图 3 所示)。除桂林市和钦州市效率值在个别年份低于自治区均值外,其余地市均长期高于自治区均值,耕地绿色利用效率较高。上述地市多位于河流沿岸或水系发达的地区,水资源丰富,土壤肥沃,利于耕地生产经营,为提高耕地绿色利用效率提供有利条件。

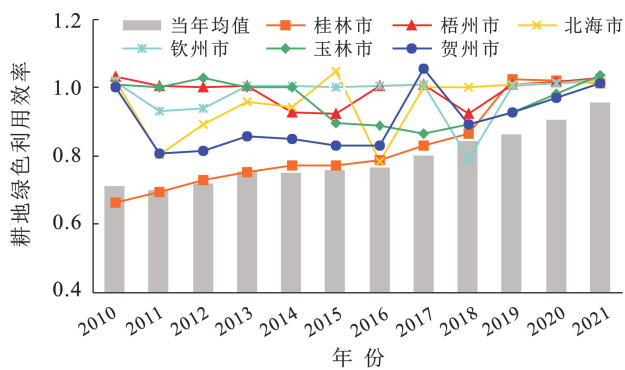


图 3 2010—2021 年广西壮族自治区高效能城市群组各地市耕地绿色利用效率的年度变化

Fig.3 Interannual changes of green use efficiency of cultivated land in cities of high-efficiency urban agglomerations in Guangxi Zhuang Autonomous Region from 2010 to 2021

(2) 低效能地城市群组分析。由图 4 可知,南宁市、柳州市、防城港市、贵港市、百色市、河池市、来宾市、崇左市 8 个城市的效率值曲线在 2016 年前较为平缓。此后,除来宾、柳州及贵港市外,其余地市出现大幅度上升且效率值在 2021 年均达到 1.00 以上,实现相对完全效率。贵港于 2017 年、2019 年遭遇严重的干旱和洪涝灾害,导致大部分农作物生长受阻、农田被淹,农作物受损严重,耕地利用效率提升困难。柳州市和来宾市两地效率值长期低于全区均值,随着柳州工业化和城市化进程加速,耕地撂荒、耕地非农化、违法用地等问题频发,造成耕地资源短缺,利用效率难以在短时期内提升。来宾市仍以高投入、高消耗、低产出的传统农业为主导,现代农业和高效农业的发展相对滞后,难以实现区域耕地绿色利用效率提升。

3.2 广西壮族自治区耕地绿色利用效率空间分布特征分析

3.2.1 耕地绿色利用效率空间格局特征 基于图 2 中广西壮族自治区耕地绿色利用效率值在不同发展

期的特征曲线,选择 2010,2013,2016,2021 年 4 个典型年份,利用 ArcGIS 自然断点法分段可视化耕地绿色利用效率空间分布格局(因现有研究没有统一的效率值等级划分标准,在此不做各年度等级间的对比,不同年份的相同颜色不代表相同等级)。由图 5 可知,2010—2021 年,广西壮族自治区各地市耕地绿色利用效率存在显著空间差异。为直观展示广西壮族自治区五大区域耕地绿色利用效率变化特征,基于图 5 绘制典型年份经济区效率变化柱形图(图 6)。

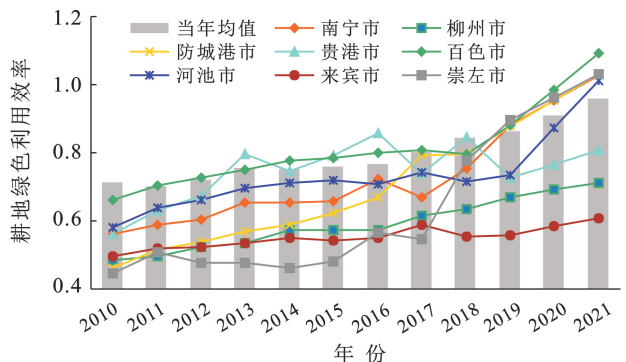


图 4 2010—2021 年广西壮族自治区低效能城市群组各地市耕地绿色利用效率的年度变化

Fig.4 Interannual change of green use efficiency of cultivated land in cities of low-efficiency urban agglomeration group in Guangxi Zhuang Autonomous Region from 2010 to 2021

桂东区域包括梧州市、贵港市、贺州市、玉林市这 4 个地市,耕地绿色利用效率值在 2010—2021 年处于高水平,主要得益于桂东区域占有全自治区大量的耕地,地势平坦可进行规模化利用,政府持续加大智能灌溉系统、无人机植保等先进农业技术和设备投入,成立生态农业合作社来统一采购有机肥、生物农药等环保产品,降低了农业生产成本,同时农户注重种植结构的调整,增加了茶叶、油茶等特色和高效率作物的播种面积,提高了耕地的绿色利用效率。

桂西区域包括百色市、河池市、崇左市 3 个地市,耕地绿色利用效率值在 2010—2016 年普遍偏低,主要由于桂西区域以山地和丘陵为主,耕地资源相对匮乏且分布零散,难以实现规模化生产,加之水土流失严重,治理难度大,对耕地利用和保护带来了挑战。同时,桂西区域是广西壮族自治区农业和经济发展相对较落后的地区,长期以采掘和原料工业为主,导致了耕地的过度开发和利用,农业基础设施滞后,缺乏先进农业技术以过度依赖化肥、农药来提高作物产量,造成了土壤污染^[29]。耕地绿色利用效率值于 2021 年出现明显提升,近些年来,其依托自身资源优势,大量种植高附加值的水果和经济作物,促进了

