

山东省耕地多功能耦合协调度时空格局分析

路 昌¹ 耿 昊¹ 刘 蕊¹ 吕永强²

(1. 山东建筑大学管理工程学院, 济南 250101; 2. 山东建筑大学测绘地理信息学院, 济南 250101)

摘要: 以山东省 132 个县區为研究单元,构建耕地多功能评价指标体系,评价各县區耕地多功能时空差异,并运用耦合协调度及空间自相关模型对耕地功能耦合作用的时空特征进行分析。研究表明,2005—2015 年,山东省耕地各单项功能时空格局变化差异明显,综合功能持续增长,以中值水平为主,农业生产和社会保障功能对耕地综合功能增长有较强的推动作用,景观格局和生态环境功能影响相对较小;研究期间,耕地多功能耦合协调度由拮抗阶段向磨合阶段逐步提高,地域差异较为明显,农业发展重点地区耦合协调度水平高于经济发展重点区域;耕地多功能耦合协调度具有较高的空间聚集性,但空间相关性逐渐降低,显著 H-H 区与显著 L-L 区空间聚集性较强,显著 L-H 区与显著 H-L 区数量较少,且分布零散,无明显规律。本研究可为耕地区域差异化治理、促进耕地多功能协调发展、提升耕地综合功能提供参考。

关键词: 山东省; 耕地多功能; 耦合协调度; 空间自相关

中图分类号: F301.24 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2021)03-0265-10 **OSID:** 

Spatial-temporal Pattern Analysis of Cultivated Land Multi-functional Coupling Coordination Degree in Shandong Province

LU Chang¹ GENG Hao¹ LIU Rui¹ LÜ Yongqiang²

(1. School of Management Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China
2. School of Surveying and Geo-Informatics, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China)

Abstract: Taking 132 counties and districts in Shandong Province as the research units, the multi-function evaluation index system of cultivated land was established to evaluate the spatial-temporal differences of multi-function of cultivated land, and the spatial-temporal characteristics of the coupling effect of cultivated land function were analyzed by using coupling coordination degree model and the spatial autocorrelation model. The results showed that from 2005 to 2015, the spatial-temporal pattern changes of each single function of cultivated land in Shandong Province were obviously different, and the comprehensive function continued to grow, mainly at the median level. Agricultural production function and social security function had a strong role in promoting the growth of the comprehensive function of the cultivated land, while landscape pattern function and ecological environment function had relatively little impact on comprehensive function of the cultivated land. During the study period, the degree of multi-function coupling coordination of cultivated land was gradually increased from the antagonistic stage to the running-in stage with obvious regional differences. The level of coupling coordination degree in key areas of agricultural development was higher than that in key areas of economic development. The multi-function coupling coordination degree of cultivated land had high spatial aggregation, but the spatial correlation was gradually decreased. The significant H-H area and significant L-L area had strong aggregation, and the number of significant L-H area and significant H-L area was small and scattered with no obvious rule. The research results can provide basis for the regional differentiated management of cultivated land, the coordinated development of multi-functions of cultivated land, and the enhancement of the comprehensive functions of cultivated land.

Key words: Shandong Province; arable land multi-function; coupling coordination degree; spatial autocorrelation

收稿日期: 2020-11-24 修回日期: 2021-01-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41801173)、山东省社会科学计划研究重点项目(20BGLJ06)和山东建筑大学博士基金项目(XNBS1983)

作者简介: 路昌(1990—),男,讲师,博士,主要从事土地利用与规划研究,E-mail: chang20081990@126.com

通信作者: 吕永强(1989—),男,讲师,博士,主要从事城市空间分析建模研究,E-mail: lyongqiang19@sdjzu.edu.cn

0 引言

耕地是人类食物以及基础资源的来源,耕地的农业生产功能(提供农副产品以满足基本物质需求)一直受到学术界重点关注^[1]。随着社会经济的发展和知识体系的丰富,耕地社会保障功能(提供就业岗位及经济来源以保障农民基本生活)、生态环境功能(调节大气组分与丰富生物多样性)和景观格局功能(提供规整耕作风景)等其他功能逐渐显现^[2-3]。受自然资源条件、社会经济发展方向、耕地资源数量等多因素的影响,传统耕地资源发展模式以耕地单功能增长的退耦化模式^[4]为主,耕地多功能发展不均衡,随着农业产业化升级^[5],传统耕地资源发展模式已无法满足人们对耕地多功能的需求。耕地多功能耦合协调发展模式有利于缓解耕地需求无序竞争、促进耕地多功能统筹利用,为耕地资源保护提供了全新思路。

