

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.03.002.

张利国, 陆汝成, 马国斌, 等. 珠江—西江经济带广西段耕地多功能利用及优化策略[J]. 水土保持研究, 2024, 31(3): 276-286.

Zhang Ligu, Lu Rucheng, Ma Guobin, et al. Multifunctional Utilization and Optimization Strategy of Cultivated Land in Guangxi Section of Pearl River-Xijiang River Economic Belt[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(3): 276-286.

珠江—西江经济带广西段耕地多功能利用及优化策略

张利国¹, 陆汝成^{1,2}, 马国斌¹, 马东赢³

(1. 南宁师范大学 自然资源与测绘学院, 南宁 530001; 2. 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001; 3. 中国邮政集团有限公司玉林市分公司, 广西 玉林 537000)

摘要: [目的] 探析耕地生产、生活、生态功能利用特征并提出优化方案, 促进耕地资源多功能利用和协同发展, 推动国家耕地利用与保护战略实践。[方法] 在明晰耕地多功能利用的内在逻辑后, 探讨珠江—西江经济带广西段 59 个区县耕地多功能的综合评价及其空间格局, 最后基于两两功能间的权衡/协同相关性, 采用三角坐标图划定耕地功能分区。[结果] (1) 2000—2020 年经济带广西段耕地各项功能指数随时间演变大致呈“U”型态势, 生产功能由 0.168 降至 0.130, 整体变化率为生态功能(22.62%) > 生活功能(16.94%) > 生态功能(15.83%); (2) 近 20 年耕地生产、生活、生态功能总体呈“东部高一西部低”的分布特点, 且生产功能高值区的数量占比下降至 18.64%, 生活功能、生态功能高值区的数量占比升至 27.06%, 28.24%; (3) 基于功能间权衡/协同关系, 运用三角坐标图法将研究区耕地多功能利用划分为四大类型, 其中“三生”功能协调发展区所占区县数量最多, 研究区耕地多功能利用整体表现良好。[结论] 基于功能评价及分区基础上提出差异化优化策略, 有利于促进区域耕地资源的可持续利用与管理, 保障粮食安全和促进农业现代化发展。

关键词: 耕地多功能; 分区优化; 权衡与协同; 珠江—西江经济带广西段

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)03-0276-11

Multifunctional Utilization and Optimization Strategy of Cultivated Land in Guangxi Section of Pearl River-Xijiang River Economic Belt

Zhang Ligu¹, Lu Rucheng^{1,2}, Ma Guobin¹, Ma Dongying³

(1. School of Natural Resources and Surveying and Mapping, Nanning Normal University, Nanning 530001, China; 2. Key Laboratory of Beibu Gulf Environmental Evolution and Resource Utilization, Ministry of Education, Nanning 530001, China; 3. Yulin City Branch of China Post Group Corporation, Yulin, Guangxi 537000, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to explore the characteristics of cultivated land production, life and ecological function utilization, and propose the optimization schemes which are conducive to promoting the multifunctional utilization and coordinated development of cultivated land resources, and promoting the implementation of national cultivated land utilization and protection strategies. [Methods] After clarifying the internal logic of multifunctional utilization of cultivated land, the comprehensive evaluation and spatial pattern of multi-functional cultivated land in 59 districts and counties in the Guangxi section of the Pearl River-Xijiang River Economic Belt were discussed. Finally, based on the trade-off/synergistic correlation between the two functions, the triangular coordinate diagram was used to layout the functional types of cultivated land. [Results] (1) From 2000 to 2020, the functional indexes of cultivated land in Guangxi section of the economic belt showed a U-shape with time, and the production function decreased from 0.168

收稿日期: 2023-08-23

修回日期: 2023-09-15

资助项目: 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目“珠江—西江经济带土地利用多功能权衡与协调发展研究”(2021KY0401)

第一作者: 张利国(1989—), 男, 广西贺州人, 博士, 讲师, 研究生导师, 主要从事土地评价与政策研究。E-mail: zh.ligu@163.com

通信作者: 陆汝成(1972—), 男, 广西桂林人, 博士, 教授, 研究生导师, 主要从事土地利用管理与评价。E-mail: 710912213@qq.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

to 0.130. The overall change rate decreased in the order: ecological function (22.62%) > living function (16.94%) > ecological function (15.83%). (2) In the past 20 years, the production, living and ecological functions of cultivated land generally had shown the distribution characteristics of high level in the east and low level in the west, with the proportion of high value areas of production function decreasing to 18.64%, and the proportion of high value areas of living function and ecological function increasing to 27.06% and 28.24%, respectively. (3) Based on the trade-off/synergy relationship between functions, the multifunctional utilization of cultivated land in the study area was divided into four types by using the triangular coordinate diagram method. Among them, the coordinated development area of production-living-ecological function accounted for the largest number of districts and counties, and the multifunctional utilization of cultivated land in the study area performed well as a whole. [Conclusion] The differentiated optimization strategy based on functional evaluation and zoning is conducive to promoting the sustainable utilization and management of regional cultivated land resources, ensuring food security and promoting the development of agricultural modernization.

Keywords: multifunction of cultivated land; partition optimization; trade-off and coordination; Guangxi section of Pearl River-Xijiang River Economic Belt

耕地是人类赖以生存的基本资源和物质基础,在人类社会的发展进程中发挥着关键支撑作用。近20年来,受城镇农村建设“两头挤占”、农业产业结构调整等因素影响,耕地承载压力不断加大,人口、粮食、耕地进入紧平衡状态^[1]。我国耕地面积与二调相比减少了0.075 3亿hm²,人均耕地面积0.09 hm²,仅为世界平均水平的34.62%^[2],暴露出耕地破碎化、非粮化、边际化的现实堵点,粮食安全和耕地可持续利用面临威胁。2022年,自然资源部颁布《耕地保护法(草案)》,明确以独立法形式最严格地保护耕地。党的二十大报告强调要严守1.2亿hm²耕地红线,确保耕地功能稳中有升。多功能性被视为耕地复合生态系统的关键属性^[3],关注耕地的多功能利用及其持续提升,已逐渐成为学术界和决策层的关注焦点,是未来持续加强耕地保护,确保国家粮食安全的关键路径。

多功能性概念源于农业多功能,生态系统服务及多功能价值等领域^[4-7],而随着耕地作用和地位日趋重要,耕地利用已由单一功能利用向多功能管护的转型^[8]。目前,学界研究多聚焦于耕地多功能的内涵剖析、功能构成及评价、分区方法等方面。耕地多功能的内涵与构成方面,已有研究基于功能性的本质,探讨耕地资源、社会、生态等多重属性的相互作用,主要从生态系统服务与主次功能两个视角展开:生态系统服务视角侧重于从耕地的供给调节、水源涵养、固碳、生物多样性等对耕地多功进行划分^[9];而主次功能视角,是将耕地多功能归纳为以粮食产量为主的生产功能,以及涵括景观文化、就业供给、生态承载等次级的生活、生态功能^[10]。此外,部分学者将城镇阻隔功能、建设空间储备功能纳入耕地多功能划分体