耕地产出效益的提升和农产品加工业的发展,且依托扶持资金发展了多种绿肥种植模式等技术,持续加强

农业面源污染治理,共同推动了耕地绿色利用效率的提升。

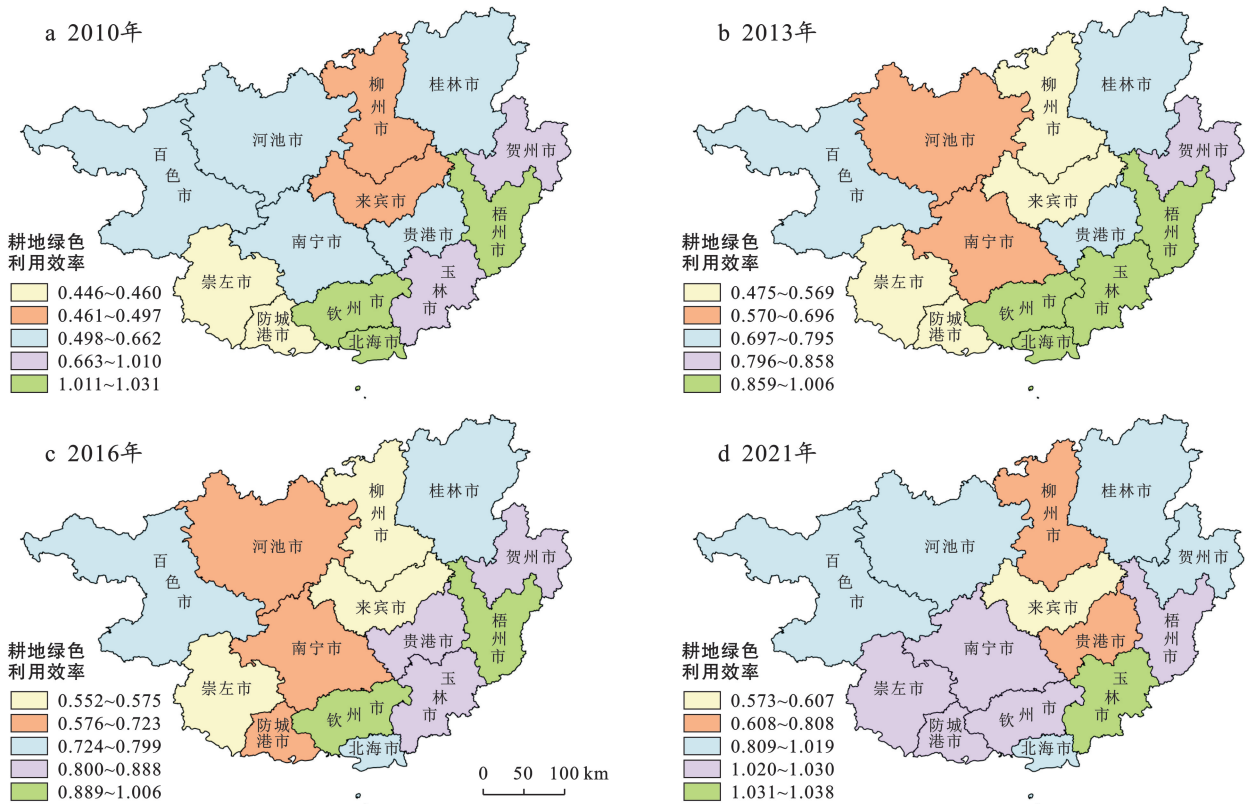


图 5 广西壮族自治区典型年份各市耕地绿色利用效率空间分布格局

Fig.5 Spatial distribution pattern of cultivated land green efficiency across cities in typical years in Guangxi Zhuang Autonomous Region

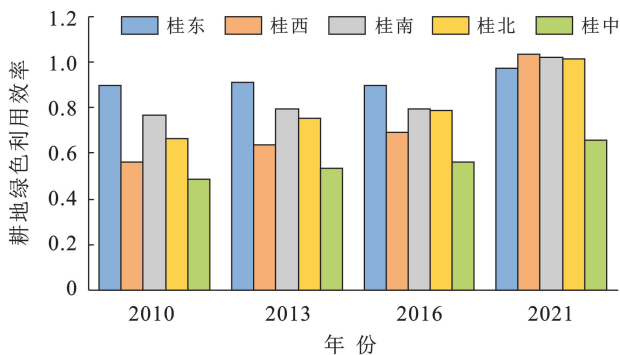


图 6 典型年份广西壮族自治区经济区耕地绿色利用效率变化
Fig.6 Changes in cropland's green utilization efficiency in Guangxi Economic Zone in typical years

桂南区域包括南宁市、北海市、钦州市、防城港市 4 个地市,耕地绿色利用效率值在 2010—2016 年普遍较高,主要由于其耕地土壤肥沃,有机质含量高,湖泊、水库等水利设施完善,为农业生产提供了充足的养分和水源,农民注重发展多样化的种植结构和作物的轮作及套种等合理种植方式的应用,提高了耕地利用效率和经济效益。2021 年耕地绿色利用效率处于

高水平,主要得益于经济发展快,农业现代化水平高,农业产业结构合理,种植业、渔业等产业协调发展,促进了耕地的多元化利用,加强与周边地区的农业合作与技术交流,协同推动区域农业绿色发展。