20 世纪 90 年代初,联合国环境与发展大会提出“农业多功能性”的概念^[5],耕地多功能受到国内外学者的普遍关注。国外学者多以耕地多功能指标体系构建^[6]、理论框架分析^[7]为研究重点;国内学者的研究主要集中于耕地多功能内涵及保护^[4]、单功能及多功能评价与空间特征分析^[8-9]、多功能权衡与协同分析^[3,10]等方面。在指标体系构建方面,大多数学者以“三生”体系为基础,重点关注生产、生活、生态功能^[11-12],也有少数学者将生产或生态功能进行细分,重点关注耕地的单功能演变^[2]。研究尺度多以国家^[13]、省^[14-15]、市^[16-17]等宏观尺度为主,以县区为研究单元的研究较少。研究方法主要有全排列多边形法^[15]、空间自相关模型^[10]、耦合协调度模型^[18-19]等,但以耕地多功能耦合协调度为基础进行空间格局分析的研究鲜见报道。

山东省是我国粮食主产区和农业大省,随着经济社会的发展及粮食需求的不断增长,耕地资源短缺、生态系统承载力下降、退耦化等问题日益突显,阻碍了耕地功能协调发展。2019 年《国务院关于促进乡村产业振兴的指导意见》明确提出,要践行绿水青山就是金山银山理念,严守耕地和生态保护红线,保护环境,促进农村生产、生活、生态协调发展。2020 年国务院先后发布了关于防止耕地“非农化”、“非粮化”,稳定粮食生产的意见。在此背景下,探讨耕地各功能之间的耦合协调关系,对促进耕地多功能协调发展具有重要意义。本文以山东省为研究区,构建综合评价指标体系,揭示耕地多功能性,运用耦合协调度及空间自相关模型对耕地多功能耦合协调度时空关联格局进行分析,揭示耕地各功能协

调发展的空间分布规律,为耕地区域差异化治理、提升耕地综合功能提供依据。

1 研究区概况

山东省位于我国东部沿海地区,地理坐标 34°22.9′~38°24.01′N,114°47.5′~122°42.3′E,地形以平原为主,地势整体呈“中部高四周低”的态势,属温带季风气候,雨热同期,光照充足,适合农作物生长。截至 2015 年末,山东省共 17 个地级市,137 个县级行政单位,区域土地总面积 $1.56 \times 10^7 \text{ hm}^2$,耕地面积 $7.62 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占全国的 4.58%,但粮食总产量与农业总产值的占比分别为 7.60% 和 8.60%,是我国的粮食主产区和农业大省。另一方面,山东省农药化肥使用量近十年仅次于河南省,农药化肥的过度使用使土壤污染严重,耕地生态环境恶化,生产力降低,制约耕地多功能均衡发展。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文所使用的土地利用变化遥感监测数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心构建的“全国陆地区域多时相土地利用现状数据库”(http://www.resdc.cn),空间分辨率为 30 m × 30 m (2005、2010、2015 年),社会经济数据数据来源于 2006、2011、2016 年《中国县域统计年鉴》、《山东省农村统计年鉴》及各地市统计年鉴。因部分县区指标数据不全,本文将数据空缺较多的县区(如长岛县、历下区、李沧区等)删除,最终选取研究区内 132 个县区为基本研究单元。

2.2 研究方法

2.2.1 耕地多功能评价指标体系构建

耕地功能是耕地为人类生存发展提供各类必要资源的能力,主要包括生产、生活、生态及各项衍生功能,多功能是耕地的重要特征。借鉴相关耕地功能分类研究成果并结合研究区耕地情况,本文将耕地功能划分为农业生产、景观格局、社会保障和生态环境功能 4 类^[20-23],并根据系统性、代表性、客观性和可操作性原则^[8,15]选取 15 个评价指标构建耕地多功能评价指标体系(表 1)。

①农业生产功能表现为物质产出能力,是耕地的基本功能。粮食作物及经济作物是耕地的主要产物,因此选取二者的单产反映耕地生产力,与农业生产功能呈正相关;通过人均耕地面积可以反映人均可利用的耕地资源状况;耕地垦殖率是区域耕地面积占该区域土地面积的比重,反映区域土地资源开发利用的程度。