系^[11-12]。耕地多功能利用评估是以耕地多功能的内涵界定与功能划分为进一步延伸,学者广泛采用多因素综合评价^[13]、全排列多边形图示法^[14]、 σ 与 β 收敛法^[15]、模糊优选模型等^[16]方法从生活、生态、社会等多维度综合评估耕地功能指数的高低;亦有部分研究的评价方法选取了改进RDM、物质质量法或能值法刻画了耕地功能的价值构成与大小^[17-19]。功能分区与优化方面,当前研究多依据耕地多功能间的相关性^[20]、耦合协调度^[20]、空间集聚类型^[20]及脱钩强度等^[21-23]分区方法,探索耕地单一功能主导或多功能联同作用下的分区类型,并据此提出差异化的优化方案。显然,国内外耕地多功能的诸多研究经历了内涵界定和功能划分、综合评估到分区优化与管护的较完整过程,为耕地多功能的优化利用奠定了基础。纵观已有研究,耕地多功能的分类体系丰富但并未达成共识,其评价指标的主导性以及评价结果的借鉴性仍缺乏深度探讨,评价指标体系的综合性、动态性仍有提升空间。除此之外,当前研究多围绕国家、省、市等完成行政区域开展,针对经济带这一特殊单元的研究相对较少,有待对其耕地各类功能的结构进一步加以系统分析,并基于耕地多功能间的相互作用关系构建出差异化的分区优化调控策略。

珠江—西江经济带是东部发达地区与西部欠发达地区的连接带,经济转型深入推进^[24],如何实现耕地资源保护与经济建设间相协同,是经济带未来高质量发展亟需解决的现实问题。20世纪90年代以来,耕地质量退化、规模缩减、“双非”恶化等现实堵点极大阻碍着经济带耕地可持续利用与农业现代化发展。锚定耕地供给低效与多元需求间的关键矛盾,从“三

生”维度研究耕地多功能的时空异质性,分区优化耕地多功能利用水平,是构筑统筹发展与安全的耕地保护格局亟待解决的时代命题。本文以珠江—西江经济带广西段作为研究对象,构建多功能利用评价与优化的研究框架,建立“生产—生活—生态”评价指标体系开展耕地多功能利用综合评估,引入权衡/协同相关系数和三角坐标图探讨研究区耕地各项功能的空间作用关系、划分类型,最后因地制宜地提出分区优化策略,为推动农业高质量发展以及经济带生态文明建设提供理论依据与决策参考。

1 研究思路框架

根据适应性循环思维,多功能是多种功能对外源压力、社会民生的重要反馈,是实现耕地系统功能稳定、资源可持续利用的重要支撑^[25]。耕地多功能是一个包含生产供给、社会保障、景观美学、生态服务等及其耦合交互构成的庞大系统,易受环境条件、经济发展、技术水平、利用者意愿等因素影响,但多功

能复杂化归其实质是围绕生产—生活—生态功能的相互作用关系^[26]。本文基于“测算评价—组织类型划定—路径方案”的研究思路^[27],拟构建如下研究框架(图 1)。根据耕地利用产生的能效,生产功能以粮食生产供给能力为集中体现,生活功能主要表现为耕地利用过程中所发挥的就业和养老等社会稳定保障能效,生态功能则体现在耕地所兼有的生态服务与抗御灾害等能力,构建包含上述功能的评价体系对耕地多功能进行评估,是实现耕地多功能利用优化的前提。基于生态功能为基础,生产功能为核心,生活功能是两种功能交叉作用后的衍生这一认识,进一步明晰不同功能间的权衡/协同关系,搭建三角坐标图将不同关联主导功能分为生产—生活、生活—生态、生态—生产主导型与“三生”协调型,实现数理分区与功能水平两者间的验证反演过程,最终实现综合分区并针对不同类型区提出差异化优化策略,以期助推区域耕地多功能稳步提升,为国家耕地保护政策的制定提供理论参考。

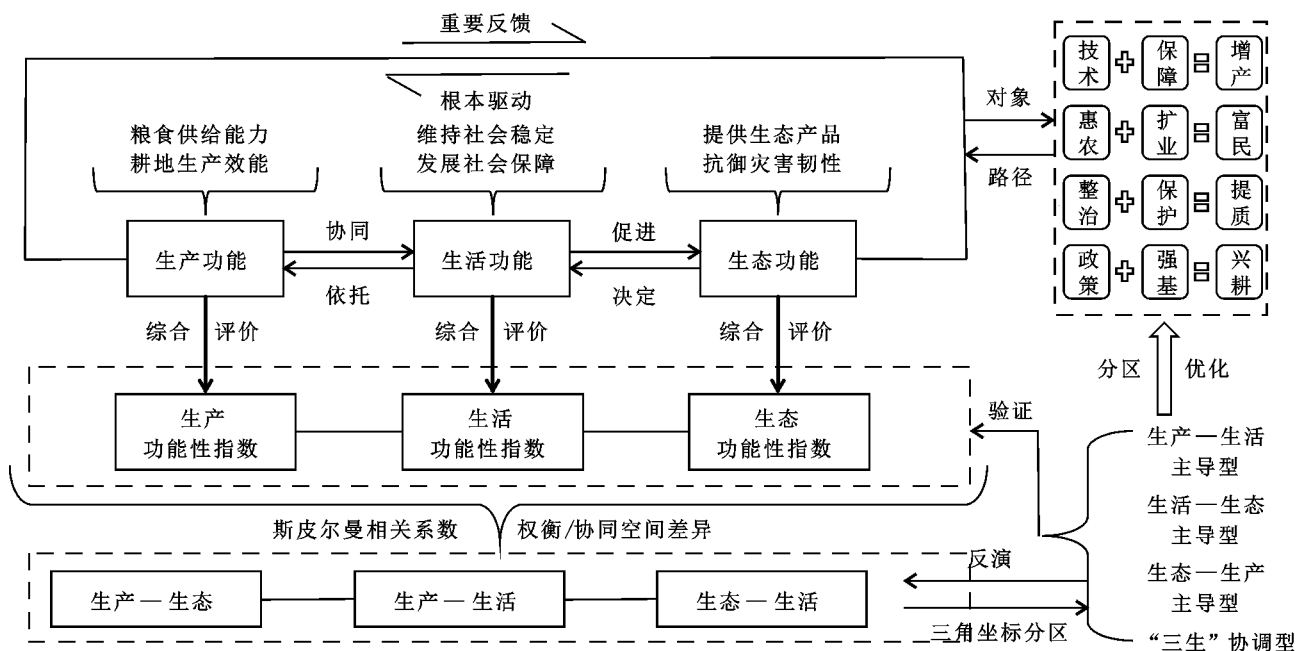


图 1 研究框架示意图

Fig. 1 Research framework diagram

2 研究方法与数据来源

2.1 研究区概况

珠江—西江经济带广西段(研究区)面积为 13.43 万 km^2 ,包括南宁、贵港、梧州、崇左、来宾、百色、柳州 7 个城市,共 59 个县(区)(图 2),约占广西总面积的 92%,是粤港澳地区转型发展的战略腹地,也是我国西部大开发战略的重要区域。2020 年,研究区总人口突破 2 000 万大关,其中农业生产经营人员规模高