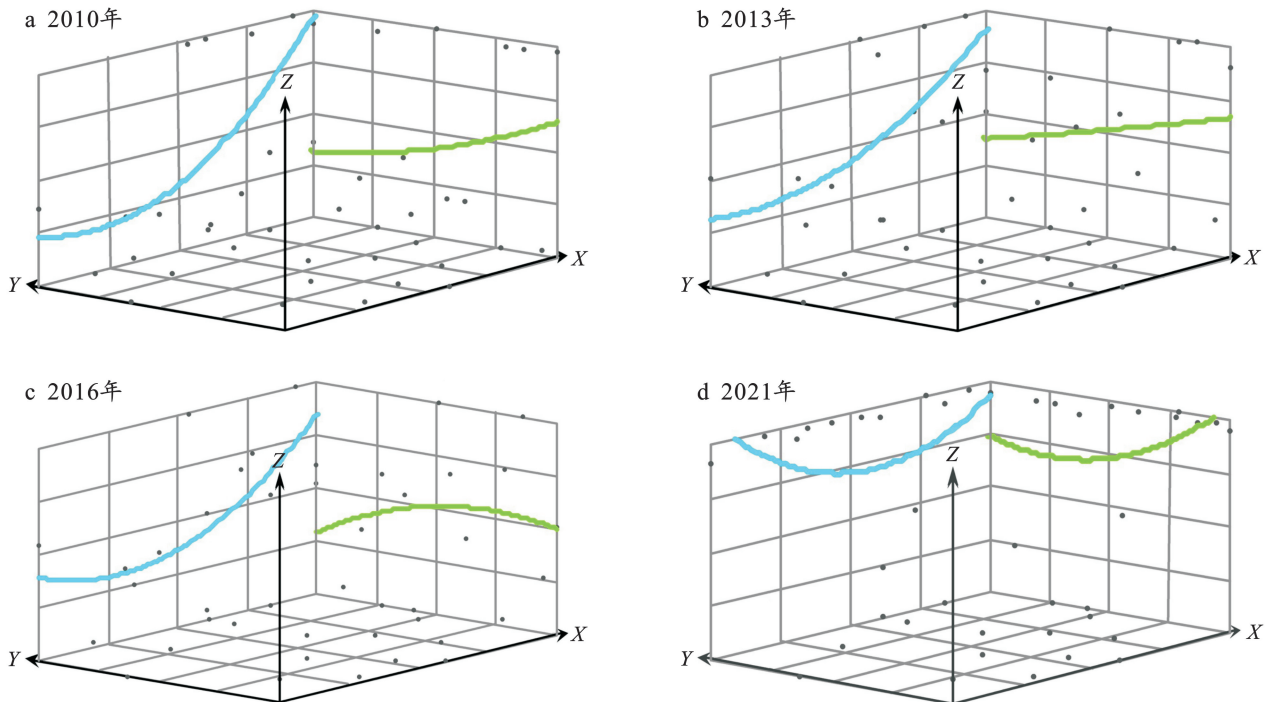
桂北区域仅包括桂林市,耕地绿色利用效率值在 2010—2021 年呈稳步上升,主要得益于其农业产业结构不断优化,形成了以荔浦芋头、恭城月柿等特色农产品为主导的农业发展模式。在农业发展中注重培育龙头企业和合作社等新型农业经营主体,通过规模化经营和产业化发展提高了农产品的市场竞争力和带动了农民进行绿色生产。加之不断推广绿色种养循环农业、农业废弃物资源化利用、土壤改良等措施,实现了耕地生态环境和质量显著改善。此外政府鼓励农民发展农产品加工业和乡村旅游等产业,延长了农业产业链,提高了农产品的附加值和耕地利用效率。

桂中区域包括柳州市、来宾市 2 个地市,耕地绿色利用效率值在 2010—2021 年提升缓慢,与其他地区差距较大,可能原因是耕地受地形分割,集中连片的平原少,难以实现机械化作业,农业生产效率低下。

加之工业发展加快,工业用地需求增加,导致优质耕地被占用,使可用于农业经营的耕地进一步减少^[30]。桂中区域实施了一系列促进农业发展的政策,但因覆盖面不广、农业保险制度尚不完善、补贴标准偏低等问题,农民面临较大的生产风险,未能充分调动农民的生产积极性,因此导致耕地绿色利用效率提升迟缓。

3.2.2 耕地绿色利用效率空间演变趋势 图 7 为耕地绿色利用效率三维趋势图。效率值在空间上总体呈现“东高西低、南高北低”的态势,东西差异和南北差异同时存在,东西差异随时间推移显著缩小,南北差异缩小程度较小。

具体来看,东西向的蓝色曲线在 2010—2016 年呈向右上方倾斜,说明在该时期东部效率值始终高于西部,2021 年右上斜线逐渐演变为“U”型曲线,呈“东西高,中间低”状态,说明随着时间推移,西部地区耕地绿色利用效率不断提升并高于东部地区。南北向的绿色曲线在 2010—2013 年表现为向右上倾斜,说明该时期南部地区效率值高于北部地区,至 2016 年,右下斜线演变为倒“U”型曲线,呈“南北低,中间高”状态,中部地区效率值高于南北部地区,但至 2021 年倒“U”型曲线演变为“U”型曲线,北部地区效率值有所提高但仍低于南部地区。



注:Z 为耕地绿色利用效率值;X 表示正东方向;Y 表示正北方向;蓝线与绿线分别代表东西向和南北向的空间格局趋势线。

图 7 2010—2021 年典型年份广西壮族自治区耕地绿色利用效率空间演变趋势

Fig.7 Spatial evolution trends of cultivated land green efficiency during typical years in Guangxi Zhuang Autonomous Region from 2010 to 2021

3.3 耕地绿色利用效率影响因素分析

3.3.1 影响因素检验 采用 GTWR 模型,将耕地绿色利用效率作为因变量,基于已有研究成果^[31],从自然条件、资源禀赋、社会发展、农业技术 4 个维度选取指标作为解释变量(如表 2 所示)。其中,由于地形、坡度、气候等因素影响,各地区复种指数及作物种植结构存在差异,因此通常选用复种指数及作物种植结构作为区域自然条件的替代量;资源禀赋方面用人均耕地面积衡量,人均耕地面积是衡量耕地资源丰裕度的重要指标;社会发展方面以城乡收入差距和人均 GDP 表示,城乡收入差距是反映社会经济发展不平衡的重要指标,人均 GDP 表征经济发展水平;农业技

