doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2024.11.037

功能与空间形态视角下不同主体功能区耕地利用时空分异特征

朱庆莹[1,2]　何耿毅[1]　陈　坤[3]　陈银蓉[4]　王玉琳[1]

(1. 华南农业大学公共管理学院, 广州 510642; 2. 自然资源部滨海城市地下空间地质安全重点实验室, 青岛 266101;
3. 湖北理工学院经济管理学院, 黄石 435003; 4. 华中农业大学公共管理学院, 武汉 430070)

摘要: 明晰不同主体功能区耕地利用功能与空间形态时空分异特征可为耕地可持续管理与利用乃至区域经济社会可持续发展提供科学依据。以湖北省所有区(县)为研究对象,采用社会经济、自然地理等数据对 1995—2019 年不同主体功能区耕地利用功能与空间形态开展评价并分析时空演化特征。结果表明:1995—2019 年耕地利用生产、社会、生态、总功能分别呈倒"N"形、"W"形、"V"形和"V"形的变化特征;生产、生态、总功能表现为鄂中强于鄂西与鄂东地区,社会功能空间分异较小;生产功能在重点发展区和农产品主产区相差不大,却显著强于生态功能区,社会功能在生态功能区最强而重点发展区最弱,生态功能和总功能在农产品主产区最强而在生态功能区最弱。1995—2019 年间耕地利用数量、景观格局和空间形态分别呈倒"N"形、"V"形和"N"形变化特征;鄂中地区数量形态值高于鄂西与鄂东地区,而鄂西与鄂东之间差异不大;景观格局、空间形态值呈现鄂中地区最高而鄂西地区最低的分异格局;数量形态值在重点发展区和农产品主产区较高,景观格局形态值和空间形态值由大到小依次为农产品主产区、重点发展区、生态功能区且十分显著。1995—2019 年耕地利用总形态值呈"V"形变化态势;在功能和空间形态的叠加影响下,整体呈现出鄂中地区较高,而鄂东和鄂西地区较低的分异格局;主体功能区上由大到小依次为农产品主产区、重点发展区、生态功能区。不同主体功能区在社会经济条件、功能定位、耕地资源禀赋等方面异质性明显,应采取差异化的调控政策,优化耕地利用的功能与空间形态,服务于湖北省耕地可持续利用和经济社会可持续发展。

关键词: 耕地利用形态; 时空分异; 病态指数分析法; 主体功能区; 湖北省

中图分类号: F301.24　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2024)11-0375-16　　**OSID**:

Spatial-temporal Divergence of Cultivated Land Use in Different Main Functional Areas from Perspective of Functional and Spatial Form

ZHU Qingying[1,2]　HE Gengyi[1]　CHEN Kun[3]　CHEN Yinrong[4]　WANG Yulin[1]

(1. *School of Public Management, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*
2. *Key Laboratory of Geological Safety of Coastal Urban Underground Space, Ministry of Natural Resources, Qingdao* 266101, *China*
3. *School of Economics and Management, Hubei Polytechnic University, Huangshi* 435003, *China*
4. *College of Public Administration, Huazhong Agricultural University, Wuhan* 430070, *China*)

Abstract: Studying the spatial-temporal divergence characteristics of cultivated land use functions and spatial forms in different functional areas can provide scientific basis for sustainable management and utilization of cultivated land, as well as regional economic and social sustainable development. Taking all districts (counties) in Hubei Province as the research object, cultivated land use functions and spatial forms of different main functional areas were evaluated from 1995 to 2019 by using data from social economy, natural geography, agricultural production etc., and the spatiot-emporal evolution characteristics were analyzed. The results indicated that from 1995 to 2019, the production, social,

收稿日期: 2024-07-20　修回日期: 2024-08-26

基金项目: 广东省社会科学基金项目(GD24YGL03)、广东省软科学面上基金项目(2024A1010030007)、国家自然科学基金项目(42271270)、广州市社会科学基金项目(2023GZQN28、2024GZQN30)、广州市自然科学基金项目(2024A04J3280)、自然资源部华南热带亚热带自然资源监测重点实验室项目(2024NRMZ06)和自然资源部滨海城市地下空间地质安全重点实验室项目(BHKF2023Y02)

作者简介: 朱庆莹(1992—),男,讲师,博士,主要从事土地资源经济与管理研究,E-mail: 1257019206@qq.com

通信作者: 王玉琳(1974—),女,讲师,主要从事城市土地利用与管理研究,E-mail: jogwang@163.com

ecological and overall functional forms of cultivated land showed characteristics of inverted "N" shaped, "W" shaped, "V" shaped, and "V" shaped changes over time respectively. In terms of spatial distribution characteristics, the production, ecological and overall functions were stronger in western Hubei than that in eastern Hubei, while the spatial differentiation of social functions was relatively small. On the main functional area, the production function was not significantly different between the key development areas and the main agricultural production areas, but it was significantly stronger than the ecological function areas; the social function was the strongest in ecological function areas and the weakest in the key development areas, while the ecological function and overall function were the strongest in the main agricultural production areas and the weakest in the ecological function areas. From 1995 to 2019, the number of cultivated land, landscape pattern, and spatial form exhibited characteristics of inverted "N" shaped, "V" shaped, and "N" shaped changes over time respectively. In terms of spatial distribution characteristics, the quantity form showed that the central Hubei region were stronger than the western and eastern Hubei regions, while there was a little difference between the western and eastern Hubei regions. The landscape pattern and spatial form showed that the central Hubei region was the highest and the western Hubei region was the lowest. The quantity form values were relatively high in the key development areas and the main agricultural production areas, and the landscape pattern and spatial form were manifested as the largest agricultural product production area, followed by key development areas, and the smallest ecological function area, and the phenomenon was very obvious. The overall form of cultivated land use showed a "V" shaped trend over time; in terms of spatial distribution characteristics, under the combined influence of cultivated land use function and spatial form, the overall form of cultivated land use showed a differentiation pattern with the highest in central Hubei and relatively lower in eastern and western Hubei. The main function were manifested as the largest agricultural product production area, followed by key development areas, and the smallest ecological function area. It was recommended that different functional zones had significant heterogeneity in social and economic conditions, functional positioning and cultivated land resource endowment, so differentiated regulatory strategies should be adopted to optimize the functional and spatial forms of cultivated land use, serving the sustainable use of cultivated land and the sustainable development of Hubei Province's economy and society.

Key words: cultivated land use form; spatial-temporal divergence; ill-condition index analysis method; main functional zones; Hubei Province

0 引言

耕地既是重要的农业生产资料,也是保障粮食安全与促进经济发展的物质条件,还是维持社会稳定与支撑生态安全的重要屏障[1-3],当前存在质量下降、细碎化严重、功能价值显化不足、经营方式不合理等突出问题[4-11],这些问题没有得到很好解决的一个关键原因是对耕地利用形态优化调控不足[12-14]。开展耕地利用形态时空分异特征分析,可为决策部门适时调整调控政策提供科学依据,这既是服务于耕地可持续管理和利用的基础性研究,更是关乎永久基本农田保护、农业可持续发展、粮食安全甚至于社会稳定等的重要课题[12,15-16]。

已有研究主要集中在耕地利用的形态划分、评价及时空特征等方面[17-28]。在耕地利用形态划分方面,主要存在两种观点[14,17-18]。有学者将耕地利用形态划分为显性和隐性两种,前者主要以数量或空间结构体现;后者大都通过质量、功能、经营方式等多种方式呈现。也有学者认为空间和功能是耕地利用形态的两种划分路径,前者重点关注耕地的分布、收缩及扩张等情况,后者关注功能随社会发展的变化过程。综合两种观点来看,显性形态和空间形态内涵趋同,侧重耕地数量和空间结构变化;而隐性形态相比功能形态内涵更广泛,但就耕地而言,产权虽有流转,但经营方式变化不大,隐性形态更多强调耕地质量或是产出情况,体现功能形态[19]。在耕地利用形态评价及其时空特征方面,一方面,学者们集中在耕地的数量、空间结构、景观格局形态等显性或空间形态的研究[20-22]。另一方面,学者们对耕地质量(退化程度、污染程度、养分含量等)、产权(国有、集体所有)、经营方式(股份制、土地流转与规模经营等)、功能(生产、生活、生态、文化等)、产出(产量、效率、产出等)等隐性或功能形态进行了研究[23-28]。除上述研究视角外,国内外学者更多集中在耕地利用效率、粮食产量及经济产出等隐性形态的时空特征及调控策略探讨[3,25-28]。综上,学者们围绕耕地利用形态划分、评价及其时空特征等开展了丰富研究,但在以下方面仍需拓展:①已有研究大

都直接选取指标体系对耕地利用形态进行评估，缺乏对耕地利用形态演变机理的系统阐述；另外多数研究主要经过主成分分析和多指标（两两）之间的相关性分析进行简单的指标筛选后进行评价，虽可保证所选指标对耕地利用评价结果有显著影响，并且考量指标集内少部分指标间的信息重叠性，却无法满足对评价指标集整体信息重叠不高的要求，致使评价结果科学性不足。②主体功能区战略是我国重大区域发展战略之一，受区域特点、功能定位和比较发展优势等差异影响，不同主体功能区耕地利用功能形态和空间形态呈现差异化特征。当前缺乏结合主体功能区视角展开耕地利用形态时空分异特征及差异化调控策略探讨，致使现有相关调控政策效果不佳甚至出现政策失效。在“健全主体功能区制度，优化国土空间发展格局”的背景下，深入开展不同主体功能区耕地利用形态的时空演化特征研究是科学调控的前提。

本研究首先基于诱致性替代理论阐述耕地利用功能与空间形态演变的机理；其次采用病态指数法、Spearman 秩相关性分析、变异系数法等方法对耕地利用功能与空间形态的评价指标体系进行筛选并进行科学评价；在此基础上，采用核密度估计、空间分析等方法系统刻画 1995—2019 年湖北省不同主体功能区耕地利用形态时空演变规律，为制定以主体功能区为前提的差异化调控政策，进而为服务湖北省耕地可持续利用与社会经济可持续发展提供参考。

1　研究区概况、数据来源及研究方法

1.1　研究区概况

湖北省位于北纬 29°01′53″～33°06′47″、东经 108°21′42″～116°07′50″之间，东西两头分别连接安徽省与重庆市，北接陕西省、河南省，南接江西省、湖南省，属于我国中部核心区，是长江经济带的中心地带，也是各区域互动发展的关键承接点，地理位置优越，是中部崛起战略的重要经济引擎。在全国主体功能区规划的思想和原则指导下，湖北省基于不同区域的区域特点、功能定位和比较发展优势的差异，于 2012 年编制了《湖北省主体功能区划》。其中，重点发展区经济条件优越，资源环境负荷能力较强，发展空间较大，人口大量集聚以及经济体量较大，聚焦于工业化发展和城镇化开发，是大量输出工业产品和服务产品的源头。农产品主产区耕地资源禀赋条件好，农业发展的基础条件出色，有利于工业化和城市化发展，区域定位为农产品和农业综合发展能力的有效供给，限制大规模的城市化开发。生态功能区的生态系统脆弱、资源环境受外界干扰影响较大，城市化和工业化发展的条件不成熟，有效供给生态产品，修复和保护生态环境是其主体生态功能，应在保障主体生态功能前提下合理发展带动该区域发展的产业和经济。本文以 2015 年行政区划为基准，进行行政区划部分合并后，最终纳入研究的重点发展区、农产品主产区和生态功能区数量分别为 28、28 和 30，如图 1 所示。