②社会保障功能主要表现为耕地为农村居民带来经济收益及

就业机会的能力。农业从业人员占从业人员比重可以直接反映农民对耕地的依赖程度;农村人均农业收入侧重于反映耕地对农民收入的支持保障作用^[21];耕地单位年收益越多则耕地具有更高的经济效益;农业机械化水平可以反映出地区农业生产对劳动力的吸纳能力,以农业机械总动力与农业从业人员比值来表示,机械化水平越高,耕地对劳动力的吸纳能力越低,耕地的就业保障能力越差,与社会保障功能呈负相关^[22]。③景观格局功能反映了耕地的景观效果及美学价值。景观多样性是耕地类型占整个景观的面积的比例,其值越大越具有观赏性,景观格局功能越强^[8];田块规整度反映了耕地受人为影响的程度,田块规整度是周长与面积的比值,比值越大说明耕地斑块形状越规整,耕地更具有美观价值^[24];道路通达度是耕地一定范围内村庄数量,反映了耕地各个斑块之间道路的联系程度,交通便利能够促进景观格局功能的提高。④生态环境功能反映了耕地生产对生态环境造成的影响。农用塑料薄膜强度、农药化肥施用强度直观反映了耕地生产的必要投入,二者强度越大则对生态环境的破坏越严重;农田生态多样性指数反映了农作物种类,指数越大耕地生态恢复力越高,生态环境功能越强^[23];固碳释氧量反映了耕地农作物对生态环境的改善程度^[8]。耕地各个功能之间相互联系,相互作用形成了耕地多功能。

表 1 耕地多功能评价指标体系

Tab.1 Multi-functional evaluation index system of farmland

准则层	指标层	单位	指标类型	指标权重	功能权重
农业生产功能	粮食作物单产	kg/hm ²	+	0.41	0.26
	经济作物单产	kg/hm ²	+	0.27	
	人均耕地面积	hm ²	+	0.17	
	耕地垦殖率	%	+	0.15	
社会保障功能	农业从业人员占比	%	+	0.15	0.34
	农村居民人均农业收入	元	+	0.41	
	耕地单位年收益	万元/hm ²	+	0.34	
	农业机械化水平	kW/人	-	0.10	
景观格局功能	景观多样性		+	0.42	0.18
	田块规整度		+	0.39	
	道路通达度		+	0.19	
	农用塑料薄膜强度	t	-	0.22	
生态环境功能	农药化肥施用强度	t/hm ²	-	0.30	0.22
	农田生态多样性指数		+	0.20	
	固碳释氧量	t	+	0.28	

注:固碳释氧量根据光合作用方程式 CO₂ (264 g) + H₂O (108 g)→C₆H₁₂O₆ (108 g) + O₂ (193 g)→多糖 (162 g) 计算;农田生态系统多样性指数采用联合国教科文组织 Shannon - Weiner 指数计算。

2.2.2 耕地功能值的计算

(1)数据标准化

由于各指标数据的单位不一致,且存在正向指标与负向指标,本研究采用极差标准化法对指标数据进行无量纲化处理,计算公式为

$$X'_{\theta ij} = \frac{X_{\theta ij} - X_{\theta ijmin}}{X_{\theta ijmax} - X_{\theta ijmin}} \quad (\text{正向指标}) \tag{1}$$

$$X'_{\theta ij} = \frac{X_{\theta ijmax} - X_{\theta ij}}{X_{\theta ijmax} - X_{\theta ijmin}} \quad (\text{负向指标}) \tag{2}$$

式中 $X'_{\theta ij}$ ——标准化数值
 $X_{\theta ij}$ ——第 θ 年县区 i 的第 j 个指标值
 $X_{\theta ijmin}$ ——第 θ 年县区 i 的第 j 个指标最小值
 $X_{\theta ijmax}$ ——第 θ 年县区 i 的第 j 个指标最大值

(2)确定指标权重

为进一步确定各指标对耕地功能的影响程度,参照文献[25]对指标体系构建的结果采用熵值法初步确定客观权重;参照文献[26]利用 Yaahp 软件确定主观权重;最后结合主客观权重,得到综合权重 W_j ,计算公式为

$$W_j = \frac{W_{sj} + W_{oj}}{2} \tag{3}$$

其中 $W_{oj} = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j) \tag{4}$

$$e_j = - \frac{1}{\ln m} \sum_{\theta} \sum_{i=1}^m Y_{ij} \ln Y_{\theta ij} \tag{5}$$

$$Y_{\theta ij} = X'_{\theta ij} / \sum_{\theta} \sum_{i=1}^m X'_{\theta ij} \tag{6}$$