术方面以有效灌溉率、农药投入强度及农用机械投入强度衡量,表示农业技术的应用现状。为避免出现伪回归现象,使用方差膨胀因子(VIF)来评估解释变量之间的共线性程度,若 VIF 大于 10,通常被认为解释变量存在严重的共线性问题,影响回归结果的可靠性和解释性。因此,将 VIF 大于 10 的变量剔除,最终确定复种指数、作物种植结构、人均 GDP、城乡收入差距、农用机械投入强度 5 个指标作为解释变量。表 3 为模型回归结果的相关参数,据表 3 可知,模型的 R^2 和修正的后的 R^2 均大于 0.90,这表明 GTWR 模型的拟合程度较优,能够较好地测度解释变量对因变量的影响。

表 2 2010—2021 年广西壮族自治区耕地绿色利用效率影响因素指标选取

Table 2 Indicator selection for factors affecting cultivated land green efficiency

维度	解释变量	变量说明	单位	方差膨胀因子(VIF)
资源禀赋	人均耕地面积	农业从业人员/耕地面积	人/hm ²	11.78
自然条件	复种指数	农作物播种面积/耕地面积×100%	%	2.62
	种植结构	经济作物播种面积/粮食作物播种面积	hm ² /hm ²	1.53
社会发展	城乡收入差距	城镇居民人均可支配收入/农村居民人均可支配收入	元/元	2.01
	人均 GDP	人均 GDP	元	1.48
	农药投入强度	农药施用量/耕地面积	t/hm ²	12.51
农业技术	农用机械投入强度	农用机械总动力/耕地面积	kW/hm ²	3.62
	有效灌溉率	有效灌溉面积/耕地面积	hm ² /hm ²	10.47

表 3 2010—2021 年广西壮族自治区 GTWR 模型相关参数

Table 3 GTWR model parameters in Guangxi Zhuang Autonomous Region from 2010 to 2021

模型参数	Bandwidth	Sigma	Residual Squares	AIC _c	R ²	R ² Adjusted	Spatio-temporal Distance Ratio
值	0.336 9	0.025 3	0.047 0	-309.254 3	0.910 8	0.907 8	0.334 9

3.3.2 影响因素回归系数的时空异质性分析 由图 8 可知,研究期内,全区层面复种指数与人均 GDP 对耕地绿色利用效率均产生正向影响,复种指数影响力有所减弱,人均 GDP 影响力呈逐年增强趋势。作物种植结构、城乡收入差距及农用机械投入强度均呈负向影响,过度的机械投入与当地的耕地绿色利用不匹配致使农用机械投入强度为负因子,作物种植结构影响力先减弱后增强,城乡收入差距影响力逐年增强,增幅为 84.62%,农用机械投入强度影响力先减弱后增强,于 2021 年达到最强。

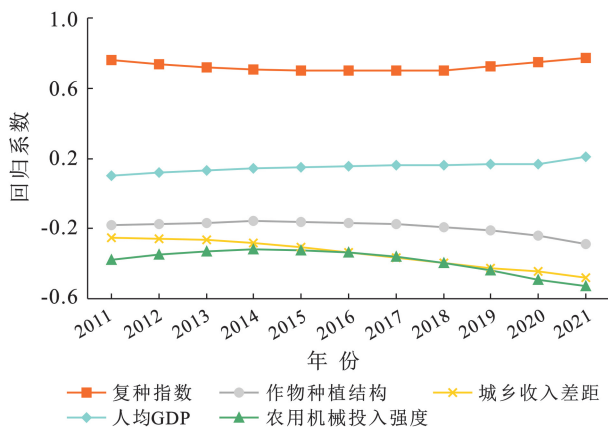


图 8 2010—2021 年广西壮族自治区耕地绿色利用效率影响因素回归系数变化趋势

Fig.8 Trends of regression coefficients for cultivated land green efficiency factors in Guangxi Zhuang Autonomous Region from 2010 to 2021

综上所述,对各影响因子回归系数进行计算并用绝对值大小排序,结果为:复种指数>农用机械投入强度>城乡收入差距>作物种植结构>人均 GDP,农业生产应重视重要因子的影响作用。

为进一步直观分析不同时期各影响因素的空间差异,采用数量分级法对各影响因素的平均回归系数进行可视化分析,结果如图 9 所示。

(1) 复种指数均表现为正向影响。2010—2013 年,正向高值区所占比例为 21%,正向低值区仅有北海市 1 个城市,正向中值区所占比例为 29%。2013—2021 年正向中值区范围不断缩小,正向较高值区数量保持相对稳定,南宁市转为正向较高值区,该市作为广西壮族自治区经济快速发展地区,城市扩张导致大量耕地被用于城市建设和工业发展,农业生产用地减少,因而复种指数影响力减弱。正向低值区增加至钦州市和玉林市,近年来,钦州侧重于非农产业发展,复种指数逐年减小,耕地产出减少,进而影响力减弱。玉林市大部分地区存在水资源短缺、灌溉落后的问题,导致水资源供应跟不上作物生长需求,影响作物产量,因而复种指数提升对提升耕地利用效率不显著。