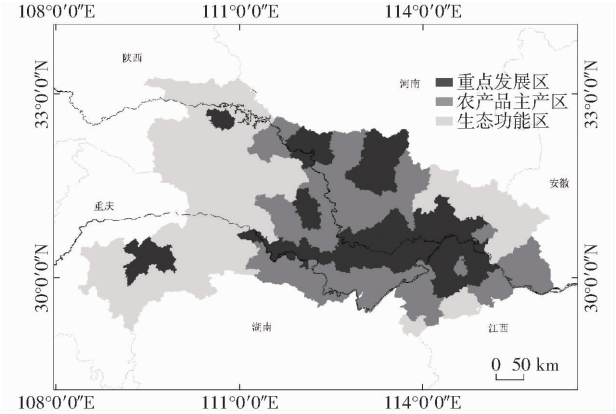

图 1　湖北省主体功能区规划分区

Fig. 1　Planning and zoning of main functional areas in Hubei Province

不同主体功能区在社会经济条件、产业结构和耕地资源禀赋方面差异显著。从社会经济层面来看，重点发展区是经济增长的关键来源，2020 年数据显示，重点发展区 GDP 总量为 28 989.821 亿元，占全省的 66.73%；农产品主产区的 GDP 总量为11 043.328 亿元；而生态功能区经济发展相对落后，GDP 总量只占全省的 7.85%。从各产业结构来看，二三产业是重点发展区的主导产业，分别占当地 GDP 总量的 53% 和 40%；农产品主产区以第二产业为主，占比 49%，而第一和第三产业占比相对较小；生态功能区各产业结构占比相对均衡，一二三产业分别占 21%、43% 和 36%。从耕地资源禀赋条件看，截止 2020 年末，湖北省全省耕地面积为 $5.235\,4\times10^{6}$ hm^2，人均耕地面积为 0.090 1 hm^2，而农产品主产区占全省耕地的 41.02%，人均耕地面积为 0.107 6 hm^2，是全省人均水平的 1.2 倍；重点发展区耕地数量居中，占全省的 34.05%，但人均耕地面积只有 0.063 8 hm^2，远低于农产品主产区；生态功能区耕地资源禀赋条件最差，占全省的 24.93%；人均耕地略低于农产品主产区却显著高于重点发展区。另外，农产品主产区和重点发展区多处于长江中游的江汉平原、武汉城市圈地区，水热条件优越，地形多以平原与低缓丘陵为主；生态功能区多属鄂西贫困山区，耕地占比较少且分布散乱，坡耕地类型居多，而且耕地质量远不及农产品主产区和重点发展区。

1.2 数据来源与处理

研究数据主要来源于历年的《湖北农村统计年鉴》、《湖北统计年鉴》、《中国县域统计年鉴》、《湖北省各市、州统计年鉴》、湖北省国民经济和社会发展统计公报、各市州国民经济和社会发展统计公报，中国科学院资源环境科学数据中心（https://www.resdc.cn/）、高德地图、Open street map、《国家粮食安全中长期规划纲要（2008—2020 年）》、《生态县、生态市、生态省建设指标（修订稿）》、地图数据，以及氮、磷、钾肥利用率的文献参考数据[29]。

关键数据处理过程描述如下：①受数据获取和行政区划调整的影响，行政区域发生如下合并：江岸区、武昌区、江汉区、硚口区、汉阳区、青山区和洪山区合并为武汉市市辖区，黄石港区、西塞山区、下陆区、铁山区合并为黄石市市辖区，茅箭区、张湾区合并为十堰市市辖区，沙市区、荆州区合并为荆州市市辖区，西陵区、伍家岗区、点军区、猇亭区和夷陵区合并为宜昌市市辖区，襄城区和樊城区合并为襄阳市市辖区，东宝区和掇刀区合并为荆门市市辖区，随县并入曾都区。②利用 ArcGIS 10.3 重分类工具将土地利用类型分为最终的耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地六大类，再利用分区统计工具得到各区（县）逐期 6 类土地利用数量结构。③在土地利用现状图以合并好的区（县）为单位进行分割的基础上，将各区（县）历年的土地利用现状图导入 Fragstats 4.2 软件，得到耕地景观分离度、景观破碎度、斑块聚集度等指标。④对于地区生产总值、种植业产值、城镇居民人均纯收入等数据均以 1995 年为基期，分别以对应的地区生产总值、农业产值、城镇和农村居民消费水平等价格指数进行平减。⑤对于个别数据缺失，以相邻年份数据为基准进行数据重建，采用多年数据移动平均或是进行趋势外推预测的方法。

1.3 研究方法

1.3.1 耕地利用形态评价

（1）耕地利用功能与空间形态演变机理框架

耕地利用是乡村地域系统人地关系的重要基础，鉴于耕地显性形态和空间形态内涵的趋同性，以及就耕地这一特定地类而言，从功能视角衡量耕地利用形态相比隐性形态更具科学性和可行性[19]。本文从功能和空间视角阐述耕地利用形态演变机理。要素诱致性替代理论指出，随着社会经济发展水平提高，特定区域农业生产要素投入和农产品（服务）相对价格会发生改变，驱动农业生物化学品、农业劳动力以及农业机械等资本的投入程度发生变化，与此同时，耕地流转市场和农业市场、诱导农业主体对耕地的投入、种植乃至类型结构决策发生改变[14,30-31]，引导耕地利用功能形态（生产功能、生态功能和社会功能）和空间形态（面积、份额等数量格局以及破碎度、集聚度等空间格局）发生变化，遵循“农业市场生产要素或农产品（服务）相对价格变化（劳动力、土地、资本等以及粮食作物、经济作物与园艺作物等）→要素发生替代→耕地类型、投入和种植利用结构变化→耕地利用形态演变”路径（图 2）。

在经济社会落后阶段，土地、劳动、资本等各类农业生产要素市场处于萌芽阶段。农户耕地经营规模基本由土地分配制度决定，受土地市场影响很小，非农产业发展较弱，农业劳动力机会成本较低，向非农部门流动性不强，机械、生物化学品的投入能力较弱。在以粮为纲国家战略下，以种植多样化满足国家粮食安全需要和自身粮食需求，对应阶段的农田生态系统多样性较强，生物化学品的较低投入使得耕地环境负荷较低，生产能力较弱，耕地利用生产收益较低，耕地生态调节和承担的社会保障和粮食安全功能较强，经济贡献功能则相对较弱。与此同时，乡村人口具有较高的出生率，农村地区人口持续增加，导致对农村居民点用地的大量需求，人均耕地面积不断降低，耕地数量呈下降态势。早期的土地分配政策也使得耕地破碎化程度明显，耕地空间形态值较低。

随着经济社会转向中度发达阶段，农户耕地规模不断由分配制度和土地市场发育程度共同决定。这一阶段耕地流转速度加快，耕地生态、景观文化等非市场价值逐步显化，耕地价格劣势不断弱化。耕地利用主体倾向投入更多的生物化学品来集约节约利用耕地，增强耕地生产功能。与此同时，非农产业部门劳动生产率提升，农业劳动力不断流向非农部门，劳动力机会成本上升，致使农户大量采用农业机械替代劳动力，农业市场完备性得到增强和发展。城乡居民膳食结构和消费水平也在不断上升，这就导致粮食作物价格低于经济作物价格尤其相比园艺作物产品价格态势越发明显。市场需求导向下诱导农户更偏好种植经济效益更好的经济作物，诱致作物类型之间发生替代和种植结构发生变化。与此同时，农村劳动力不断向城市转移，农村居民点需求减弱，占用耕地比例也不断减少；又受土地流转市场和国家用地管控影响，耕地经营朝着家庭农场、专业大户等规模化和专业化方向发展，人均耕地面积有所增加。土地综合整治等措施实施也不断降低耕地破碎度，耕地利用空间形态得到逐步优化。

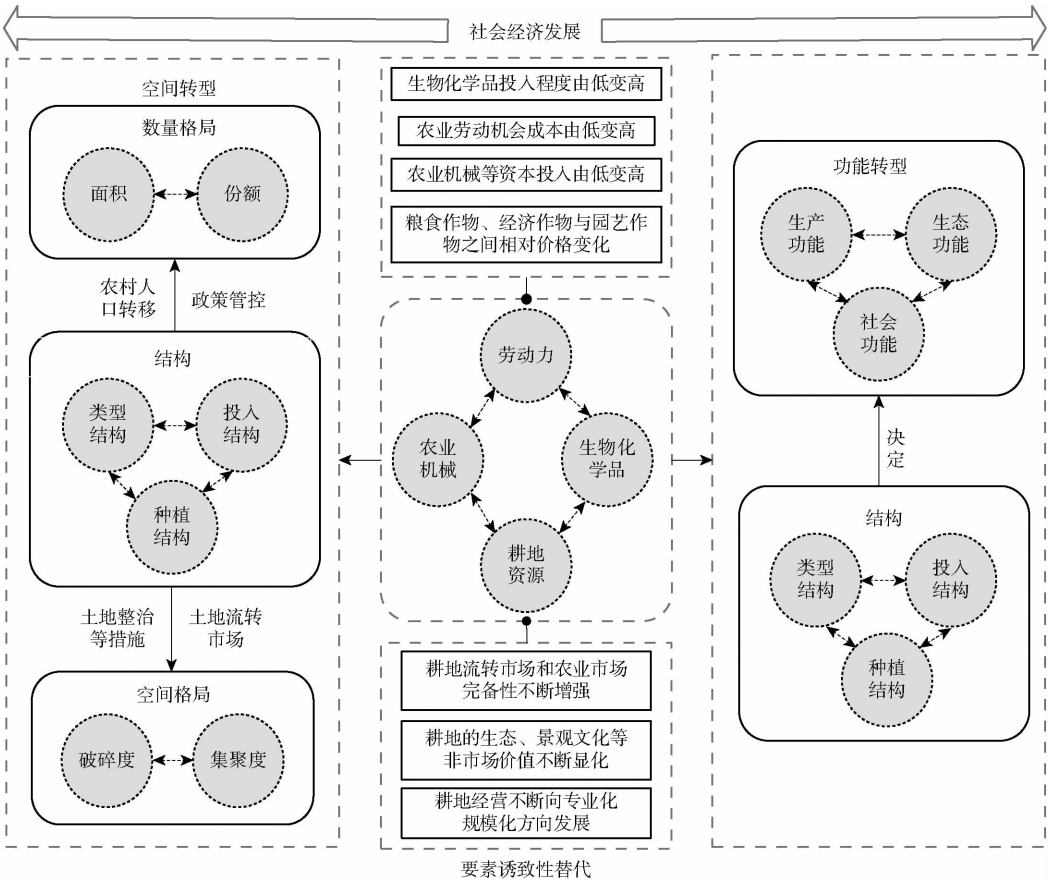

图 2　要素诱致性替代理论视角下的耕地利用形态演变机理

Fig. 2　Evolution mechanism of cultivated land use form from perspective of factor-induced substitution theory