式中 W_{sj} ——第 j 个指标的主观权重
 m ——县区总数与年数乘积
 e_j ——第 i 个指标的信息熵
 Y_{ij} ——县区 i 的第 j 个指标值比重
 $Y_{\theta ij}$ ——第 θ 年县区 i 和 j 个指标值比重
 W_{oj} ——第 j 个指标的客观权重
 θ ——研究时长, a

(3)功能值计算

参照文献[18],对农业生产、社会保障、景观格局、生态环境功能指数进行测算,计算公式为

$$F_{agri} = \sum_{i=1}^n w(agri)_i X'(agri)_i \tag{7}$$

$$F_{soci} = \sum_{i=1}^n w(soci)_i X'(soci)_i \tag{8}$$

$$F_{land} = \sum_{i=1}^n w(land)_i X'(land)_i \tag{9}$$

$$F_{ecol} = \sum_{i=1}^n w(ecol)_i X'(ecol)_i \tag{10}$$

式中 F_{agri} ——耕地农业生产指数
 F_{soci} ——耕地社会保障指数

F_{land} ——耕地景观格局指数
 F_{ecol} ——耕地生态环境指数
 $w(agri)_i$ ——耕地农业生产功能评价的第 i 项指标的权重
 $w(soci)_i$ ——耕地社会保障功能评价的第 i 项指标的权重
 $w(land)_i$ ——耕地景观格局功能评价的第 i 项指标的权重
 $w(ecol)_i$ ——耕地生态环境功能评价的第 i 项指标的权重
 $X'(agri)_i$ ——耕地农业生产功能第 i 项指标标准化数值
 $X'(soci)_i$ ——耕地社会保障功能第 i 项指标标准化数值
 $X'(land)_i$ ——耕地景观格局功能第 i 项指标标准化数值
 $X'(ecol)_i$ ——耕地生态环境功能第 i 项指标标准化数值

2.2.3 耦合协调度计算

耕地各功能之间并不独立存在,其农业生产、社会保障、景观格局、生态环境功能之间存在着相互促进、相互制约的影响。本研究通过耦合协调度模型来表达耕地各功能之间的相互关系,计算公式为

$$D = (CT)^{\frac{1}{2}} \tag{11}$$

其中

$$C = \left[\frac{F_{agri} F_{soci} F_{land} F_{ecol}}{\left(\frac{F_{agri} + F_{soci} + F_{land} + F_{ecol}}{4} \right)^4} \right]^{\frac{1}{4}} \tag{12}$$

$$T = \alpha F_{agri} + \beta F_{soci} + \gamma F_{land} + \eta F_{ecol} \tag{13}$$

式中 C ——耦合度,取值范围为 $0 \sim 1$
 D ——耦合协调度
 T ——耕地农业生产、社会保障、景观格局、生态环境功能的综合评价指数
 $\alpha, \beta, \gamma, \eta$ ——待定系数

本文采用熵值法与层次分析法综合确定 $\alpha, \beta, \gamma, \eta$,可得 $\alpha = 0.26, \beta = 0.34, \gamma = 0.18, \eta = 0.22$ 。

2.2.4 空间自相关分析

(1)全局自相关分析

由于耕地各功能在空间分布特征上对邻域有不同程度的影响,通过建立空间自相关分析模型对耕地权衡与协同的空间布局的变化进行探究^[24-25]。全局自相关分析通过 Global Moran's I 指数(GMI)表示,取值范围为 $[-1, 1]$,当 $GMI < 0$,耕地各功能之间呈现负相关关系; $GMI > 0$,呈现正相关关系; $GMI = 0$,则不存在相关关系,计算公式为

$$GMI = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^m E_{ij} (X_i - X') (X_j - X')}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{ij} \right) \sum_{i=1}^n (X_i - X')^2} \tag{14}$$

式中 X_i, X_j ——区域 i, j 的指标值
 n ——研究区总个数
 E_{ij} ——区域 i, j 的邻近关系,当 $E_{ij} = 1$ 则耕地 i, j 相邻,当 $E_{ij} = 0$ 则耕地 i, j 不相邻