(2) 人均 GDP 以正向影响为主。2010—2013 年,正向极高值区所占比例为 14%,正向较高值所占比例为 29%,负向高值区所占比例为 21%。2013—2021 年,正向极高值区稳定分布于崇左,该市一直是人均 GDP 增长正向影响最显著的区域,表明其在实现经济快速发展的同时,将耕地资源的保护和利用提升到了一个新的高度。负向高值区减少至 1 个城市,表明广西壮族自治区在经济快速发展过程中愈加注重与环境保护的协调性,通过淘汰高污染企业,发展低污染、高效益产业等措施减少对耕地绿色利用效率的负面影响。正向较高值区数量保持在较高水平,所占比例约 50%,越来越多地区开始重视并践行绿色发展理念,努力实现经济效益与生态效益的协调发展。

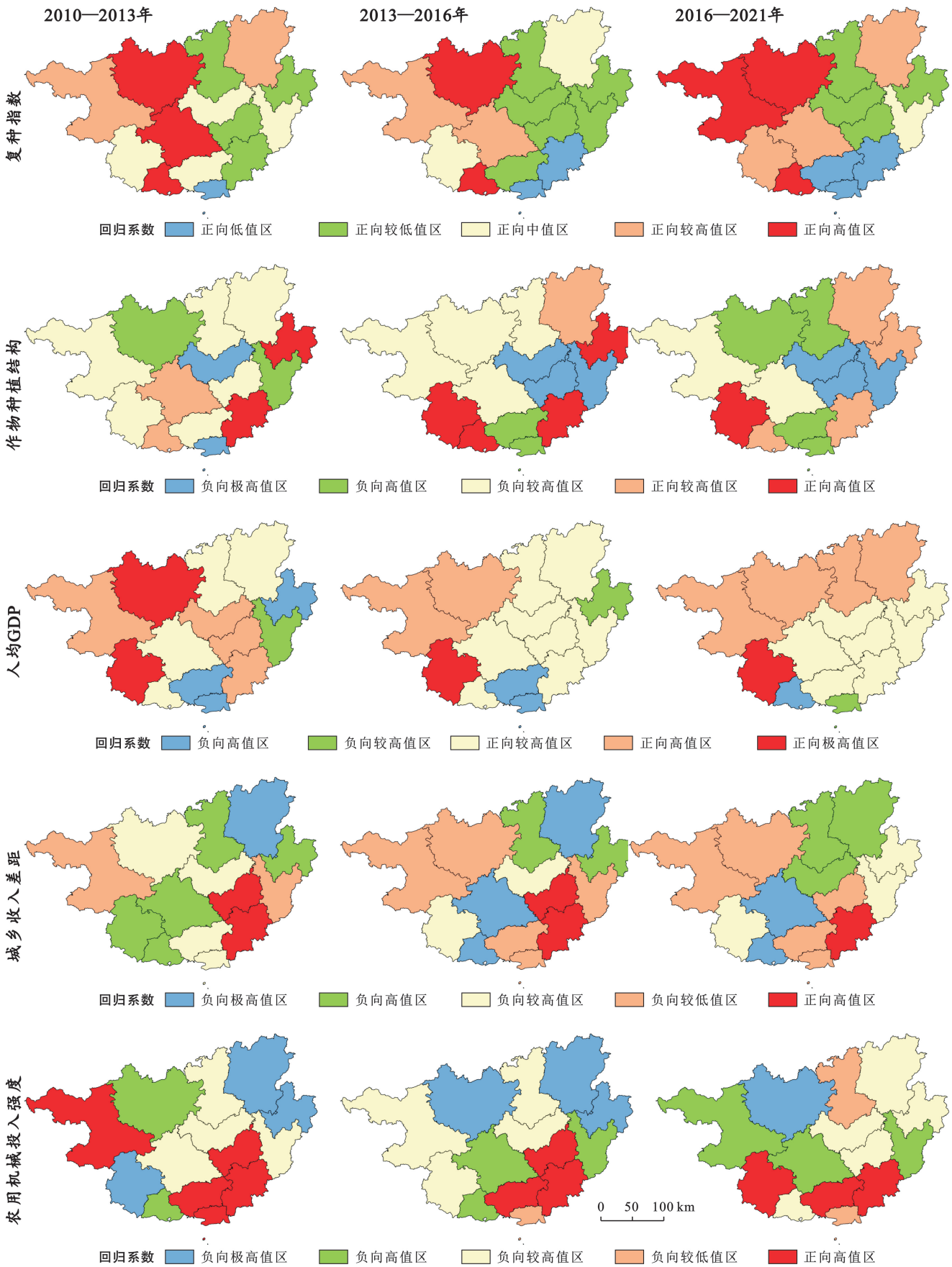


图 9 2010—2021 年广西壮族自治区 GTWR 模型回归系数空间异质性

Fig.9 Spatial heterogeneity of regression coefficients in GTWR model in Guangxi Zhuang Autonomous Region from 2010 to 2021

(3) 作物种植结构以负向影响为主。2010—2013 年,正向高值区、负向极高值区所占比例均为 14%,负向较高值区所占比例高达 43%。2013—2016 年,正向高值区分布范围扩大,这些地区有合理的种植比例,实现作物与资源的良好匹配,负向极高值区逐渐向桂东区域迁移,负向较高值区减少至 4 个地市,主要分布于桂西区域。2016—2021 年,正向高值区仅有崇左市,负向较高值区城市数量仍保持减少趋势,负向极高值区则稳定聚集于来宾市、贵港市和梧州市,这些地市急需借鉴成功的种植模式和技术,进一步优化种植结构,从而促进耕地绿色利用效率的有效提升。

(4) 城乡收入差距以负向影响为主。2010—2016 年,城乡收入差距对除贵港市、玉林市外其他地区均呈现负向影响,负向影响区所占比例高达 86%,负向极高值区增加了南宁市和防城港市,这些地市城乡收入差距最为突出,导致资源分配不均,农民积极性受挫,从而限制了耕地绿色利用效率的提升,正向高值区均分布于贵港市和玉林市,这些地区城乡收入差距相对合理,农民的生活水平得到一定保障,有更多的精力和资金去关注耕地绿色利用。随着时间推移,负向影响并未减弱,2016—2021 年,负向影响区增多,未来急需进一步缩小城乡收入差距促进耕地绿色利用效率的提升。