达 1 036.37 万人,实现地区生产总值 1.31 万亿元,同比增长 4.3%,粮食产值为 282.83 亿元。研究区耕地主要集中分布于中南部坡度较缓区域,耕地土壤 pH 处于 4.3~5.8 间,有机质含量约为 11.59 g/kg,面积由 20 a 前的 56.48 万 hm^2 下降到 41.33 万 hm^2 ,质量整体处于 4~6 等,耕地保护和持续利用存在一定风险。未来,随着广西全面融入粤港澳大湾区建设,研究区经济发展和产业转型步伐将进一步加快,耕地保护面临更大压力,对耕地的多功能利用进行评估与优化更为紧迫。

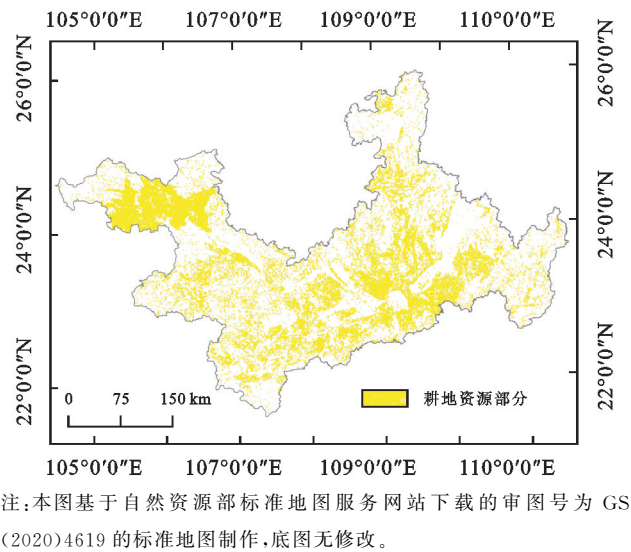


图 2 珠江—西江经济带广西段区位示意图
Fig. 2 Location diagram of Guangxi section of Pearl River-Xijiang River Economic Belt

2.2 数据获取与处理

以研究区内 59 个(区)县为研究单元,以 2000 年、2010 年、2020 年为研究时间节点,收集统计资料以及土地利用数据。各类产量、产值、化肥施用量等统计数据主

要来源于《广西统计年鉴》、各市的《统计年鉴》及政府部门公告;土地利用数据源自全球地表覆盖遥感制图与关键技术研究项目发布的 GlobeLand30 m 全球地表覆盖数据,借助 ArcGIS 10.8 平台进行处理与统计;通过资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)获取精度为 30 m 的气温与降水数据。

2.3 研究方法

2.3.1 多功能利用综合评价模型

(1) 指标体系构建。在对耕地多功能内涵进行剖析的基础上,参考相关文献^[20,25,28-30]构建耕地利用生产功能、生态功能和生活功能评价指标体系。生产功能反映耕地的物质产出能力或潜在产能,体现出耕地对粮食保障的贡献,故选取粮食、经济作物产量、机耕化水平、气候生产潜力等 6 项指标表征耕地生产能力的强弱;生活功能则以提高生活质量、提供生活保障为核心,可通过粮食自给、劳动承载力、地均第一产业 GDP 及人均耕地面积 4 项指标加以表征;生态功能体现耕地生态韧性的维系或环境容纳能力,可依据人均耕地生态承载力、农作物多样性、农药化肥施用量等 5 项指标加以衡量(表 1)。

表 1 耕地多功能利用评价指标体系及权重结果

Table 1 Evaluation index system and weight result table of multi-functional utilization of cultivated land

耕地功能	指标层	性质	指标说明	2000 年 权重	2010 年 权重	2020 年 权重
生产功能	地均粮食作物产量(kg/hm ²)	+	粮食作物产量/经济作物播种面积	0.068	0.021	0.013
	地均经济作物产量(kg/hm ²)	+	经济作物产量/经济作物耕地面积	0.131	0.246	0.163
	机耕化水平	+	机械总动力/耕地面积	0.073	0.050	0.108
	复种指数(%)	+	农作物总播种面积/耕地面积×100%	0.046	0.063	0.048
	土地垦殖率(%)	+	土地垦殖面积/总土地面积×100%	0.066	0.047	0.070
	气候生产潜力	+	年均气温与降水的迈阿密模型	0.068	0.049	0.052
生活功能	粮食自给率(%)	+	粮食产量/(常住人口数×400 kg)×100%	0.034	0.029	0.048
	人均耕地面积(hm ² /人)	+	耕地面积/农业人口	0.102	0.066	0.084
	劳动承载力(万人)	+	农业生产经营人员数量	0.058	0.046	0.063
	地均第一产业 GDP(万元/hm ²)	+	第一产业 GDP/耕地面积	0.086	0.048	0.117
生态功能	人均耕地生态承载力	+	人均耕地面积×耕地均衡因子×产量因子	0.027	0.150	0.030
	农作物多样性	+	各类农作物播种面积与播种面积比值之和	0.052	0.064	0.066
	耕地景观面积比(%)	+	耕地面积/总面积×100%	0.082	0.077	0.094
	单位耕地面积农药施用强度(kg/hm ²)	—	农药施用量/耕地面积	0.071	0.039	0.025
	耕地化学品负荷(kg/hm ²)	—	化肥施用折纯量/耕地面积	0.036	0.006	0.008

(2) 指标权重计算。由于指标性质以及量纲等差异性的存在,为确保评价结果的准确性与科学性,综合考虑多年指标值,并采用熵值法计算指标权重,首先采用极值标准化对指标进行处理无量纲处理,计算指标值的比重 Y_{ij} 与计算熵值 e_j ,最后依据指标差异系数可得指标权重 W_j ,计算集成公式见式(1)^[12]:

$$W_j = \frac{1 - \frac{1}{\ln m} \cdot \sum_{i=1}^m \left[\frac{P_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{ij}} \times \ln \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{ij} \right) \right]}{\sum_{j=1}^n \left\{ 1 - \frac{1}{\ln m} \cdot \sum_{i=1}^m \left[\frac{P_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{ij}} \times \ln \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{ij} \right) \right] \right\}}$$

(1)

式中: m 为研究区数量; k 为样本数量; P_{ij} 为第 i 年第 j 项指标的标准值; W_j 为指标权重; n 为指标数量。

(3) 综合评价法。为能综合体现研究区耕地利用各项功能状态, 选取综合评价模型进行定量评估, 见式(2):

$$f_j = \sum_{i=1}^n W_{ij} P_{ij} \quad (2)$$

式中: f_j 为各项功能指数; f_j 介于 0~1, 值越大代表相应功能越强; W_{ij} 为第 i 项功能第 j 项指标的权重; P_{ij} 为第 i 项功能第 j 项指标的标准化值。