(2)局部自相关分析-热点分析

为了解局部区域是否存在高低值聚类,采用热点分析方法研究局域空间相关性^[27],计算公式为

$$G_i^* = \sum_{j=1}^n W_{ij} X_j / \sum_{i=1}^n X_i \tag{15}$$

式中 G_i^* ——局部自相关指数
 W_{ij} ——县区 i 第 j 个指标的综合权重

3 结果与分析

3.1 耕地多功能时空差异分析

将山东省各县区耕地功能值结果进行可视化处理,利用耕地单项功能等级图探究耕地单项功能的空间分布特征。参照文献[18],建立分级评价标准:功能指标值 $F \in [0, 0.20]$,为低值水平;功能指标值 $F \in (0.20, 0.40]$,为较低值水平;功能指标值 $F \in (0.40, 0.60]$,为中值水平;功能指标值 $F \in (0.60, 0.80]$,为较高值水平;功能指标值 $F \in (0.80, 1]$,为高值水平。

3.1.1 农业生产功能

2005—2015 年间,山东省耕地农业生产功能整体呈现显著增长趋势,48 个县级单元功能等级上升,分布较为广泛。较高值水平区域由 2005 年的 3 个增加到 2015 年的 21 个县级单元,由零星分布转变为连片分布,主要集中在鲁西平原和鲁北平原地区,该区域高程和坡度较低、水资源丰富、耕地面积和质量均处于较高水平。研究期间中值水平区域不断扩张,县级单元数量由 60 个增长到 68 个,广泛分布于研究区范围内。较低值水平区域县级单元数量减少了 24 个,主要分布于鲁北平原、鲁中南山地丘陵及胶东半岛地区,该区域地形起伏较大、耕地细碎化严重、不适宜农业规模经营,农业生产功能较弱。低值水平区域县级单元数量较少,研究末期仅有淄川区处于低值水平。研究区农业生产功能总体呈现由以中值和较低值水平为主逐步向以中值和较高值水平为主发展的趋势(图 1)。

3.1.2 社会保障功能

研究期间山东省耕地社会保障功能变化明显,整体呈现上升趋势。2005 年有 130 个县级单

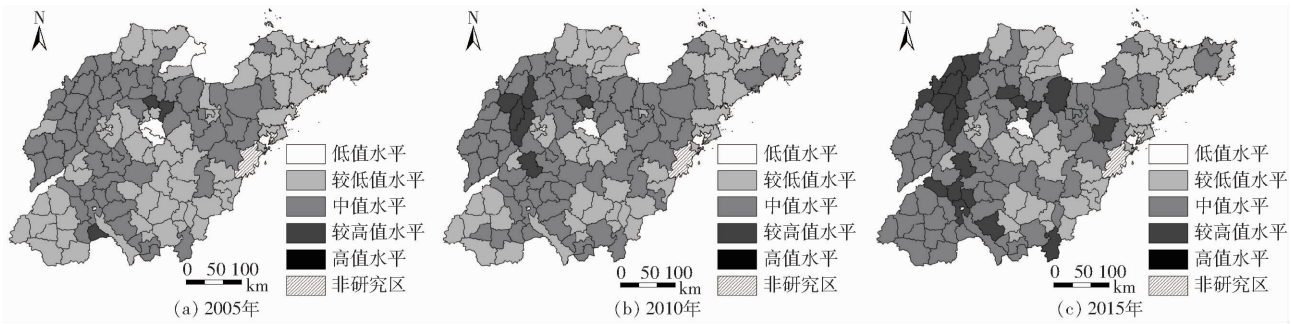


图 1 2005—2015 年农业生产功能等级

Fig. 1 Grade of agricultural production function from 2005 to 2015

元社会保障功能处于低值和较低值水平,仅栖霞市和福山区为中值水平;2005—2010 年,研究区社会保障功能增长明显,28 个县区功能值水平提高;2010—2015 年全省社会保障功能进一步加强,54 个县区达到中值及以上水平,其中 16 个县区位于胶东半岛地区,该地区农业生产以种植经济作物

为主,耕地单位年收益较高,社会保障功能发展较快。研究末期,栖霞市为唯一高值水平地区,当地规模化的水果种植产业推动农村经济快速发展,提供大量就业岗位的同时显著增加农户人均农业收入,社会保障功能突出。研究期间山东省社会保障功能值空间分布无明显聚集现象(图 2)。