(5) 农用机械投入强度以负向影响为主。2010—2013 年,负向较高值区所占比例为 28%,正向高值区有钦州市、玉林市、贵港市、北海市、百色市这 5 个地市,这些地区广泛应用专用农用机械与精准农业技术,注重农业产业化经营,通过机械投入,农业结构得到优化,推动了耕地绿色利用效率提升,负向极高值区有崇左市、桂林市和贺州市,这些地区的农用机械与作物类型不匹配,过度投入高耗能机械等问题导致机械投入产生显著的抑制作用。2013—2016 年,正向高值区减少至 3 个地市,负向极高值区与负向较高值区数量保持不变,负向较高值区集中于桂西区域和桂北区域。2016—2021 年,负向较高值区范围扩大,未来各市应因地制宜使用机械,合理控制机械投入强度,同步实现耕地绿色利用效率的提升与农业污染的减少。

4 结论

(1) 时序演变上,广西壮族自治区耕地绿色利用效率大致历经平稳增长(2010—2013 年)、缓慢增长(2013—2016 年)、快速增长(2016—2021 年)3 个阶段,总体处于较高水平。各地市效率水平存在明显差

异,高效能地市多因水资源丰富和土壤肥沃而长期高于自治区的均值,大部分低效能地市于 2016 年后表现出不断提高的发展趋势。

(2) 空间格局上,广西壮族自治区桂东区域和桂南区域的耕地绿色利用效率较高,而桂西区域和桂北区域紧随其后,桂中区域的耕地绿色利用效率相对较低;空间趋势演变上,耕地绿色利用效率在广西壮族自治区呈现东西差异缩小的程度显著于南北差异。

(3) 影响因素方面,整体上看,正向因子(复种指数、人均 GDP)起到优化要素配置,优化产业结构等作用,提升了南宁市、河池市等地市的耕地绿色利用效率,负向因子(作物种植结构、城乡收入差距、农用机械投入强度)带来土质下降,缺乏劳动力支持,碳排放增加等问题,阻碍了桂林市、柳州市等地市的耕地绿色利用效率的提升。分区域看,各个因子在不同时期对区域的影响强度和性质有所不同,存在显著的时空差异性。

5 建议

(1) 在地势较高的桂西区域和桂北区域,可以通过土地流转等政策扩大人均耕地面积,重点发展特色农业和生态旅游来增加收入;在地势相对平坦的桂东区域、桂南区域、桂中区域,推动自动化农业生产方式,减少人力劳动投入,进行耕地规模化经营。

(2) 桂西区域应依据土壤特性和作物需求精准调控农药、化肥施用量,持续推进绿色防控和有机肥替代传统化肥等工作的实施,建立粮食作物的轮作体系,避免耕地地力透支。桂中应确保工业用地布局合理,避免无序扩张和占用优质耕地,加强耕地保护与复垦。

(3) 基于影响因子作用机理,采取针对性措施:①引导来宾市、贵港市、梧州市等地的农民因地制宜调整种植结构,减少单一作物的连续种植,适度增加附加值高、碳汇量较多的作物种植量。②合理控制桂林、贺州等地的农用机械投入数量,加快研发农业环保型机械,淘汰低效、与耕地条件、作物种植需求不匹配的农机。③大力推进乡村振兴,通过发展乡村产业、促进农村劳动力转移就业等措施拓宽农民收入渠道,提高人均收入水平,加快缩小南宁、桂林、防城港等地的城乡收入差距。

本文尚存在完善之处:①受限于数据可获性,未能结合农用薄膜、遥感数据、面源污染等数据详细研究广西壮族自治区耕地绿色利用效率。②超效率 SBM 模型未能考虑区域差异性设定期望产出与非期望产出权重比,基于区域实际状况考量的耕地绿色利

用效率测度是未来的探讨方向。③影响因素研究仅考虑资源禀赋、自然、社会发展等客观因素,未考虑绿色耕种理念和农户技术采纳度等主观因素,具有一定的局限性。

参考文献 (References)