随着经济社会转向高级发达阶段，各类农业生产要素市场趋于成熟，耕地发生自由流转，其经营规模主要由土地市场决定，农户获取耕地的交易成本不断降低。城乡居民需求不断升级，乡村旅游、农产品质量安全、农业休闲逐渐演变成城乡居民的特殊需求，耕地生态系统服务价值相比耕地农产品价值的优势不断凸显，这一阶段生物化学品减量明显。农业劳动力高于农业机械等非农业劳动力要素价格的优势进一步增强，机械等要素进一步替代家庭农业劳动力。与此同时，城乡居民饮食结构和消费水平逐渐稳定，各类农作物的市场价格及相对价格也逐渐趋于平稳。受市场需求的驱动，此阶段主要以规模化农地经营为主，种植类型呈现多样化特征，出现了典型的生态化农场类型。与此同时，农村人口也逐步趋于稳定，耕地数量要在发展建设和“吃饭”之间保持利用均衡，农村人均耕地面积也将最终趋于一个稳定值。此时农村土地流转市场也逐渐稳定，在其与土地整治等政策的综合影响下，耕地斑块集聚度有少量增加，相应的景观格局形态有轻微改善，整体的空间格局形态也趋于稳定。

（2）耕地利用形态评价指标体系筛选方法

基于耕地利用功能与空间形态演变的机理框架，依据科学与客观性、综合性与可操作性以及可比性与区域性等原则基础上，参考现有研究初步选取相应评价指标[29,32-34]，本文从耕地利用 3 类功能形态（生产、社会和生态）和 2 类空间形态（数量和景观格局）进行耕地利用形态指标体系构建。通过主成分分析法和病态指数循环分析对初选指标的显著性和整体重叠性进行筛选，采用 Spearman 秩相关性分析以及变异系数法对个别指标的重叠性进行筛选。限于篇幅，有关主成分分析和病态指数循环分析的具体过程和结果在此不进行赘述。

病态指数法的筛选原理如图 3 所示，其具体步骤为：

（1）通过特征方程计算矩阵 $\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{X}$ 中的特征值 λ_1、λ_2、…、λ_n，计算式为

$$|\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{X} - \lambda_i \boldsymbol{E}_n| = 0 \tag{1}$$

式中　$\boldsymbol{E}_n$——单位矩阵

（2）计算所有评价指标对应的病态指数 CI_n，计算公式为

$$CI_n = \sqrt{\lambda_1^* / \lambda_n^*} \tag{2}$$

式中　λ_1^*——矩阵最大特征值

λ_n^*——矩阵最小特征值

(3)计算剔除单个指标 $X_i(i=1,2,\cdots,n)$ 后剩余 $n-1$ 个指标的病态指数 $CI_{(n-1)}$。按照步骤(1)、(2)重复进行计算。在此基础上,计算指标 $X_i(i=1,2,\cdots,n)$ 的整体信息重叠贡献程度 C_{i1},计算公式为

$$C_{i1} = CI_n - CI_{(n-1)} \tag{3}$$

(4)剔除 n 个指标中信息重叠贡献度最大的指标,即剔除 $C_{j1} = \max\{C_{j1};1\leqslant j\leqslant n\}$,完成信息重叠指标的第一轮筛选。如此循环往复,直至运行至所有评价指标的病态指数不高于理想设定值则终止筛选。

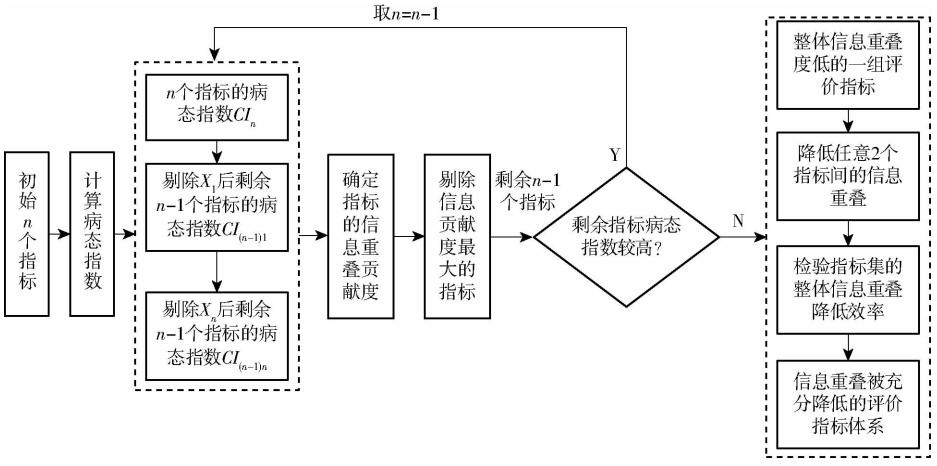

图 3 基于病态指数循环分析的指标筛选原理图

Fig. 3 Principle of index screening based on cycle analysis of ill-conditioned index

采用 Spearman 秩相关性分析对指标之间的相关性进行计算,并在此基础上,计算各个指标的变异系数 CV_i,删除变异系数较大的指标。CV_i 越大,指标 X_i 对于评价结果越重要[35]。结合相关性计算结果,当相关系数 $r_{ij} > r_0$ 时删除 X_i 和 X_j 中变异系数较小的一个指标,其中 r_0 一般取 0.7。

经过上述指标遴选过程,确定的耕地利用形态评价指标体系如表 1 所示。

(3)耕地利用形态评价指标体系权重确定方法

采用层次分析法和熵权法相结合对指标进行赋权。对于组合权重 w_i 求解,为剔除较大波动数据的影响,使得 w_{i1} 与 w_{i2} 间的差异与主观权重系数 α 和客观权重系数 β 的之间的差异一样,引入距离函数进行 α、β 的求解,确定的各评价指标权重如表 1 所示。

层次分析法(AHP)是一种集成定性与定量的系统分析方法,用来确定指标的主观权重,具体指标标度原则见表 2。熵权法是基于指标离散程度来对指标进行赋权的方法。

通过距离函数法确定层次分析法和熵权法各自所对应的相对权重(表 1)。

组合权重计算式为

$$w_i = \alpha w_{i1} + \beta w_{i2} \tag{4}$$

其中 $$\alpha + \beta = 1$$

权重 w_{i1} 与权重 w_{i2} 的距离表达式为

$$d(w_{i1},w_{i2}) = \left[\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}(w_{i1}-w_{i2})^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

α、β 的差值为分配系数之间的差异 D,计算公式为

$$D = |\alpha - \beta| \tag{6}$$

构造求解 α、β 方程组为

$$\begin{cases} d(w_{i1},w_{i2}) = (\alpha-\beta)^2 \\ \alpha+\beta = 1 \end{cases} \tag{7}$$

经计算 $\alpha = 0.504$,$\beta = 0.496$,因此最终的组合权重计算式为 $w_i = 0.504w_{i1} + 0.496w_{i2}$。

1.3.2 耕地利用形态时空特征分析

分别采用核密度估计和 Arcgis 空间分析来刻画耕地利用形态时空演变特征。其中,核密度估计(Kernel density estimation)属于非参数法,可用于估算概率密度函数,其不包含任何参数模型假设,是一种以密度曲线特征来描绘随机变量的分布状态与演化规律的方法,曲线的重心位置表征均值演变情况,波峰陡峭程度表征均值差异演变情况,波峰数量表示形态值分化或收敛情况,左右拖尾长度表示处于低(高)形态值样本的形态值演进特征,而拖尾厚度表示低(高)形态值比重变化情况。函数公式为

$$f(x) = \frac{1}{mh}\sum_{i=1}^{n}K\left(\frac{x_i - x}{h}\right) \tag{8}$$

式中 m——样本数量

h——带宽

x_i——样本观测值

$f(x)$——核密度

$K(\cdot)$——核函数,采用高斯核函数分析耕地利用形态的时间变化规律

表 1　耕地利用形态评价指标体系及其权重

Tab. 1　Evaluation index system and weight of cultivated land use form

目标层	指标层	子指标层（权重）	次指标层及其属性	指标含义	权重			
					AHP	熵权法	组合法	
							总排序	单排序
耕地利用形态	功能形态	生产（0.190 3）	地均种植业产值（+）	农业经济产出	0.055 7	0.064 3	0.060 0	0.315 4
			复种指数（+）	利用程度	0.030 0	0.022 3	0.026 2	0.137 6
			土地垦殖率（+）	生产力强度	0.061 0	0.069 3	0.065 1	0.342 2
			有效灌溉耕地面积比例（+）	生产力强度	0.040 3	0.037 6	0.039 0	0.204 8
		社会（0.258 4）	人均粮食保证率（+）	粮食保障能力	0.022 3	0.038 5	0.030 3	0.117 3
			粮食安全品质保障系数（+）	粮食品质安全	0.034 7	0.041 3	0.038 0	0.147 0
			粮食作物占农作物面积比例（+）	粮食保障能力	0.031 8	0.013 9	0.022 9	0.088 7
			农业从业人员占农业人口比例（+）	劳动力承载能力	0.033 8	0.040 0	0.036 9	0.142 8
			农村劳动力转移指数（-）	劳动力转移状况	0.024 9	0.027 7	0.026 3	0.101 8
			单位耕地供养人数（+）	人口承载能力	0.030 0	0.037 8	0.033 9	0.131 1
			人均农业收入占比（+）	相对生活经济保障能力	0.041 6	0.048 5	0.045 0	0.174 1
			城乡收入比（-）	相对生活经济保障能力	0.039 8	0.010 2	0.025 1	0.097 2
		生态（0.157 7）	氮肥污染风险指数（-）	农田生态健康水平	0.022 2	0.026 9	0.024 5	0.155 6
			钾肥污染风险指数（-）	农田生态健康水平	0.024 6	0.029 2	0.026 9	0.170 4
			磷肥污染风险指数（-）	农田生态健康水平	0.033 9	0.041 1	0.037 5	0.237 5
			农田生态系统多样性（+）	农田生态恢复能力	0.022 0	0.002 7	0.012 4	0.078 9
			耕地占生态用地比重（+）	耕地生态本底	0.051 4	0.061 5	0.056 4	0.357 6
	空间形态	数量（0.169 7）	耕地面积净变化率（+）	耕地净变化水平	0.014 5	0.043 4	0.028 8	0.170 0
			人均耕地面积（+）	人均耕地数量	0.029 1	0.072 6	0.050 7	0.298 6
			粮物种植面积与经作种植面积比（+）	各耕地类型结构	0.035 7	0.040 9	0.038 3	0.225 7
			建设占用耕地比例（-）	建设占用耕地水平	0.098 5	0.004 4	0.051 9	0.305 8
		景观格局（0.223 9）	斑块占景观面积比例（+）	空间结构	0.062 7	0.068 8	0.065 7	0.293 2
			聚集指数（+）	集聚程度	0.040 9	0.044 4	0.042 6	0.190 3
			耕地破碎度（-）	破碎程度	0.003 9	0.003 3	0.003 6	0.016 1
			景观分割指数（-）	景观分离程度	0.114 7	0.109 5	0.112 0	0.500 4