2.3.2 权衡/协同相关性分析 采用 Spearman 相关系数探讨耕地各项功能的权衡/协同关系, 以非参数检验的形式表征生产、生活、生态功能间的相关程度, 根据系数大小判断两两变量的关系强弱^[31], 见式(3):

$$r_s(X_i, Y_i) = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3)$$

式中: P_i 指 X_i 在序列 $\{(X_i)\}$ 中第 k 个次序; k 为 X_i 的次序; 同理, Q_i 为 Y_i 的次序。 $r_s(X_i, Y_i) > 0$ 表示元素间存在协同关系, 反之则为权衡关系, 不显著 $[r_s(X_i, Y_i) = 0]$ 表示两种元素相对独立。

2.3.3 三角坐标图分析模型 以各区县归一化后的耕地生产—生态、生活—生态、生产—生活的 Spearman 相关系数值为基础, 分别设定为 X, Y, Z 坐标轴, 绘制耕地多功能三角坐标图。参考有关文献^[32], 分别从各坐标轴的 3 个原点位置出发至 2 个三角型的距离定为 A, B, C 子区的中心, 并选取三角坐标图的中心位置为 D 子区中心, 各子区均以 16 个

小三角形为区域范围, A, B, C, D 分别代表生产—生态、生活—生态、生产—生活和“三生”协调, 最后依据各研究单元落在三角坐标图中的位置确定分区。

3 结果与分析

3.1 耕地多功能利用评估结果

3.1.1 时序特征 研究区 2000—2020 年耕地各项功能变化见图 3。各项功能指数曲线随时间演变大致呈“U”型, 归因于 2000—2010 年经济带建设用地不断扩张, 城镇生活用地增长了 831.66 km², 耕地空间受到较大挤压。以柳州市为代表, 工业建设的发展迅速, 占用成片优质耕地现象较为严重, 加之生态环境恶化、耕地监管不力等, 耕地功能有所退化; 2010—2020 年, 经济带的发展逐渐上升为国家战略, 城镇化和工业化以高质量发展为目标不断转型升级, 耕地保护政策和力度不断升级, 以南宁为首的城市深入贯彻落实生态文明理念, 推进耕地整治、永久基本农田责任制、田长制等一系列重要工程, 崇左市、梧州市身为粮食主要生产区和对粤开放重点城市, 颁布了具有地方特色的耕地保护措施。分项功能上, 前十年中生态功能由 0.128 降至 0.082, 下降了 38.33%, 生产、生活功能则下降了 30.35%, 22.50%, 后十年各项功能上升变化率大小为: 生态功能 (68.29%) > 生产功能 (11.11%) > 生活功能 (8.63%), 生态功能呈现增长性波动。结合三角雷达图, 2000 年、2010 年研究区耕地生产功能表现突出, 2020 年后耕地生态功能不断加强, 逐渐占据主导, 生态文明不断深化推进, 耕地生态功能逐渐受到重视。

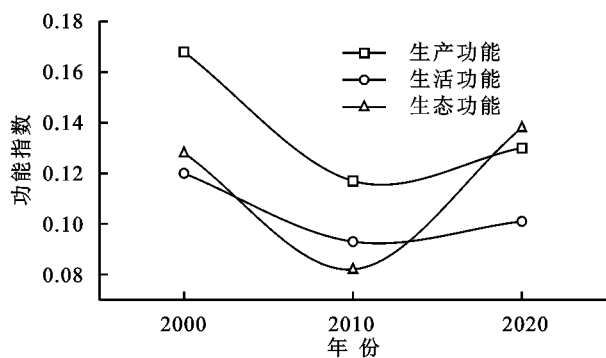


图 3 耕地多功能时间演变特征

Fig. 3 Multifunctional temporal evolution characteristics of cultivated land

3.1.2 空间特征 各项功能的空间分布格局存在显著差异(图 4), 研究区东部“三生”功能协调效应较强, 中部区则以生活功能为主导, 而西部区域各项功能整体偏低, 且生产功能高值区分布与生态功能高值区分布难以协同。这一现象的主要原因是东部地区现代化农业发展驱动经济作物效益扩大、种粮作业结构改善、农业就业扶持等诸多因子,

中部区县人均耕地面积较大, 农业结构得以优化, 西部区县较缺乏对耕地进出指标管控、退林还耕等措施的监督, 加之地形条件差, 耕地景观破碎度较高, 整体功能相对较低。2000 年耕地三项功能高值区数量占比大小为: 生产功能 (32.20%) > 生态功能 (30.50%) > 生活功能 (25.43%), 三项功能值较高的区域均分布在经济带东南部、中部区域, 原因是该部分区域地

形地貌多为平原(浔郁平原),大力发展现代化农业、耕地治理保护以及惠民助农政策有效落实。2010 年三项功能的高值区数量均有所增加,生态功能高值区空间分布数量较 2000 年增长显著,主要表现为柳州市和百色市下辖各区县的普遍提升,这得益于柳州市在 2010 年颁布的《柳州市土地利用总体规划》严格设定了耕地保护的 范围与城镇、工业外扩建设的规划方向,同时百色市在此期间大力发展铝产业循环经济,以低消耗、低排放的方式坚决推行污染整治防治工程,降低工业发展对耕地空间的挤占和环境的

胁迫。2020 年,可能受农业生产条件相对落后、水土流失风险等影响,西部区域耕地产能总体下降趋势并未得以有效调控,而东部生产高值区大力推行农业产业现代化,具有规模化的耕作条件以及较好的经济要素投入,生产功能普遍高于其他地区。20 年来,研究区耕地生产、生态功能高值区数量下降较为严重,仅以武鸣、武宣、藤县为中心的生活功能高值区存在辐射带动影响周边区县的利好趋势,是因为上述区县产业结构以第一产业为主,耕地支撑农民生计的作用较强。