- [1] 李美莲,许进龙,张河雄,等.“双碳”目标下广西石漠化片区耕地绿色利用效率时空分异研究[J].水土保持研究,2024,31(6):365-374.
Li Meilian, Xu Jinlong, Zhang Hexiong, et al. Study on the temporal and spatial differentiation of the green utilization efficiency of cultivated land in rocky desertification area of Guangxi under ‘dual carbon’ goals [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024,31(6):365-374.
- [2] 孔祥斌.中国耕地保护生态治理内涵及实现路径[J].中国土地科学,2020,34(12):1-10.
Kong Xiangbin. The connotation and realization path of ecological governance of cultivated land protection in China [J]. China Land Science, 2020,34(12):1-10.
- [3] 张宇,杜国明,李献宇.东北地区耕地绿色利用效率测算及影响因素[J].地球科学与环境学报,2024,46(4):486-498.
Zhang Yu, Du Guoming, Li Xianyu. Estimation and influencing factors of green utilization efficiency of cultivated land in Northeast China [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2024,46(4):486-498.
- [4] 吕添贵,付舒斐,胡晗,等.农业绿色转型约束下耕地利用生态效率时空分异特征及空间效应[J].水土保持研究,2024,31(1):269-279.
Lyu Tiangui, Fu Shufei, Hu Han, et al. Spatiotemporal differentiation characteristics and spatial effects of ecological efficiency of cultivated land use based on the constraints of agricultural green transformation [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024,31(1):269-279.
- [5] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546.
Jin Gui, Guo Baishu, Cheng Jinhua, et al. Layout optimization and support system of territorial space: An analysis framework based on resource efficiency [J]. Acta Geographica Sinica, 2022,77(3):534-546.
- [6] 刘继为,姜安隆.“双碳”目标下河北省农业生态效率时空演进特征及影响因素[J/OL].农业资源与环境学报,2024:1-16. (2024-06-04). <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=NHFZ20240603002&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
Liu Jiwei, Jiang Anlong. Spatial-temporal evolution characteristics and influencing factors of agricultural ecological efficiency in Hebei Province under the goal of ‘double carbon’ [J/OL]. China Industrial Economics, 2024:1-16. (2024-06-04). <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=NHFZ20240603002&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- [7] 杨欣,杜梦晴,肖豪立,等.湖北省县域新型城镇化与耕地利用生态效率时空耦合关系研究[J].长江流域资源与环境,2024,33(10):2180-2190.
Yang Xin, Du Mengqing, Xiao Haoli, et al. Coupling relationship between new-type urbanization and farmland utilization eco-efficiency at county-level in Hubei Province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024,33(10):2180-2190.
- [8] 李红波,杨和平,王韬,等.长江经济带耕地利用生态效率时空分异及组态路径研究[J].中国土地科学,2024,38(1):114-124.
Li Hongbo, Yang Heping, Wang Tao, et al. Spatial-temporal differentiation of ecological efficiency of cultivated land use and its configuration paths in the Yangtze River economic belt [J]. China Land Science, 2024,38(1):114-124.
- [9] 刘涛,尚晓菲,苏原原,等.“双碳”目标下黄河下游耕地绿色利用效率、收敛性与影响因素[J].水土保持通报,2023,43(1):291-299.
Liu Tao, Shang Xiaofei, Su Yuanyuan, et al. Green utilization efficiency, convergence, and influencing factors of cultivated land in lower Yellow River under ‘double carbon’ target [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023,43(1):291-299.
- [10] Ferreira M D P, Feres J G. Farm size and land use efficiency in the Brazilian Amazon [J]. Land Use Policy, 2020,99:104901.
- [11] Baráth L, Fertő I. Heterogeneous technology, scale of land use and technical efficiency: The case of Hungarian crop farms [J]. Land Use Policy, 2015,42:141-150.
- [12] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2001,130(3):498-509.
- [13] 卢新海,崔海莹,柯善淦,等.湖北省耕地利用绿色转型与粮食全要素生产率的耦合协调及其驱动机制研究[J].中国土地科学,2022,36(8):75-84.
Lu Xinhai, Cui Haiying, Ke Shangan, et al. Coupling coordination and driving mechanism of green transition of farmland use and total factor productivity of grain in Hubei Province [J]. China Land Science, 2022,36(8):75-84.
- [14] 盖兆雪,孙萍,张景奇.环境约束下的粮食主产区耕地利用效率时空演变特征[J].经济地理,2017,37(12):163-171.
Gai Zhaoxue, Sun Ping, Zhang Jingqi. Cultivated land utilization efficiency and its difference with consideration of

- environmental constraints in major grain producing area [J]. *Economic Geography*, 2017, 37(12):163-171.
- [15] 陈丹玲, 卢新海, 匡兵. 长江中游城市群城市土地利用效率的动态演进及空间收敛[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(12):106-114.
- Chen Danling, Lu Xinhai, Kuang Bing. Dynamic evolution and spatial convergence of urban land use efficiency in the middle reaches of the Yangtze River [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(12):106-114.
- [16] 匡兵, 卢新海, 韩璟, 等. 考虑碳排放的粮食主产区耕地利用效率区域差异与变化[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(11):1-8.
- Kuang Bing, Lu Xinhai, Han Jing, et al. Regional differences and dynamic evolution of cultivated land use efficiency in major grain producing areas in low carbon perspective [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(11):1-8.
- [17] 文高辉, 刘蒙罢, 胡贤辉, 等. 洞庭湖平原耕地利用生态效率空间相关性与空间效应[J]. *地理科学*, 2022, 42(6):1102-1112.
- Wen Gaohui, Liu Mengba, Hu Xianhui, et al. Spatial correlation and spatial effect of cultivated land use ecological efficiency in the Dongting Lake plain [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(6):1102-1112.
- [18] 李博, 王晨圣, 余建辉, 等. 市场激励型环境规制工具对中国资源型城市高质量发展的影响[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(1):205-219.
- Li Bo, Wang Chensheng, Yu Jianhui, et al. The impact of market-oriented environmental regulation tool on high-quality development of China's resource-based cities [J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(1):205-219.
- [19] 柯楠, 卢新海, 匡兵, 等. 碳中和目标下中国耕地绿色低碳利用的区域差异与影响因素[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(8):67-76.
- Ke Nan, Lu Xinhai, Kuang Bing, et al. Regional differences and influencing factors of green and low-carbon utilization of cultivated land under the carbon neutrality target in China [J]. *China Land Science*, 2021, 35(8):67-76.
- [20] 李强, 王士君, 梅林. 长春市中心城区大型超市空间演变过程及机理研究[J]. *地理科学*, 2013, 33(5):553-561.
- Li Qiang, Wang Shijun, Mei Lin. The spatial characteristics and mechanism of supermarkets in central district of Changchun, China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(5):553-561.
- [21] 吴小影, 杨山, 尹上岗, 等. 基于 GTWR 模型的长三角地区城市建设用地时空动态特征及其驱动机理[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(11):2594-2606.
- Wu Xiaoying, Yang Shan, Yin Shanggang, et al. Spatial-temporal dynamic characteristics and its driving mechanism of urban built-up area in Yangtze River delta based on GTWR model [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(11):2594-2606.
- [22] 梁耀文, 王宝海. 环渤海地区农业生态效率时空演化及影响因素研究[J]. *生态经济*, 2021, 37(6):109-116.
- Liang Yaowen, Wang Baohai. Spatial evolution and influencing factors of the agricultural eco-efficiency in Bohai rim region [J]. *Ecological Economy*, 2021, 37(6):109-116.
- [23] 卢新海, 匡兵, 李菁. 碳排放约束下耕地利用效率的区域差异及其影响因素[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(4):657-668.
- Lu Xinhai, Kuang Bing, Li Jing. Regional differences and its influencing factors of cultivated land use efficiency under carbon emission constraint [J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(4):657-668.
- [24] 陈丽, 郝晋珉, 王峰, 等. 基于碳循环的黄淮海平原耕地固碳功能研究[J]. *资源科学*, 2016, 38(6):1039-1053.
- Chen Li, Hao Jinmin, Wang Feng, et al. Carbon sequestration function of cultivated land use system based on the carbon cycle for the Huang-Huai-Hai Plain [J]. *Resources Science*, 2016, 38(6):1039-1053.
- [25] 吕添贵, 付舒斐, 胡晗, 等. 农业绿色转型约束下耕地绿色利用效率动态演进及其收敛特征研究: 以长江中游粮食主产区为例[J]. *中国土地科学*, 2023, 37(4):107-118.
- Lyu Tianguai, Fu Shufei, Hu Han, et al. Dynamic evolution and convergence characteristics of cultivated land green use efficiency based on the constraint of agricultural green transition: Taking the main grain producing areas in the middle reaches of the Yangtze River as an example [J]. *China Land Science*, 2023, 37(4):107-118.
- [26] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(5):203-208.
- Duan Huaping, Zhang Yue, Zhao Jianbo, et al. Carbon footprint analysis of farmland ecosystem in China [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(5):203-208.
- [27] 田云, 张俊彪. 中国农业生产净碳效应分异研究[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(8):1298-1309.
- Tian Yun, Zhang Junbiao. Regional differentiation research on net carbon effect of agricultural production in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(8):1298-1309.