注：“+”、“-”表示指标属性。

表 2　判断矩阵指标标度含义

Tab. 2　Scale meaning of judgment matrix indicators

标度	含义
1	两个指标具有同样重要性
3	一个指标比另一个指标稍微重要
5	一个指标比另一个指标明显重要
7	一个指标比另一个指标强烈重要
9	一个指标比另一个指标极端重要
2,4,6,8	上述两相邻判断的中间值
倒数	指标 i 重要性比指标 j 重要性为 a_{ij}，反过来的重要性之比为 $1/a_{ij}$

2　结果与分析

2.1　耕地利用功能形态时空分异特征

2.1.1　生产功能

从图 4 可看出，湖北省生产功能形态值随时间呈倒“N”形波动变化特征，2015 年最高，为 0.362 5；2005 年最低，为 0.287 6。这是因为 2005 年经济社会发展相对不发达，这一阶段的生物化学品、机械等资本投入较少，耕地产出能力弱，对应生产功能较低；2015 年前后农业机械等要素大量替代劳动力、耕地生物化学品投入密度增加，农业产值显著增加，生产功能增强。从图 5a 可看出，市（州）层面曲线重心随时间呈“左移→右移”变化特征，波峰呈“单峰→双峰→单峰”演进态势，波峰高度先增加后降低再增加，左侧拖尾明显长于右侧拖尾但较右侧拖尾薄。这表明生产功能先减小后增强，整体呈现“收敛-两极分化-再收敛”变化特征，市（州）之间差距先缩小后扩大；生产功能低值区分布范围较广但整体占比较小而高值区占比较高。从图 6a 可看出，区（县）层面曲线呈“左移→右移→微左移”态势，生产功能表现为倒“N”形演进特征；从波峰数量和高度看，波峰数量由双峰演进为单峰，波峰高度整体由陡峭变平缓；这表明区（县）层面生产功能由两极分化格局向收敛特征转换，区（县）之间差距有所扩大。从曲线两拖尾来看，右侧拖尾稍大于左侧拖尾，左侧拖尾有所缩短和降薄，表明生产功能高值区数值有所增加。

从图 7a 可看出，生产功能形态值自西向东呈现

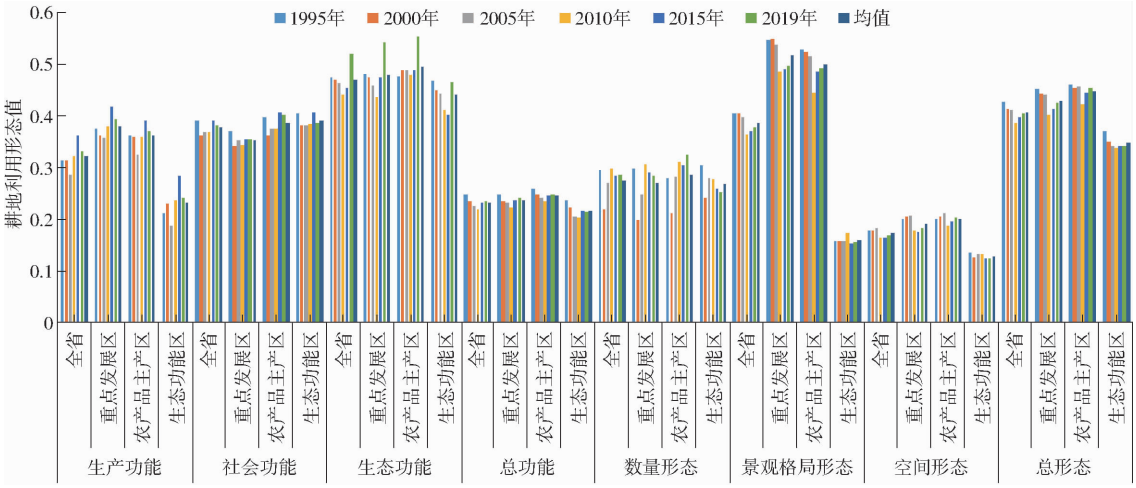

图 4 1995—2019 年不同主体功能区各耕地利用形态值

Fig. 4 Cultivated land use form value in different main functional areas from 1995 to 2019

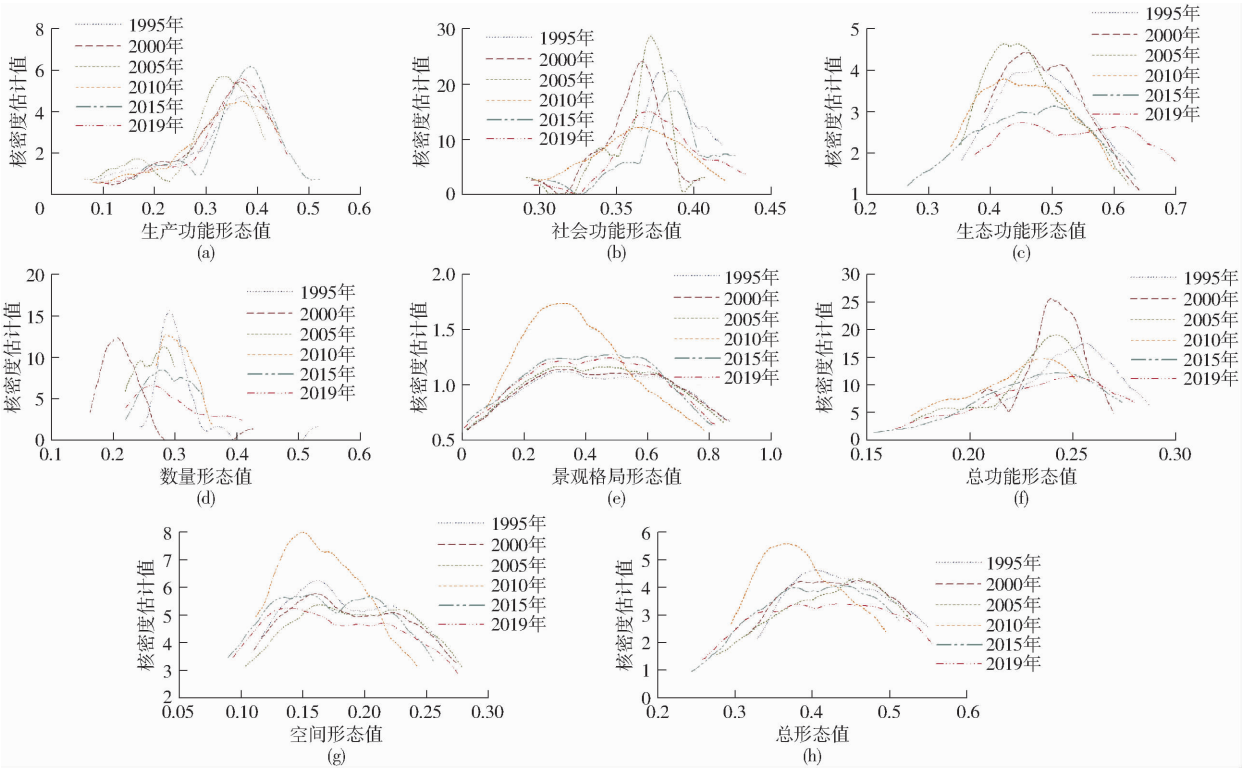

图 5 市(州)层面耕地利用各形态值核密度变化曲线

Fig. 5 Kernel density curves variation of various form values of cultivated land use at city (prefecture) level

“低-高-中”的空间分布格局。这是因为鄂西贫困山区市场条件和耕地质量均较差,复种指数较低,致使耕地产量及其对应产值也较低;鄂中江汉平原区耕地质量好,规模化程度高,耕地产能强;耕地垦殖率高,光温水等自然条件好,耕地复种指数较高,规模化经营发展迅速,耕地灌溉条件优势明显,生产功能最强。主体功能区上由大到小依次为重点发展区、农产品主产区、生态功能区,其中重点发展区和农产品主产区相差不大,但与生态功能区相差较为明显。生态功能区主要为鄂西贫困山区和鄂东的部分地区,市场条件差,农产品市场与非市场价值得不到显化,其次,鄂西部分地区由于生态保护需要,耕地生物化学品投入较少,除此之外,灌溉等条件较差,土地垦殖率较低,生产功能较弱。农产品主产区耕地质量好,耕作条件较优,自然条件促使的复种指数也较高,对应的耕地产值也较高。重点发展区农业市场环境好,农产品的各方面市场价值能够得到充分显化,地均种植业产值和土地垦殖率都较高。

2.1.2 社会功能

从图 4 可看出,湖北省社会功能形态值随时间整体呈“W”形波动变化态势,1995 年最高,为 0.390 8,2000 年最低,为 0.362 0。这是因为早期耕地供养

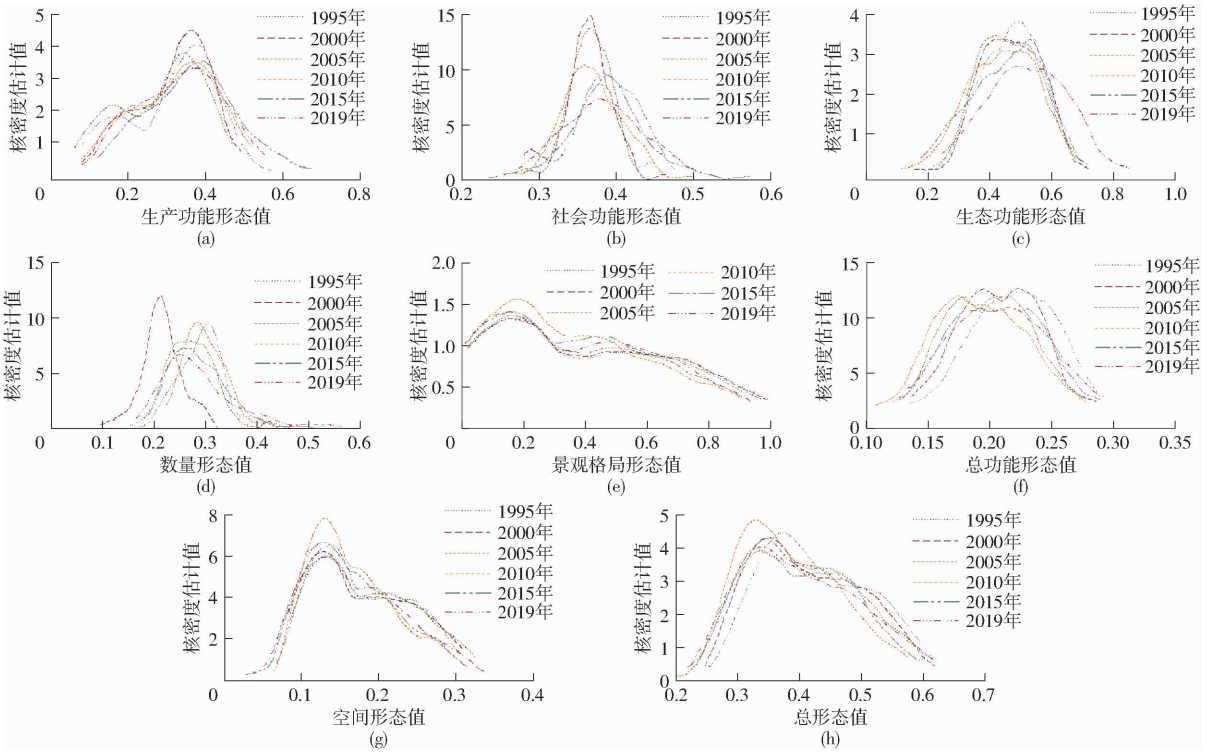

图 6　区(县)层面耕地利用各形态值核密度变化曲线

Fig. 6　Kernel density curves variation of various form values of cultivated land use at district (county) level