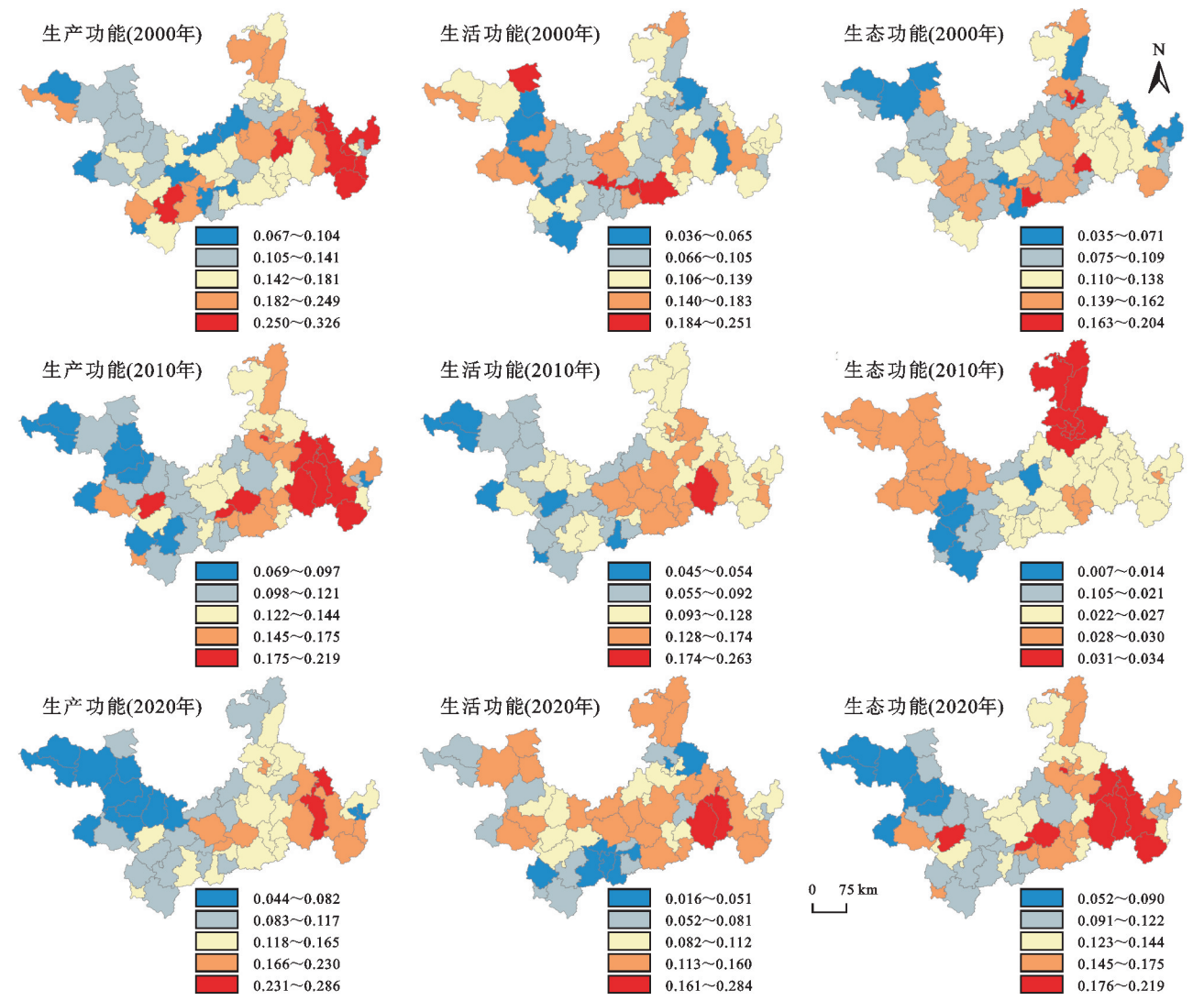


图 4 耕地多功能空间演变格局

Fig. 4 Multifunctional spatial evolution pattern of cultivated land

3.2 耕地多功能权衡/协同分析

3.2.1 相关性分析 基于各年份的耕地多功能指数水平,对耕地“三生”功能开展相关性分析(表 2)。2000—2020 年,耕地“三生”功能间的协同效应整体有所提升,其中生产—生态功能的相关系数上升至 0.449,生活—生态功能相关系数则升至 0.435,随着生态整治修复和民众生态环保意识的增强,耕地生产与生态功能、生活与生态实现由权衡损益向协同互促

的良性转变。但也应注意,生产—生活功能的相关系数由 0.880 下降到 0.487,这说明可能受到耕地规模化生产、农业经济比较收益低下以及城镇化导致农民生计由农业向二三产业的转变等因素的共同作用,生产与生活功能间的协同增效作用弱化,如何在确保耕地生产能力的同时,切实提高农民生活福利水平,是值得长期关注的话题。

表 2 耕地多功能相关系数

功能相关 系数	生产功能			生活功能			生态功能		
	2000 年	2010 年	2020 年	2000 年	2010 年	2020 年	2000 年	2010 年	2020 年
生产功能	—	—	—	0.883	0.565 **	0.487 *	−0.372	−0.116	0.449 **
生活功能	0.883	0.565 **	0.487 *	—	—	—	−0.198	0.242	0.435 **
生态功能	−0.372	−0.116	0.449 **	−0.198	0.242	0.435 **	—	—	—

注：* 和 ** 分别表示在显著水平 0.05,0.01 下(双尾)相关性显著;—为空值。

3.2.2 空间差异特征分析 各区县耕地“三生”功能间的权衡/协同关系见图 5。整体上,研究区约 50%的区县表现为功能协同关系,且主要集中分布于中西部。生产与生活功能协同的区县数量占比 58.98%,集中分布在百色市的凌云、右江、田林及梧州市的苍梧、龙圩等区县,该部分区县农业产值占比较高,农民生存与发展对农业生产的依赖性较强,而兴宾区、隆安县、大新县以及鹿寨县等区县耕地资源相对缺乏,加之经济发展、工业建设等相对发展,农民耕作意愿不强,生产功能和生态功能协同性不高。生产与生态功能的协同的区县数量占比为 62.78%,集中分布于研究区中部和北部的武鸣、上林、柳江、柳北等区县,得益于该地区在产业绿色升级、耕地“双非”管控、农业现代化技术引进等方面的共同努力。耕地生活与生态功能大部分区县呈现为权衡关系,数量占比 66.10%,以田林、隆安、江州、兴

宾等区县为代表,该部分区县的地形条件较差、耕地集中连片程度不高,难以推进现代化耕作,经济效益相对较差,且容易产生水土流失等生态风险。

3.3 基于权衡/协同关系的耕地多功能利用分区

3.3.1 分区类型划定 综合耕地“三生”功能的权衡/协同关系结果以及耕地多功能三角坐标划定分区类型(图 6),将研究区 59 个区县的耕地多功能类型划分为生活—生态双功能权衡区(LED)、生产—生活双功能协同区(PLD)、生产—生态双功能协同区(PED)及“三生”功能协调发展区(AFD)(图 7)。整体上看,研究区各区县的耕地功能类型以“三生”功能协调型为主,各时间节点占各研究年份区县总数的 55.93%,44.06%,55.93%,说明研究区大部分区县耕地利用过程中均较为关注生产、生活、生态功能的协同推进。

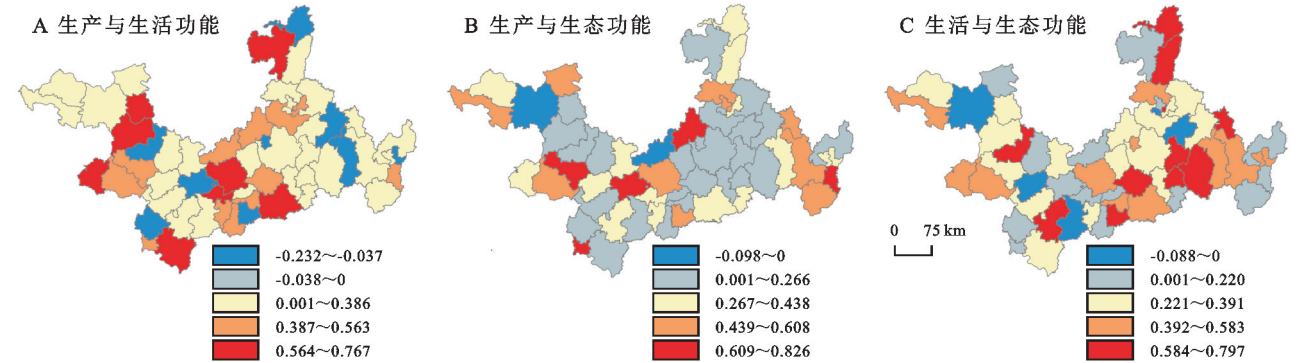


图 5 2000—2020 年研究区耕地多功能权衡/协同关系空间分异

Fig. 5 Spatial differentiation map of multi-functional trade-off/synergy relationship of cultivated land in the study area from 2000 to 2020