- [30] 刘小波,王玉宽,刘勤,等.基于城市化梯度的中国西南地区生态系统服务权衡与协同[J].生态学报,2023,43(22):9416-9429.
Liu Xiaobo, Wang Yukuan, Liu Qin, et al. Tradeoffs-synergies analysis of ecosystem services along urbanization gradient in Southwest China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2023,43(22):9416-9429.
- [31] 谭少军,邵景安.基于生态适宜性评价的西南丘陵区土地整治工程布局研究[J].地理研究,2018,37(4):659-677.
Tan Shaojun, Shao Jing'an. Land consolidation project layout based on ecological suitability evaluation in hilly areas of Southwest China [J]. Geographical Research, 2018,37(4):659-677.
- [32] 廖钟洪,范业婷,王君楠,等.长三角耕地生态系统服务功能时空演变及其驱动机制[EJ/OL].环境科学,2024:1-19,(2024-08-20). <http://doi.org/10.13227/j.hjlx.202405081>.
- Liao Zhongqi, Fan Yeting, Wang Junxiao, et al. Temporal and spatial evolution of cultivated land ecosystem service function in Yangtze River delta and its driving mechanism [EJ/OL]. China Industrial Economics, 2024,(2024-08-20). <http://doi.org/10.13227/j.hjlx.202405081>.
- [33] Zhong Lina, Wang Jun, Zhang Xiao, et al. Effects of agricultural land consolidation on ecosystem services: Trade-offs and synergies [J]. Journal of Cleaner Production, 2020,264:121412.
- [34] 蔡华,舒英格,王昌敏,等.喀斯特地区植被恢复下土壤活性有机碳与碳库管理指数的演变特征[J].环境科学,2023,44(12):6880-6893.
Cai Hua, Shu Yingge, Wang Changmin, et al. Evolution characteristics of soil active organic carbon and carbon pool management index under vegetation restoration in karst area [J]. Environmental Science, 2023,44(12):6880-6893.

(上接第 336 页)

- [28] 王鹏程,张利国,卢玉兰,等.广西耕地“非粮化”时空演变及影响因素研究[J].中国农业资源与区划,2023,44(5):187-197.
Wang Pengcheng, Zhang Liguang, Lu Yulan, et al. Study on the spatial-temporal evolution and influencing factors of non-grain cultivated land in Guangxi [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023,44(5):187-197.
- [29] 周丽青,杨如军,詹长根.广西城市土地集约利用时空差异分析[J].水土保持研究,2017,24(2):272-277.
Zhou Liqing, Yang Rujun, Zhan Changgen. Analysis of spatial-temporal disparity of urban land intensive utilization in Guangxi Zhuang Autonomous Region [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017,24(2):272-277.
- [30] 黄天能,许进龙.近 40 年来广西耕地非农化的时空演变特征、成因与对策[J].中国农业资源与区划,2023,44(10):40-51.
Huang Tianneng, Xu Jinlong. The characteristics, causes and countermeasures of spatial-temporal evolution of Guangxi cultivated land deagriculturalization in the past 40 years [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023,44(10):40-51.
- [31] 朱文娟,孙华.江苏省县域耕地利用生态效率时空动态性及驱动机制[J].长江流域资源与环境,2024,33(4):784-798.
Zhu Wenjuan, Sun Hua. Spatio-temporal dynamics and driving mechanism of cultivated land use eco-efficiency at county scale in Jiangsu Province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024,33(4):784-798.