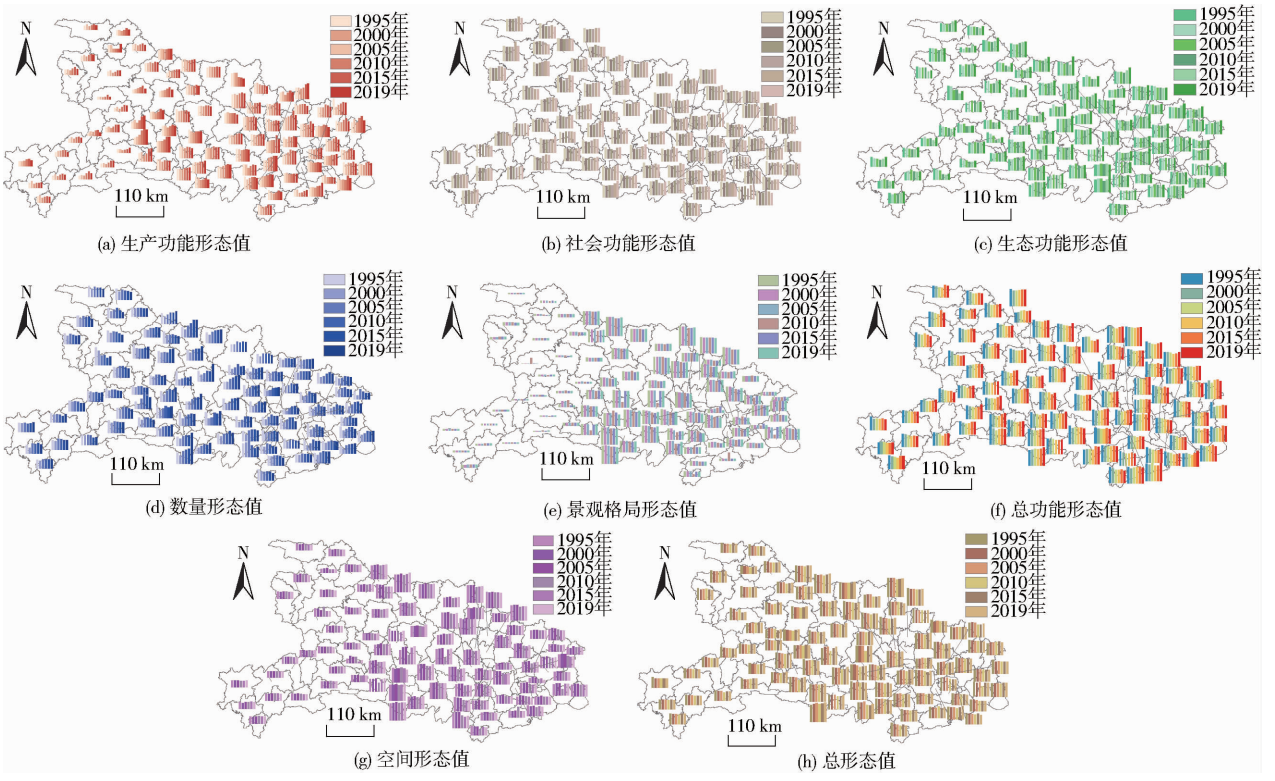

图 7　1995—2019 年耕地利用各形态值空间分布

Fig. 7　Spatial distribution of various forms of cultivated land use values from 1995 to 2019

的农业人口较多，农业收入占比较高，社会功能较高；随着经济社会的不断发展，机械等资本不断取代劳动力，农村剩余劳动力不断向非农产业、非农部门转移，城乡收入差距不断拉大；但随着社会经济的进一步发展，粮食保障能力压力增大，粮食品质安全等出现下降，使得社会功能波动变化。从图 5b 看，市(州)层面曲线重心呈“左移→右移→再左移”特征，社会功能形态值随时间先降低后升高再降低；1995、2005、2015 年呈现双峰甚至多峰状态，其余年份为单峰状态，波峰高度呈现“升高→降低→升高→降

低”变化特征。这表明 1995、2005、2015 年形态值呈现两极甚至是多极分化,其余年份呈收敛状态,市(州)之间差距呈“缩小→扩大→再缩小→再扩大”特征;左侧拖尾长于右侧且较右侧拖尾薄,社会功能低值区数值较低且市(州)数量占比也低。从图 6b 可看出,区(县)层面曲线呈现“左移→右移→再左移”态势,社会功能先下降后上升再微降;从波峰数量和波峰高度看,除 2000 年为双峰状态外,其余年份均为单峰状态,社会功能只在 2000 年呈现两极分化,其余年份呈现收敛性特征;波峰呈“平缓→陡峭→平缓”变化特征,反映出区(县)之间差距先减小后扩大。从曲线拖尾来看,两侧拖尾分布对称,表明社会功能高值区和低值区的区(县)个数分布比较均匀。

从图 7b 可看出,地理分区上,社会功能形态值在空间分异较小;主体功能区上由大到小依次为生态功能区、农产品主产区、重点发展区,且农产品主产区与生态功能区相差较小。这归结于鄂中和鄂东地区多属于重点发展区和农产品主产区,鄂西地区多属于生态功能区;重点发展区人口集聚,粮食需求量高,粮食保证率最低;非农经济发达,农村劳动力生计策略的选择性更强,大量农村劳动力转移到非农产业,就业保障功能降低,城乡收入比也较高,社会功能最弱;农产品主产区粮食产量丰富,粮食保证率最高,农业收入为该地区农村劳动力的最主要收入,但受农业收入增长驱动,经济作物占比较高,而且城乡收入差距相对较大,社会功能处于较高水平。生态功能区受政策管控的影响,生物化学品投入量较少,粮食质量安全得到充分保证,其次粮食作物的占比最高,受农村市场条件的影响,劳动力的转移程度很低,大部分农村劳动力都是就近务农,所承担的社会功能最高。

2.1.3 生态功能

从图 4 可看出,湖北省生态功能形态值随时间呈“V”形变化态势,2019 年最高,为 0.519 8;2010 年最低,为 0.441 4。这是因为随着经济社会不断发展,耕地的生物化学品投入密度增加,导致生态功能降低;后期耕地生态系统服务、生态多样性等非市场价值凸显,耕地管护主体生态意识提高,生态功能增强。从图 5c 可看出,市(州)层面曲线重心呈“右微移→左移→向右”态势,生态功能先微增后减小再增加;历年都存在双峰及多峰状态,波峰高度先上升后下降,这表明两极甚至多极分化明显,市(州)之间差距先缩小后扩大;除 2015 年外,其余年份右侧拖尾较左侧的长且薄,表明高值区数值较高,但对应的市(州)数量占比较低。从图 6c 可看出,区(县)层面曲线重心先左移后右移,表明生态功能先减小后增加;从波峰数量和高度看,整体由单峰演进为双峰甚至多峰,波峰高度整体由陡峭变平缓;整个研究期内,生态功能由收敛向两极分化格局演变,区(县)之间差距则持续扩大。从曲线拖尾来看,两侧拖尾分布均衡,2015 年之前,两侧拖尾的变化不大,2015—2019 年,右侧拖尾有所增长,生态功能高值区个数有所增加。

从图 7c 可看出,生态功能形态值呈现鄂中地区较高,鄂东和鄂西整体较低的空间格局。主体功能区表现为农产品主产区最强,重点发展区其次,生态功能区最弱。这是因为重点发展区受农产品需求多样化的影响,各类农作物种植面积分布较为均匀,农田系统多样化系数较高;生态功能区受政府政策管制等因素影响,虽然氮、磷、钾肥风险系数较低,但整体耕地占生态用地比重较低,加上耕地占生态用地比重对生态功能的影响明显,生态功能反而较弱,但也有少数地区例外,例如鄂西北神农架等地及鄂东部分地区。农产品主产区受规模经济推动,虽然农产品种植较为单一化,农田生态系统多样性较低,且农药化肥等生物化学品投入量较高,致使氮、磷、钾风险系数较高,但耕地占生态用地比例极高,反而生态功能最强。

2.1.4 总功能

从图 4 可看出,湖北省总功能形态值随时间呈“V”形变化特征,最大在 1995 年,为 0.248 6;最小在 2010 年,为 0.220 8。这是因为随着社会经济不断发展,农业生产要素投入和农产品(服务)在相对价格变化的过程中发生替代,引发农业主体对耕地类型、投入以及种植利用结构的决策发生变化,进而对耕地生产、社会和生态功能产出产生影响,引起总功能先减后增。从图 5f 看,市(州)层面曲线重心在 2010 年之前一直左移,之后右移,总功能先减后增;波峰高度先增加后减小,波峰数量仅在 2000 年出现双峰,市(州)之间的差距先减小后扩大,除 2000 年外,整体一直处于收敛状态;左侧拖尾显著长于右侧且较右侧拖尾薄,低值区数值较低但市(州)数量占比不高。从图 6f 可看出,曲线重心 2005 年之前一直左移,之后右移,表明 2005 年之前总功能一直降低,之后增强;从波峰数量和高度看,除 2000 年外,各年份一直保持双峰甚至是多峰状态,高度由陡峭变平缓,表明区(县)层面总功能在研究期内处于双极或多极分化状态,且区(县)之间差距有所扩大;从拖尾的情况来看,高、低值区个数分布较均匀。