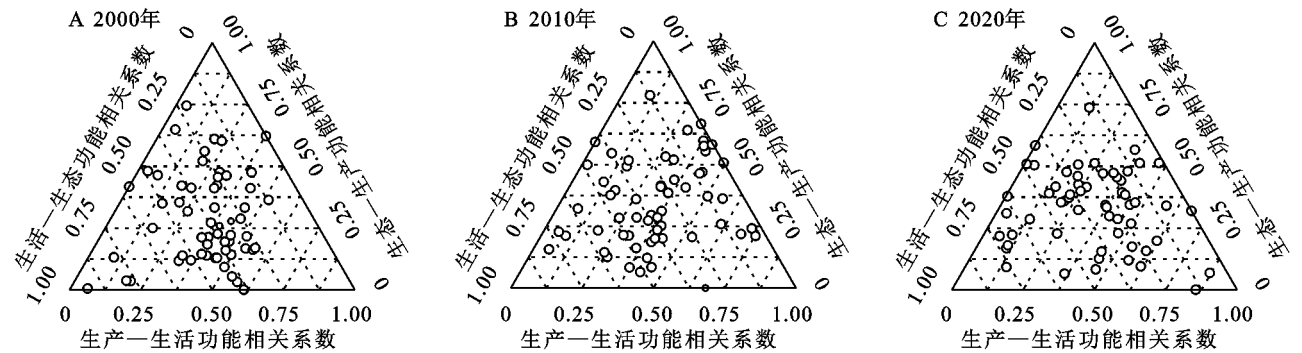


图 6 研究区耕地多功能三角坐标分类

Fig. 6 Multifunctional triangular coordinate classification map of cultivated land in the study area

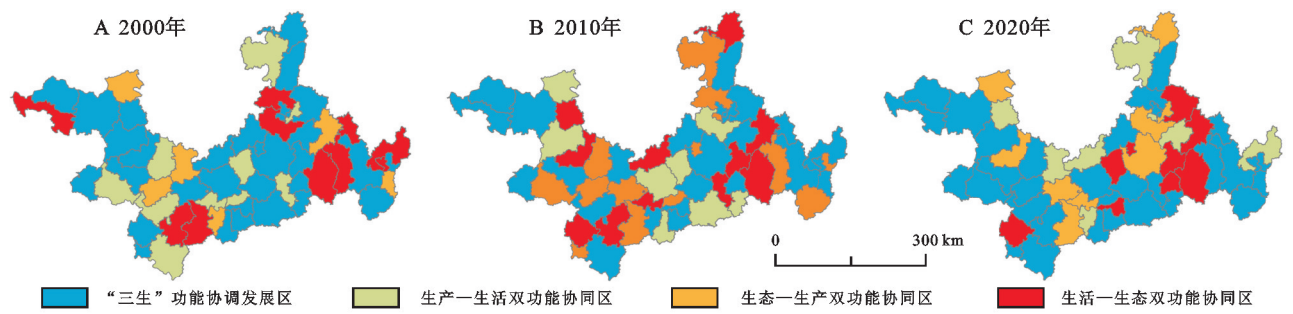


图 7 2000—2020 年耕地多功能类型时空分布

Fig. 7 Spatio-temporal distribution of multi-functional types of cultivated land from 2000 to 2020

3.3.2 分区特征

(1) LED 区的生产与生活功能间表现为较为显著的权衡关系,近 20 年来主要分布于中东部的贵港、梧州市下辖区县,柳州、崇左等地的区县亦有零星分布。上述区县受地形条件、耕地质量、农机化水平等因素制约,耕地产量欠佳、农民种植意愿不高,耕地对居民生活的支撑能力相对较弱。此外,在比较收益影响下,居民耕作带来生活水平提升相对乏力的同时,耕地生态管护相对不足。

(2) PLD 区的生产与生活功能间的协同作用表现较为突出,主要分布在崇左、百色、南宁等各地市下辖区县。该区域人均耕地面积较大、耕作条件良好、耕地潜在产能较大、农业技术投入较充足,第一产业优势突出,对耕地的依赖程度较高,耕地生产功能较高,对居民生活支撑较强。但由于该类型区受到耕地“非粮化”与石漠化等风险,加之对生态管制和保护力度仍有待加强,同时缺乏上位政策增强耕地生态功能的提质改造工作,导致耕地功能结构并不稳定。

(3) PED 区的生产与生态功能间以协同关系为作用,零星分布于百色、柳州、来宾、崇左等地的下辖区县。该部分区县产业结构以农业为主导产业,地区农民对耕地的依赖程度较高,耕作意愿较为强烈,耕地生产功能基础良好。与此同时,近年来百色不断推进石漠化治理,在峰丛山区兴建引水灌溉工程;柳州不断推进工业绿色转型升级,提升污染治理能效;崇左与来宾等则重视优等耕地科学施肥与管护,生产功能的提升的同时,有效确保了耕地生态环境的保护与维系。

(4) AFD 区的耕地生产、生活和生态功能间处于较为良好协同关系,该区集中分布于百色、崇左、南宁和梧州等市所辖区县。该类型区受益于耕地政策落实、资源本底禀赋、粮食供需稳定、农业现代化发展等诸多积极因素,驱动耕地生产—生活—生态的高效互馈。但由于耕地自身利用结构的不合理、农业生产

经营人才外流、自然地理区位不佳等因素制约,该类型区的“三生”功能协调关系并未稳定,耕地韧性仍有待提升。

4 分区优化策略

耕地利用生产、生活、生态功能间具有复杂的内在联系,不同类型地区应该采取差异化优化策略。本研究从政府、农民、企业、技术等多层面出发^[33],探索提升耕地质量、优化生产布局、完善耕地政策等多路径的耕地多功能优化策略。

(1) 生活—生态双功能权衡区(LED)。该区域重点需重点关注耕地质量的保护和提升,防止土壤污染和水土流失,针对地形条件较差的耕地首先要保证水源充足,科学移造耕作层土壤,积极开展坡耕地的整治工作,并对耕地土壤状况进行定期监测,部分区域探索施行轮作休耕。同时,追加灌区续建配套与节水改造投入,稳步提高耕地基础地力和产出能力,增加耕地的经济效益,有效维护生态功能,以保障可持续的社会保障供给。

(2) 生态—生产双功能协同区(PLD)。持续探索政府、企业与农户协同的耕地生态管控机制,政府层面落实耕地生产、生态动态监测,自主研发耕地“非粮化”监管推广平台,并制定公开透明的生态管制机制;农业企业在提升耕地生产能力的同时,应学习崇左市“龙州模式”的成功案例开展科学的农业绿色转型,引入农业龙头企业“生态经营”模式,由基金参与石漠化整治工程,整治后的山区可种植火龙果、百香果等,以此扩大农民的农业就业积极性,为就业保障功能注入强心剂;农户需积极响应耕地保护法律法规和强农惠农政策,从主体、设施、技术等多层面共同加深对耕地多功能的认知,共同参与耕地生态保护。