从图 7f 可看出,总功能形态值表现为鄂西山区最小,鄂东地区次之,鄂中地区最高(江汉平原与武

汉城市圈）的明显空间分异格局。总功能是耕地生产、生态、社会功能的叠加，空间分布效果是各类子功能叠加的作用。鄂中和江汉平原地区主要受市场环境、耕地本地质量等多因素的驱动，总功能较高；鄂西和鄂东地区受经济发展水平、政府政策规制、农村人口就业等因素的影响，总功能较鄂中地区略低。主体功能区上由大到小依次为农产品主产区、重点发展区、生态功能区，其中农产品主产区与重点发展区差距较小，但两者都远大于生态功能区。可能的原因是农产品主产区主要受耕地质量和政府政策引导等多因素影响，社会和生态功能都是三者中最高的，生产功能与重点发展区相差较小，综合功能形态值最高。重点发展区市场条件优势明显，生产功能最高，生态功能居中，受农业人口和农村劳动力外出就业影响的社会功能最低，总功能其次。生态功能受市场条件差、耕地质量低、耕地占生态用地比例低等影响，总功能形态值最低。

2.2　耕地利用空间形态时空分异特征

2.2.1　数量形态

从图 4 可看出，湖北省数量形态值随时间呈倒“N”形变化特征，其中 2010 年最高，为 0.298 8；2000 年最低，为 0.219 4。这是因为早中期主要受快速城市化和工业化的影响，耕地被建设占用，人均耕地大量减少，加上经济作物占比不断增加；后期在国家基本农田建设、合理控制粮食作物与经济作物种植结构等一系列政策调控下，数量形态得到优化。从图 5d 可看出，市（州）层面曲线重心在 2000 年前左移，之后右移，数量形态值随时间推移先减小后增大；波峰高度呈先降后升再降的演变态势，除 2019 年呈单峰状态外，其余年份都为双峰甚至多峰状态。这表明市（州）之间差距先扩大后缩小再扩大，2019 年处于收敛状态，其余年份均呈现两极甚至多极分化状态；两侧拖尾随时间推移不断缩短和变厚，表明数量形态值高值区数值有所减小但数量占比有所增加，而低值区数值增大且数量占比也增加。从图 6d 可看出，区（县）层面 1995—2000 年曲线大幅度左移，2000—2010 年间右移，之后又左移，这表明 1995—2000 年间数量形态值下降明显，2000—2010 年间有所增加，2010 年后又有所减小；从波峰数量和高度看，除 2019 年为双峰状态外，之后一直为单峰状态，高度一直放缓，数量形态值在 2019 年出现两极分化，其余年份一直处于收敛态势，研究期内区（县）之间数量形态值差距一直扩大。曲线左侧拖尾变厚而右侧拖尾延长但较薄，表明低值区个数随时间有所增加，而高值区数量维持稳定但对应数值有所增加。

从图 7d 可看出，数量形态值在空间上呈现鄂中地区较高，鄂东和鄂西两头稍低的分异格局；主体功能区上表现为农产品主产区最高，重点发展区其次，生态功能区最低，其中重点发展区与生态功能区相差较小。这是因为重点发展区受城镇化推动，耕地占补平衡政策引导等多方面影响，耕地面积净变化程度较高；湖北省绝大多数耕地都集中在鄂中地区，对应的大都是农产品主产区和重点发展区，人均耕地面积大；受市场经济引导，种植结构以经济作物为主，快速的城市化建设占用大量耕地，综合影响下，数量形态值居中。农产品主产区多处江汉平原，土地平整等工程措施积极推进，耕地面积净变化率较高；耕地禀赋条件好，人均耕地面积较大；受规模化经济影响，种植结构主要以经济作物为主，建设占用耕地强度较重点发展区弱；数量形态值最高。生态功能区，农作物种植结构以粮食作物为主且占比较高；市场不发达加上生态管制约束，耕地非农化需求较小，耕地净变化水平较低，虽然建设占用耕地较少，但耕地总量较小，人均耕地面积最低，数量形态值最低。

2.2.2　景观格局形态

从图 4 可看出，湖北省景观格局形态值随时间呈“V”形变化特征，2000 年最高，为 0.405 4；2010 年最低，为 0.363 8。这是因为研究期早期主要受耕地均分制度的影响，后期主要由于土地整治等工程措施，耕地细碎化有所降低，集聚程度有所增加，相应的景观格局形态值得到改善。从图 5e 可看出，市（州）层面曲线重心在 2010 年有所移动，其余年份移动幅度较小，2010 年相比 2005 年向左移动，景观格局形态值随时间推移变化较稳定；历年曲线主要呈现单峰状态，波峰高度先增加后降低，表明景观格局形态值呈现收敛性特征，市（州）之间差距先减小后扩大；拖尾随时间推移左侧变厚而右侧变薄，说明低值区占比在增加而高值区占比减小。从图 6e 可看出，区（县）层面曲线重心移动较小；从波峰数量和高度看，整个研究期呈现主峰与次峰共存状态，主峰高度先增后减，次峰高度持续增加，景观格局形态值呈现多极分化，低值区区（县）之间的差距先缩小后扩大，中值区区（县）之间差距有所缩小。左侧拖尾非常厚，右侧拖尾则较薄，这说明低值区（县）占比较高而高值区（县）占比较低。

从图 7e 可看出，景观格局形态值自西向东呈现“低—高—中”的分布格局且差异明显；主体功能区上表现为重点发展区和农产品主产区强于生态功能区。重点发展区主要受到严格的耕地保护制度、区域耕地资源禀赋条件、土地综合整治工程等的影响，

耕地斑块占景观面积比例、耕地集聚程度相对较高；另一方面，受城市化建设等的影响，对应的耕地景观破碎程度及其耕地被分割的程度也较高，整体的耕地景观格局形态水平居中。农产品主产区经过土地平整后的耕地集聚程度很高，耕地斑块面积也得到了显著增加，耕地的破碎程度及耕地景观被分割的程度最小，景观格局水平最高。生态功能区受地理区位等因素影响，耕地总量很少，大都细碎零散地分布于鄂西贫困山区，对应的耕地占景观面积比例以及耕地的集聚程度很低，相反对应的耕地破碎程度及其耕地景观被分割的程度较高，综合的耕地景观格局值最低。

2.2.3 空间形态

从图 4 可看出，湖北省空间形态值随时间呈“N”形变化特征，2005 年最高，为 0.127 7；2000 年最低，为 0.110 2，这主要是耕地数量和景观格局形态随时间推移综合叠加的结果。从图 5g 可看出，市（州）层面曲线重心移动幅度不大，2010 年相对 2005 年曲线左移，空间形态值在 1995—2005 年期间较为稳定，2005—2010 年空间形态值减小，之后又保持稳定；波峰数量维持多波峰状态，波峰高度随时间出现“降低→升高→再降低”变化，整个研究期表现出多极分化特征，市（州）之间差距呈“扩大→缩小→再扩大”的特征。从两侧拖尾看，高值区与低值区分布和占比个数较为均匀。从图 6g 可看出，区（县）层面曲线重心在研究期期间移动较小且波峰呈现单峰局面，波峰高度先降低后增加再降低，空间形态值始终处于收敛状态，区（县）之间差距呈“扩大→缩小→再扩大”的特征。从曲线拖尾看，右侧拖尾长于左侧拖尾，高值区（县）数值较高。

从图 7g 可看出，空间形态值在地理分区上总体呈现鄂西山区最小，鄂东地区次之，鄂中地区最高的特征；空间形态是耕地利用数量和景观格局形态共同作用的结果，鄂中和江汉平原地区主要受耕地资源禀赋、农业工程措施等多方面影响，空间形态值最高；鄂西和鄂东地区受耕地自然条件、政府生态政策管制、农业市场化条件等影响，空间形态值较鄂中地区明显偏低。主体功能区上由大到小依次为农产品主产区、重点发展区、生态功能区，其中农产品主产区与重点发展区差距较小，但两者都远大于生态功能区。农产品主产区数量形态值最高，景观格局形态值居中，空间形态值最高。重点发展区数量形态值居中，景观格局形态最高，空间形态值居中。生态功能区的数量形态值和景观格局形态值都是最低的，整体的空间形态值最低。

2.3 耕地利用总形态时空分异特征

从图 4 可看出，湖北省耕地利用总形态值随时间呈“V”形变化态势，1995 年最高，为 0.427 1；2005 年最低，为 0.386 4，这是耕地利用功能形态和空间形态演化后综合叠加的结果。从图 5h 可看出，市（州）层面曲线重心位置移动不大，只是 2010 年相较 2015 年左移明显，总形态值早期保持稳定而后降低，之后又维持平稳；除 2015 年外的其余年份曲线呈现多缓峰共存特征，波峰高度先降低后升高再降低，这表明总形态值呈现多极分化但程度较缓，市（州）之间的差距先扩大后缩小再扩大；左侧拖尾较右侧相对长和薄，表明处于低值区的数值较低但占比较少。从图 6h 可看出，区（县）层面曲线重心随时间推移先左移后右移，总形态值先减后增；从波峰数量和高度看，整个研究期出现单峰独立或主峰缓峰共存等形态，波峰高度先下降后上升再下降，这表明总形态值在收敛与多极分化状态间转换，区（县）之间差距先扩大后缩小再扩大。左侧拖尾较右侧拖尾短且薄，说明高值区数值较高且区（县）个数占比较高。

从图 7h 可看出，总形态值呈现鄂中地区最高，鄂东鄂西地区相对较低的格局。总形态值是耕地功能形态与空间形态综合作用的结果。主体功能区上由大到小表现为农产品主产区、重点发展区、生态功能区，其中农产品主产区与重点发展区相差较小，但两者显著大于生态功能区。这是因为功能形态上农产品主产区最大、重点发展区其次、生态功能区最弱；空间形态在主体功能区上存在着与功能形态类似特征，耕地利用功能和空间形态空间分异格局决定了总形态的空间分异格局。

3 讨论

3.1 耕地利用形态指标体系筛选改进

本研究采用病态指数法、相关性分析、变异系数法等方法对耕地利用形态评价指标体系进行了筛选，实现了以下改进：①基于病态指数循环分析法，根据一个指标剔除后指标集病态指数减小的幅度越大，该指标对指标集整体信息重叠贡献越大的思路，剔除对剩余指标整体信息重叠贡献最大的指标，克服已有研究无法高效率地降低指标集的整体信息重叠及不能测度剩余指标整体信息重叠水平的不足。②基于 Spearman 秩相关性分析和变异系数法相结合，剔除相关程度高的任意 2 个剩余指标中相对不重要的一个指标，避免指标集的整体信息重叠不高而个别指标间信息重叠却依然较高的缺陷，建立了更科学的耕地利用形态评价指标体系。

3.2　耕地利用形态分类的不足

耕地利用形态尤其是功能形态是随着社会经济发展和主体需求的演变而发生改变[29,36]。在社会经济欠发达阶段，耕地主要体现为开展生产活动产出的生产功能，以及依托耕地的就业、粮食安全保障等社会功能。随着经济社会不断发展和主体需求的不断升级，耕地逐渐衍生出生态甚至是景观文化等功能。本研究选取 1995—2019 年这一研究时段，鉴于在这一研究时段的早中期衍生出的景观文化功能较弱，本文未对耕地的文化景观功能等其它衍生功能进行分析。后续研究应进一步将耕地景观文化等衍生功能纳入研究，全面剖析耕地利用形态的时空演变特征。

3.3　对服务湖北省耕地可持续利用与社会经济高质量发展的政策启示

本研究探讨了湖北省不同主体功能区耕地利用功能与空间形态的时空分异特征并解释了背后的影响机制。基于不同主体功能区的区域特点、功能定位与比较发展优势等方面的差异，为更好地服务于耕地可持续管理和利用，支撑湖北省经济社会高质量发展，不同主体功能区应采取差异化的调控政策。具体而言：①重点发展区主要聚焦于工业化发展和城镇化开发，是大量输出工业产品和服务产品的源头，是耕地减少最剧烈的区域，应严格控制耕地向非农转化；同时为促进区域之间协调发展，应科学设计基于耕地利用形态保护的横向财政转移支付机制，具体应科学设计武汉城市圈向江汉平原及鄂西地区横向转移支付制度。②农产品主产区基于其农产品有效供给和增强农业综合发展能力的区域定位，应在保证其主体功能不削弱的前提下适度引导非农产业发展，限制占用大规模耕地的城市化开发。大力完善土地市场，加快土地流转，促进规模经营；也应积极开展全域土地综合整治等工程，降低耕地细碎化程度，优化耕地利用功能与空间形态。具体应严控江汉平原耕地的非农转化，完善土地流转市场的制度、政策甚至是合约机制，加大该区域的基本农田甚至是高标准基本农田的建设力度，改善耕地利用空间利用条件，增强耕地利用功能产出。③生态功能区主要任务是有效供给生态产品，修复和保护生态环境，应着重发挥其生态功能，探索区域农产品或服务生态价值的显化机制，在保护主体生态功能前提下，也可适当对该区域耕地空间利用形态进行调整，积极打造服务于旅游等第三产业为基础的硬件条件，合理发展带动该区域发展的产业和经济。应采用工程技术措施优化鄂西山区耕地利用条件，例如加强山地地区耕地改造、坡耕地整治等；从财权和事权的公平性出发，建立起重点发展区和农产品主产区对生态功能区的生态补偿机制，积极发展以生态旅游为主导的第三产业等。

4　结论

（1）耕地利用功能形态时空分异特征显著。1995—2000 年间全省生产功能形态值呈倒“N”形变化特征；区（县）层面生产功能形态值随时间先减小后增加再微降，研究期间由两极分化格局向收敛性特征转换，区（县）之间差距有所增加；空间上呈现鄂中最高，鄂东其次，鄂西最低；主体功能区由大到小依次为重点发展区、农产品主产区、生态功能区。全省社会功能形态值随时间呈“W”形波动变化态势；区（县）层面社会功能形态值随时间先下降后上升再微降，研究期间仅个别年份出现两极分化，其余年份呈现收敛性特征，区（县）之间差距先减小后扩大；空间分异较小，主体功能区由大到小依次为生态功能区、农产品主产区、重点发展区。全省生态功能形态值随时间呈“V”形波动态势；区（县）层面生态功能值随时间先减小后增加，研究期间由收敛向两极分化格局演变，区（县）之间的差距持续扩大；空间上呈现鄂中地区较高，鄂东鄂西整体较低的格局；主体功能区表现为农产品主产区最强，重点发展区其次，生态功能区最弱。全省总功能形态值随时间呈“V”形波动态势；区（县）层面总功能形态值随时间先降后升，研究期间处于双极或多极分化状态，区（县）之间的差距有所扩大；空间上表现为鄂西山区最小，鄂东地区次之，江汉平原与武汉城市圈地区最高；主体功能区由大到小依次为农产品主产区、重点发展区、生态功能区。

（2）耕地利用空间形态值时空分异特征显著。1995—2000 年间全省数量形态值呈倒“N”形变化特征；区（县）层面数量形态值随时间先减小后增加再降低，除 2019 年呈现两极分化外，其余年份一直呈收敛特征，区（县）之间差距一直变大；空间上呈现鄂中地区较高，两头稍低的分异格局；主体功能区上表现为农产品主产区最高，重点发展区其次，生态功能区最低，且重点发展区与生态功能区相差较小。全省景观格局形态值随时间呈“V”形变化特征；区（县）层面景观格局形态值随时间变化较小，整个研究期呈现多极分化特征，低值区差距先缩小后扩大，中值区差距有所缩小；空间上自西向东呈现“低—高—中”的分异格局且差异明显；主体功能区上表现为重点发展区和农产品主产区强于生态功能区。全省耕地利用空间形态值随时间呈“N”形变化特征；区（县）层面空间形态值随时间变化较小，在研

究期期间始终处于收敛态势,区(县)之间差距呈“扩大→缩小→再扩大”的特征;空间上总体呈现鄂西山区最小,鄂东地区次之,鄂中地区最高的分异格局;主体功能区由大到小依次为农产品主产区、重点发展区、生态功能区。

(3)耕地利用总形态时空分异特征显著。1995—2000 年间全省总形态值呈“V”形变化态势;区(县)层面总形态值随时间先减小后增加,研究期间总形态值在收敛与多极分化间转换,区(县)之间差距先扩大后缩小再扩大;空间上呈现鄂中地区最高,鄂东鄂西地区相对较低的分异格局;主体功能区由大到小依次为农产品主产区、重点发展区、生态功能区。

参 考 文 献

[1] 王千,金晓斌,周寅康,等. 河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因[J]. 生态学报, 2011, 31(1): 247 - 256.
WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al. Spatial differences and its driving factors of emergy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Provence[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(1): 247 - 256. (in Chinese)

[2] 蔡运龙. 中国农村转型与耕地保护机制[J]. 地理科学, 2001,21(1): 1 - 6.
CAI Yunlong. The mechanisms of cropland conservation in Chinese rural transformation[J]. Scientia Geographica Sinica, 2001, 21(1): 1 - 6. (in Chinese)

[3] YIN Yuqing, HOU Xiahui, LIU Jingming, et al. Detection and attribution of changes in cultivated land use ecological efficiency: a case study on Yangtze River Economic Belt, China[J]. Ecological Indicators, 2022,137: 108753.

[4] 刘晶,金晓斌,徐伟义,等. 耕地细碎化对可持续集约利用的影响机理与治理框架[J]. 地理学报, 2022, 77(11): 2703 - 2720.
LIU Jing, JIN Xiaobin, XU Weiyi, et al. Influence mechanism of cultivated land fragmentation on sustainable intensification and its governance framework[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(11): 2703 - 2720. (in Chinese)

[5] 邱小倩,胡月明,朱阿兴,等. 基于关联规则的耕地质量评价数据检错方法研究——以广州市为例[J]. 中国土地科学, 2020, 34(3): 75 - 83.
QIU Xiaoqian, HU Yueming, ZHU Axing, et al. Research on associated rule-based error checking method on assessment index database of cultivated land quality: a case study on Guangzhou City[J]. China Land Science, 2020, 34(3): 75 - 83. (in Chinese)

[6] 陈正发,史东梅,何伟,等. 基于“要素-需求-调控”的云南坡耕地质量评价[J]. 农业工程学报, 2020, 36(12): 236 - 246.
CHEN Zhengfa, SHI Dongmei, HE Wei, et al. Quality evaluation of slope farmland in Yunnan Province based on “element - demand - regulation” framework[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(12): 236 - 246. (in Chinese)

[7] 张蚌蚌,郭芬,黄丹,等. 陕北“一户一田”和“一组一田”耕地细碎化整治模式与绩效评价[J]. 农业工程学报, 2020, 36(15): 28 - 36.
ZHANG Bangbang, GUO Fen, HUANG Dan, et al. Pattern and evaluation of land consolidation model for “One Household One Plot” and “One Village One Plot” to solve land fragmentation in Northern Shaanxi Province, China[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(15): 28 - 36. (in Chinese)

[8] 徐羽,李秀彬,辛良杰. 中国耕地规模化流转租金的分异特征及其影响因素[J]. 地理学报, 2021, 76(3): 753 - 763.
XU Yu, LI Xiubin, XIN Liangjie. Differentiation of scale-farmland transfer rent and its influencing factors in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(3): 753 - 763. (in Chinese)

[9] 路昌,耿昊,刘蕊,等. 山东省耕地多功能耦合协调度时空格局分析[J]. 农业机械学报, 2021, 52(3): 265 - 274.
LU Chang, GENG Hao, LIU Rui, et al. Spatial-temporal pattern analysis of cultivated land multi-functional coupling coordination degree in Shandong Province[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(3): 265 - 274. (in Chinese)

[10] 中华人民共和国生态环境部. 2021 年中国生态环境状况公报(摘录)[J]. 环境保护, 2022, 50(12): 61 - 74.

[11] 韩杨. 中国耕地保护利用政策演进、愿景目标与实现路径[J]. 管理世界, 2022, 38(11): 121 - 131.
HAN Yang. The policy evolution, vision goal and realization path of China's cultivated land protection and utilization[J]. Management World, 2022, 38(11): 121 - 131. (in Chinese)

[12] 李全峰,胡守庚,瞿诗进. 1990—2015 年长江中游地区耕地利用转型时空特征[J]. 地理研究, 2017, 36(8): 1489 - 1502.
LI Quanfeng, HU Shougeng, QU Shijin. Spatiotemporal characteristics of cultivated land use transition in the Middle Yangtze River from 1990 to 2015[J]. Geographical Research, 2017, 36(8): 1489 - 1502. (in Chinese)

[13] 龙花楼. 论土地利用转型与土地资源管理[J]. 地理研究, 2015, 34(9): 1607 - 1618.
LONG Hualou. Land use transition and land management[J]. Geographic Research, 2015, 34(9): 1607 - 1618. (in Chinese)

[14] 宋小青,李心怡. 区域耕地利用功能转型的理论解释与实证[J]. 地理学报, 2019, 74(5): 992 - 1010.
SONG Xiaoqing, LI Xinyi. Theoretical explanation and case study of regional cultivated land use function transition[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(5): 992 - 1010. (in Chinese)

[15] 宋敏,张安录. 大食物观视阈下的耕地利用转型:现实挑战、理论逻辑与实现路径[J]. 中国土地科学, 2023, 37(8): 31 - 41.

SONG Min, ZHANG Anlu. Cultivated land use transition from the "greater food" perspective: realistic challenges, theoretical logic and implementation paths[J]. China Land Science, 2023, 37(8): 31 - 41. (in Chinese)

[16] 符海月,吴树东,姜朋辉. 中国粮食主产区耕地绿色低碳利用转型指数构建及分区[J]. 农业工程学报, 2023, 39(23): 238 - 246.
FU Haiyue, WU Shudong, JIANG Penghui. Index and zoning for green and low-carbon transition of cultivated land utilization in main grain-producing areas of China[J]. Transactions of the CSAE, 2023, 39(23): 238 - 246. (in Chinese)

[17] LI Xin, KUANG Xiaofu, MA Xiaodong, et al. Are there interactions between the urban and rural construction land use transition? Evidence from Jiangsu Province in China[J]. Habitat International, 2024,148: 103092.