(3) 生产—生活双功能协同区(PED)。针对该区生态功能较为薄弱的特点,开展制度创新探索:完善耕地流转的收益分配机制;推进“非粮化”治理和

“两藏”战略协同,激发农民耕作积极性;不断完善生态指标管护、耕地整理复垦、试点轮作休耕以及耕地保护补偿的相关政策。其次,通过开展基于自然解决方案(*Nbs*)的耕地土壤整治与坡耕地生态修复,实行退林还耕,设定水土保持防护区,充分挖掘耕地资源价值,进一步稳定耕地功能的结构韧性^[34]。

(4) “三生”功能协调发展区(AFD)。该区各项功能相对均衡,要注重从土壤肥料改良到作物种植管理、从田间生产到生态保护等多方面优化耕地利用模式。同时,政府可采取种粮补贴奖金发放、直播带货、政府购置滞销粮食等各种助农惠农行动以此扩大农业规模经营,引进乡村规划师参与到村民农业技能培训当中,对农民进行职业化、专业化的种植技术培训与耕作技术创新。

5 结论

(1) 研究期内,研究区耕地各项功能指数随时间演变大致呈“U”型,耕地利用生态功能不断提升。生态功能曲线斜率变化幅度相较于生产与生活功能指数的变化趋势更大,尤其2010—2020年生态功能指数曲线的斜率上升了68.29%,远高于生产功能和生活功能。

(2) 生产功能高值区分布与生态功能高值区空间分布难以协同,三项功能值较高的区域大都分布于经济带东南部、中西部区域。耕地生产、生活、生态功能空间分布总体呈“东部高一西部低”的特点,但生产功能高值区数量随时间逐渐减少。

(3) 研究区耕地“三生”功能间的协同增效作用愈加显著,生产与生态、生活与生态功能逐渐实现由权衡向协同的转变。以协同关系为主导的生产与生活功能、生产与生态功能协同区整体分布于研究区中西部、中部,反观生活与生态功能表现权衡关系的区县数量占比66.10%,该类型区受地形地貌、耕地集中度、农机化水平等因素阻碍较为严重。

(4) 根据功能间关系,研究区共划分为生活—生态权衡型、生产—生活协同型、生态—生产协同型以及“三生”功能协调型四大类型区,各类型耕地多功能利用优化策略有所差异。研究区中东部分布最为广泛的“三生”功能协调发展区,生态—生产协同区的区县数量随时间变化有所增长,其余功能区的区县数量占比波动较小。

本文以珠江—西江经济带广西段为研究对象,以县域为研究单元,分析耕地利用多功能时空特性,探

析耕地多功能空间相关作用以及多功能分区类型下的空间异质性的演变规律,是对前人国家^[21,25]、省域等^[35]宏观尺度耕地多功能利用研究的补充。但在指标选取时如何有效将土壤属性数据、景观条件数据有机融入方面还有待进一步探究,未来可进一步加强微观地块尺度下的耕地多功能评价与分区研究,为耕地可持续利用及区域农业绿色发展提供理论指导。

参考文献(References):

- [1] 李懿芸,毛晓红,黄祖辉.国家粮食安全背景下耕地数量、质量、生态“三位一体”保护评价与对策研究[J].农村经济,2023(6):21-31.
Li Y Y, Mao X H, Huang Z H. Evaluation and countermeasure research on the trinity protection of cultivated land quantity, quality and ecology under the background of national food security[J]. Rural Economy, 2023(6):21-31.
- [2] 魏慧,吕昌河,尹旭.青藏高原耕地的空间分异及其影响因素[J].地理科学,2023,43(3):379-387.
Wei H, Lyu C H, Yin X. Spatial differentiation of farmland and influencing factors on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Scientia Geographica Sinica, 2023, 43(3): 379-387.
- [3] 张英男,龙花楼,戈大专,等.黄淮海平原耕地功能演变的时空特征及其驱动机制[J].地理学报,2018,73(3):518-534.
Zhang Y N, Long H L, Ge D Z, et al. Spatio-temporal characteristics and dynamic mechanism of farmland functions evolution in the Huang-Huai-Hai Plain[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(3):518-534.
- [4] Vereijken P H. Transition to multifunctional land use and agriculture[J]. NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences, 2003,50(2):171-179.
- [5] de Groot R S, Wilson M A, Boumans R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. Ecological Economics, 2002,41(3):393-408.
- [6] 金贵,邓祥征,赵晓东,等.2005—2014年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征[J].地理学报,2018,73(7):1242-1252.
Jin G, Deng X Z, Zhao X D, et al. Spatio-temporal patterns of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone during 2005—2014[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(7):1242-1252.
- [7] Aubry C, Ramamonjisoa J, Dabat M H, et al. Urban agriculture and land use in cities: An approach with the multi-functionality and sustainability concepts in the case of Antananarivo (Madagascar) [J]. Land Use Policy,