[18] 龙花楼,戈大专,王介勇. 土地利用转型与乡村转型发展耦合研究进展及展望[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2547 - 2559.
LONG Hualou, GE Dazhuan, WANG Jieyong. Progress and prospects of the coupling research on land use transitions and rural transformation development[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(12): 2547 - 2559. (in Chinese)

[19] 孔祥斌,张蚌蚌,温良友,等. 基于要素-过程-功能的耕地质量理论认识及其研究趋势[J]. 中国土地科学, 2018, 32(9): 14 - 20.
KONG Xiangbin, ZHANG Bangbang, WEN Liangyou, et al. Theoretical framework and research trends of cultivated land quality based on elements - process - function[J]. China Land Science, 2018, 32(9): 14 - 20. (in Chinese)

[20] 王雨枫,王娟. 京津冀地区耕地利用时空分异与影响机制分析[J]. 农业机械学报, 2022, 53(1): 192 - 197,214.
WANG Yufeng, WANG Juan. Spatio-temporal differentiation and influencing mechanism of cultivated land use in Beijing - Tianjin - Hebei region[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(1): 192 - 197,214. (in Chinese)

[21] 王学,徐晓凡. 中国耕地景观细碎度时空变化特征及其影响因素[J]. 农业工程学报, 2022, 38(16): 11 - 20.
WANG Xue, XU Xiaofan. Spatiotemporal characteristics and influencing factors of landscape fragmentation of cultivated land in China[J]. Transactions of the CSAE, 2022, 38(16): 11 - 20. (in Chinese)

[22] 施釉超,金晓斌,梁鑫源,等. 江苏省耕地集聚连通性时空特征与分类优化策略[J]. 农业工程学报, 2024, 40(11): 238 - 248.
SHI Youchao, JIN Xiaobin, LIANG Xinyuan, et al. Spatial-temporal characteristics and strategies for the classification and optimization of cultivated land agglomeration connectivity in Jiangsu Province of China[J]. Transactions of the CSAE, 2024, 40(11): 238 - 248. (in Chinese)

[23] SONG Wen, ZHANG Huizhong, ZHAO Rui, et al. Study on cultivated land quality evaluation from the perspective of farmland ecosystems[J]. Ecological Indicators 2022,139: 108959.

[24] 胡茗,孙超,赵赛帅,等. 时序遥感支持下宁波市耕地生态质量扭转过程及驱动力分析[J]. 环境科学,2024,45(11): 6501 - 6513.
HU Ming, SUN Chao, ZHAO Saishuai, et al. Reversal process and driving force analysis for arable land ecological quality in Ningbo using time-series remote sensing technology[J]. Environmental Science,2024,45(11):6501 - 6513. (in Chinese)

[25] 张立新,朱道林,谢保鹏,等. 中国粮食主产区耕地利用效率时空格局演变及影响因素——基于 180 个地级市的实证研究[J]. 资源科学, 2017, 39(4): 608 - 619.
ZHANG Lixin, ZHU Daolin, XIE Baopeng, et al. Spatiotemporal pattern evolvement and driving factors of cultivated land utilization efficiency of the major grain producing area in China[J]. Resources Science, 2017, 39(4): 608 - 619. (in Chinese)

[26] 李雨凌,马雯秋,姜广辉,等. 中国粮食主产区耕地撂荒程度及其对粮食产量的影响[J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1439 - 1454.
LI Yuling, MA Wenqiu, JIANG Guanghui, et al. The degree of cultivated land abandonment and its influence on grain yield in main grain producing areas of China[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(6): 1439 - 1454. (in Chinese)

[27] 王凤,刘艳芳,孔雪松,等. 中国县域粮食产量时空演变及影响因素变化[J]. 经济地理, 2018, 38(5): 142 - 151.
WANG Feng, LIU Yanfang, KONG Xuesong, et al. Spatial and temporal variation of grain production and its influencing factors at the county level in China[J]. Economic Geography, 2018, 38(5): 142 - 151. (in Chinese)

[28] ZHANG Jiayi, ZHANG Pan, LIU Yiyang, et al. An analysis of the spatiotemporal evolution and driving force of cultivated land green utilization in Karst region of southwest China[J]. Journal of Cleaner Production, 2024, 434: 140002.

[29] 胡伟艳,朱庆莹,张安录,等. 总量与结构视角耕地多功能对农业经济增长的影响——以湖北省为例[J]. 中国土地科学, 2018, 32(5): 62 - 70.
HU Weiyan, ZHU Qingying, ZHANG Anlu, et al. Impacts of multifunctional farmland on agricultural economic growth at county-level from the perspective of quantity and structure: evidence from Hubei Province[J]. China Land Science, 2018, 32(5): 62 - 70. (in Chinese)

[30] 柯善淦,崔海莹,卢新海,等. 耕地利用绿色转型的时空格局及其驱动机制研究——以湖北省为例[J]. 中国土地科学, 2021, 35(12): 64 - 74.
KE Shangan, CUI Haiying, LU Xinhai, et al. Research on the spatial-temporal pattern and mechanisms of green transition of farmland use: a case of Hubei Province[J]. China Land Science, 2021, 35(12): 64 - 74. (in Chinese)

[31] 向敬伟,李江风,曾杰. 鄂西贫困县耕地利用转型空间分异及其影响因素[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 272 - 279.
XIANG Jinwei, LI Jiangfeng, ZENG Jie. Spatial difference and its influence factors of cultivated land transition of poverty

counties in west of Hubei[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(1): 272 - 279. (in Chinese)
[32] 卢新海,唐一峰,易家林,等. 基于空间计量模型的耕地利用转型对农业经济增长影响研究[J]. 中国土地科学, 2019, 33(6): 53 - 61.
LU Xinhai, TANG Yifeng, YI Jialin, et al. Study on the impact of cultivated land use transition on agricultural economic growth based on spatial econometric model[J]. China Land Science, 2019, 33(6): 53 - 61. (in Chinese)
[33] 付慧,刘艳军,孙宏日,等. 京津冀地区耕地利用转型时空分异及驱动机制[J]. 地理科学进展, 2020, 39(12): 1985 - 1998.
FU Hui, LIU Yanjun, SUN Hongri, et al. Spatiotemporal characteristics and dynamic mechanism of cultivated land use transition in the Beijing - Tianjin - Hebei region[J]. Progress in Geography, 2020, 39(12): 1985 - 1998. (in Chinese)
[34] 蒋梦凡,李智国,李杰,等. 耕地利用转型突变点检测及其时空特征——以昆明市东川区为例[J]. 中国土地科学, 2022, 36(3): 86 - 95.
JIANG Mengfan, LI Zhiguo, LI Jie, et al. Mutation point detection of cultivated land use transition and its spatial-temporal characteristics: taking Dongchuan District of Kunming City as an example[J]. China Land Science, 2022, 36(3): 86 - 95. (in Chinese)
[35] 徐云飞,程琦,魏祥平,等. 变异系数法结合优化神经网络的无人机冬小麦长势监测[J]. 农业工程学报, 2021, 37(20): 71 - 80.
XU Yunfei, CHENG Qi, WEI Xiangping, et al. Monitoring of winter wheat growth under UAV using variation coefficient method and optimized neural network[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(20): 71 - 80. (in Chinese)
[36] 施园园,赵华甫,郧文聚,等. 北京市耕地多功能空间分异及其社会经济协调模式解释[J]. 资源科学, 2015, 37(2): 247 - 257.
SHI Yuanyuan, ZHAO Huafu, YUN Wenju, et al. Analysis on spatial differentiation of arable land multifunction and socio-economic coordination model in Beijing[J]. Resources Science, 2015, 37(2): 247 - 257. (in Chinese)

(上接第 351 页)

[20] 宋雷洁, 李建平, 杨欣, 等. 塔形风送式果园喷雾机风场参数优化设计[J]. 农机化研究, 2020, 42(4): 12 - 17.
SONG Leijie, LI Jianping, YANG Xin, et al. Optimization design of wind field parameters of tower type wind-driven orchard sprayer[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020, 42(4): 12 - 17. (in Chinese)
[21] 宋雷洁, 李建平, 杨欣, 等. 塔形风送式喷雾机导流结构参数优化[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(8): 34 - 39.
SONG Leijie, LI Jianping, YANG Xin, et al. Parameter optimization of diversion structure of tower type air-assisted sprayer [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(8): 34 - 39. (in Chinese)
[22] 戴奋奋. 风送喷雾机风量的选择与计算[J]. 植物保护, 2008, 9(6): 124 - 127.
DAI Fenfen. Selection and calculation of the blowing rate of air-assisted sprayers[J]. Plant Protection, 2008,9(6): 124 - 127. (in Chinese)
[23] 宋淑然, 夏侯炳, 卢玉华, 等. 风送式喷雾机导流器结构优化及试验研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 7 - 12.
SONG Shuran, XIA Houbing, LU Yuhua, et al. Structural optimization and experiment on fluid director of air-assisted sprayer [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(6): 7 - 12. (in Chinese)
[24] 朱博韬, 张亚新, 王硕. 径向流反应器导流锥结构优化及流场特性数值模拟[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2023, 40(4): 444 - 452.
ZHU Botao, ZHANG Yaxin, WANG Shuo. Optimization of guide cone structure and numerical simulation of flow field in radial flow reactor[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition), 2023, 40(4): 444 - 452. (in Chinese)
[25] 程洪杰, 赵谢, 赵媛, 等. 导流锥结构参数对燃气弹射筒内压力冲击平滑效果影响研究[J]. 推进技术, 2019, 40(11): 2444 - 2453.
CHENG Hongjie, ZHAO Xie, ZHAO Yuan, et al. Influence of structural parameters of diversion cone on smooth effect of gas ejection bottom pressure impact[J]. Journal of Propulsion Technology, 2019, 40(11): 2444 - 2453. (in Chinese)
[26] 边永亮, 李建平, 杨欣, 等. 果园多风机风送喷雾机聚风筒聚风特性的试验研究[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(5): 39 - 50.
BIAN Yongliang, LI Jianping, YANG Xin, et al. Experimental research on the characteristics of wind converging duct of an air-assisted sprayer in orchard[J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(5): 39 - 50. (in Chinese)
[27] 张佳喜, 陈发, 赵志艳. 风筒结构对风送式喷雾机喷幅的影响[J]. 农机化研究, 2007,28(1): 176 - 177.
ZHANG Jiaxi, CHEN Fa, ZHAO Zhiyan. Influence of wing shape on air-blast sprayer of spray span[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007,28(1): 176 - 177. (in Chinese)
[28] 崔志华, 傅泽田, 祁力钧, 等. 风送式喷雾机风筒结构对飘移性能的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 111 - 115.
CUI Zhihua, FU Zetian, QI Lijun, et al. Effect of the air duct modification on the spray drift emitted by an air-assisted sprayer [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(2): 111 - 115. (in Chinese)