- 2012, 29(2): 429-439.
- [8] 宋小青, 欧阳竹. 耕地多功能内涵及其对耕地保护的启示[J]. 地理科学进展, 2012, 31(7): 859-868.
- Song X Q, Ouyang Z. Connotation of multifunctional cultivated land and its implications for cultivated land protection[J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(7): 859-868.
- [9] Coyle C, Creamer R E, Schulte R P O, et al. A functional land management conceptual framework under soil drainage and land use scenarios[J]. *Environmental Science & Policy*, 2016, 56: 39-48.
- [10] 邹利林, 李裕瑞, 刘彦随, 等. 基于要素视角的耕地“三生”功能理论建构与实证研究[J]. 地理研究, 2021, 40(3): 839-855.
- Zou L L, Li Y R, Liu Y S, et al. Theory building and empirical research of production-living-ecological function of cultivated land based on the elements[J]. *Geographical Research*, 2021, 40(3): 839-855.
- [11] 何青泽, 谢德体, 王三, 等. 重庆市北碚区耕地多功能评价及时空演变分析[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2020, 42(1): 79-87.
- He Q Z, Xie D T, Wang S, et al. Spatio-temporal evolution of cultivated land multi-function based on a fuzzy optimization model in Beibei district, Chongqing[J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2020, 42(1): 79-87.
- [12] 王成, 彭清, 唐宁, 等. 2005—2015年耕地多功能时空演变及其协同与权衡研究: 以重庆市沙坪坝区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(4): 590-599.
- Wang C, Peng Q, Tang N, et al. Spatio-temporal evolution and the synergy and trade-off relationship of cultivated land multi-function in 2005—2015: A case of: Shapingba district, Chongqing city[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(4): 590-599.
- [13] Hölting L, Beckmann M, Volk M, et al. Multifunctionality assessments—More than assessing multiple ecosystem functions and services? A quantitative literature review[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 103: 226-235.
- [14] 马才学, 金莹, 柯新利, 等. 基于全排列多边形图示法的湖北省耕地多功能强度与协调度典型模式探究[J]. 中国土地科学, 2018, 32(4): 51-58.
- Ma C X, Jin Y, Ke X L, et al. Study on the Typical Modes of Farmland Multi-functional Intensity and Coordination in Hubei Province based on the Entire-array-polygon Indicator Method[J]. *China Land Science*, 2018, 32(4): 51-58.
- [15] 向敬伟, 廖晓莉, 宋小青, 等. 中国耕地多功能的区域收敛性[J]. 资源科学, 2019, 41(11): 1959-1971.
- Xiang J W, Liao X L, Song X Q, et al. Regional convergence of cultivated land multifunctions in China[J]. *Resources Science*, 2019, 41(11): 1959-1971.
- [16] 钱凤魁, 迟艳茹, 徐欢, 等. 2006—2020年沈阳市耕地多功能权衡协同关系演变分析[J]. 中国土地科学, 2022, 36(10): 31-41.
- Qian F K, Chi Y R, Xu H, et al. Study on evolution of trade-off and synergy relationship of multifunctional cultivated land from 2006 to 2020: A case of Shenyang city[J]. *China Land Science*, 2022, 36(10): 31-41.
- [17] Czyżewski B, Kułyk P, Kryszak Ł. Drivers for farmland value revisited: Adapting the returns discount model (RDM) to the sustainable paradigm[J]. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja*, 2019, 32(1): 2080-2098.
- [18] 孔凡靖, 陈玉成, 陈庆华, 等. 重庆市农田生态服务价值时空变化特征及其驱动因素分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(11): 1637-1648.
- Kong F J, Chen Y C, Chen Q H, et al. Temporal and spatial variation and driving factors of farmland ecological service value in Chongqing[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(11): 1637-1648.
- [19] 马凤娇, 刘金铜. 基于能值分析的农田生态系统服务评估: 以河北省栾城县为例[J]. 资源科学, 2014, 36(9): 1949-1957.
- Ma F J, Liu J T. Agricultural ecosystem services assessment based on emergy analysis in Luancheng County[J]. *Resources Science*, 2014, 36(9): 1949-1957.
- [20] 方莹, 王静, 孔雪松, 等. 耕地利用多功能权衡关系测度与分区优化: 以河南省为例[J]. 中国土地科学, 2018, 32(11): 57-64.
- Fang Y, Wang J, Kong X S, et al. Trade-off relation measurement and zoning optimization of multi-functionality of cultivated land use: A case study of Henan Province[J]. *China Land Science*, 2018, 32(11): 57-64.
- [21] 熊昌盛, 张永蕾, 王雅娟, 等. 中国耕地多功能评价及分区管控[J]. 中国土地科学, 2021, 35(10): 104-114.
- Xiong C S, Zhang Y L, Wang Y J, et al. Multi-function evaluation and zoning control of cultivated land in China[J]. *China Land Science*, 2021, 35(10): 104-114.
- [22] 朱从谋, 李武艳, 杜莹莹, 等. 浙江省耕地多功能价值时空变化与权衡-协同关系[J]. 农业工程学报, 2020, 36(14): 263-272.
- Zhu C M, Li W Y, Du Y Y, et al. Spatial-temporal change, trade-off and synergy relationships of cropland multifunctional value in Zhejiang Province, China[J].

- Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(14): 263-272.
- [23] 殷如梦, 李欣, 曹锦秀, 等. 江苏省耕地多功能利用权衡/协同关系研究[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2020, 43(1): 69-75.
- Yin R M, Li X, Cao J X, et al. Study on the trade-off/synergy of multifunctional cultivated land in Jiangsu Province[J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 2020, 43(1): 69-75.
- [24] 赵泳春, 苏方林. 经济差异化增长下生态系统服务价值的时空演变特征: 以珠江—西江经济带为例[J]. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1782-1798.
- Zhao Y C, Su F L. Spatio-temporal dynamic characteristics of the ecosystem service values under differential economic growth: A case study of the Pearl River-West River Economic Belt [J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(7): 1782-1798.
- [25] 张玥, 代亚强, 陈媛媛, 等. 中国耕地多功能耦合协调时空演变及其驱动因素[J]. 农业工程学报, 2023, 39(7): 244-255.
- Zhang Y, Dai Y Q, Chen Y Y, et al. Spatial-temporal evolution and driving factors of cultivated land multifunctional coupling coordination development in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(7): 244-255.
- [26] 李怡, 方斌, 李裕瑞, 等. 城镇化进程中耕地多功能权衡/协同关系演变及其驱动机制[J]. 农业工程学报, 2022, 38(8): 244-254.
- Li Y, Fang B, Li Y R, et al. Trade-off and synergy evolution of farmland functions and its dynamic mechanism in the process of urbanization[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(8): 244-254.
- [27] 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 G, Guo B S, Cheng J H, 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.
- [28] 张丝雨, 胡伟艳, 赵可, 等. 耕地多功能与农业绿色全要素生产率的耦合协调发展研究[J]. 世界农业, 2022(11): 83-97.
- Zhang S Y, Hu W Y, Zhao K, et al. Study on the coupling and coordinated development of multifunctional cultivated land and agricultural green total productivity [J]. World Agriculture, 2022(11): 83-97.
- [29] 陈磊. 耕地利用功能转型的空间尺度特征及驱动机制: 对四川省嘉陵江流域的考察[J]. 水土保持研究, 2022, 29(5): 327-335, 342.
- Chen L. Spatial scale characteristics and driving mechanism of functional transformation of cultivated land use: A survey of Jialing River Basin, Sichuan Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(5): 327-335, 342.
- [30] 罗莎莎, 赖庆标, 王旭东, 等. 基于多功能评价与权衡-协同关系的福建省耕地地区划管控[J]. 农业工程学报, 2023, 39(13): 271-280.
- Luo S S, Lai Q B, Wang X D, et al. Control and management of cropland regionalization in Fujian Province of China using multi-functional evaluation and trade-off/synergy relationships[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(13): 271-280.
- [31] Spearman C. The proof and measurement of association between two things[J]. International Journal of Epidemiology, 2010, 39(5): 1137-1150.
- [32] He W K, Li X S, Yang J, et al. How land use functions evolve in the process of rapid urbanization: Evidence from Jiangsu Province, China [J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 380: 134877.
- [33] 张利国, 王占岐, 柴季, 等. 湖北省耕地多功能地区差异及综合分区研究[J]. 地域研究与开发, 2019, 38(5): 125-130.
- Zhang L G, Wang Z Q, Chai J, et al. Multifunction spatial differentiation and comprehensive zoning of cultivated land in Hubei Province[J]. Areal Research and Development, 2019, 38(5): 125-130.
- [34] 贺大为, 金贵, 王新生, 等. 长江经济带国土空间开发与保护路径优化[J]. 生态学报, 2023, 43(14): 5776-5787.
- He D W, Jin G, Wang X S, et al. Optimization of development and protection pattern of territorial space in the Yangtze River Economic Belt[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(14): 5776-5787.
- [35] 徐磊, 胡浩, 尹士, 等. 河北省耕地功能供需转型时空演变及利用分区[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 403-412.
- Xu L, Hu H, Yin S, et al. Spatiotemporal evolution and subarea of cultivated land function supply-demand transition in Hebei Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(3): 403-412.