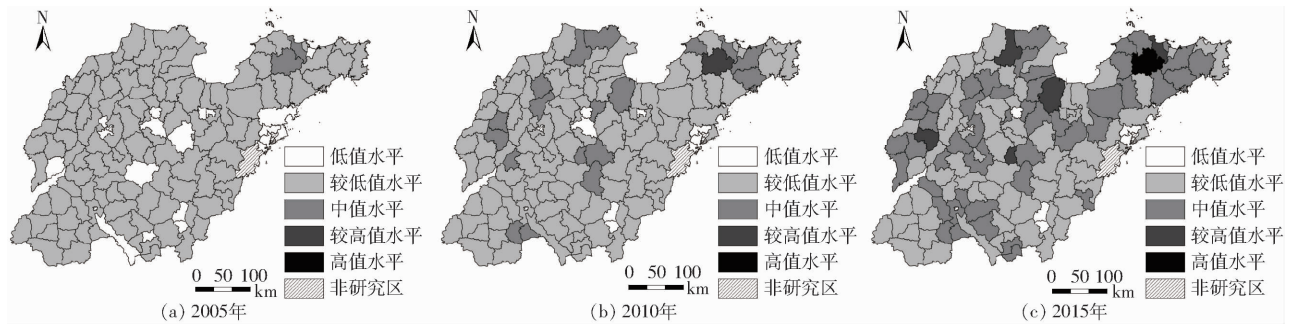


图 2 2005—2015 年社会保障功能等级

Fig. 2 Grade of social security function from 2005 to 2015

3.1.3 景观格局功能

山东省景观格局功能在研究期间基本保持稳定。2005—2010 年,研究区 132 个县级单元中仅 8 个发生变化,其中莱城区、平原县和宁阳县功能增长,广饶县、即墨市、济南市中区、枣庄市中区和淄川区功能降低。2010—2015 年,7 个县区景观格局功能降低,125 个县级单元功能保持稳定。研究期间,低值与较低值水平主要分布在济南、青岛、烟台、淄博和枣庄等地区,济南、青岛和烟台近年来社会经济高速发展,城市规模快速扩张过程中占用大量优质

耕地导致当地耕地非农化、细碎化现象十分突出;淄博市和枣庄市均为资源型城市,耕地资源相对匮乏。中值与较高值水平主要分布在潍坊市和菏泽市,该地区经济结构以农业生产为主,耕地资源丰富且连片度高,具有一定规模的农田景观生态系统(图 3)。

3.1.4 生态环境功能

2005—2015 年研究区生态环境功能呈现小幅降低趋势,整体以中值和较高值水平为主,二者数量之和占比大于 97%;不同级别规模小幅变化,主要表现为中值与较高值水平的相互转变,其中 16 个县

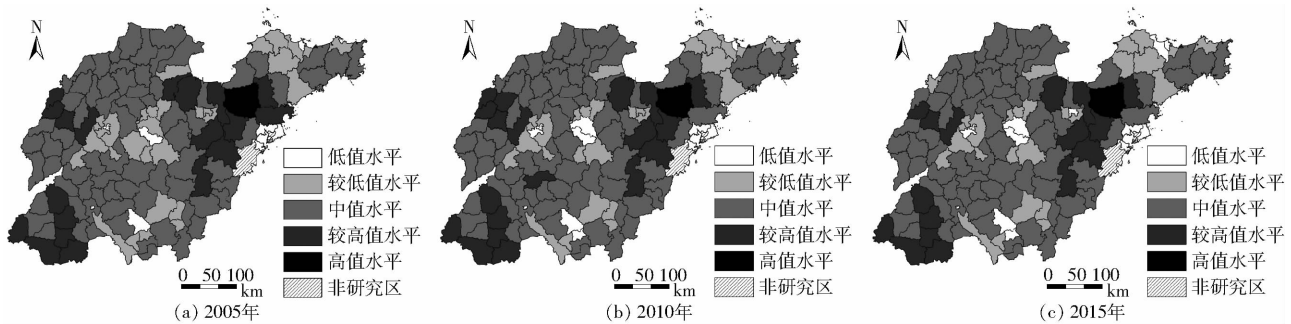


图 3 2005—2015 年景观格局功能等级

Fig. 3 Grade of landscape pattern function from 2005 to 2015

级单元由中值转为较高值水平,19 个县级单元由较高值水平降低为中值水平。研究期间生态环境功能总体呈现一定的空间聚集分布,中值水平县区分布于鲁北平原及胶东半岛等社会经济发展较快、人为活动干预较多的地区。较高值水平县区集中分布在

鲁西平原和鲁中南山地丘陵地区,鲁西平原农田生态系统多样性丰富,固碳释氧量较高,生态环境优异;鲁中南山地丘陵地区地形起伏较大,不适宜规模化耕种,农业机械化水平低,耕地生态环境受人为影响较小,自然条件较好(图 4)。

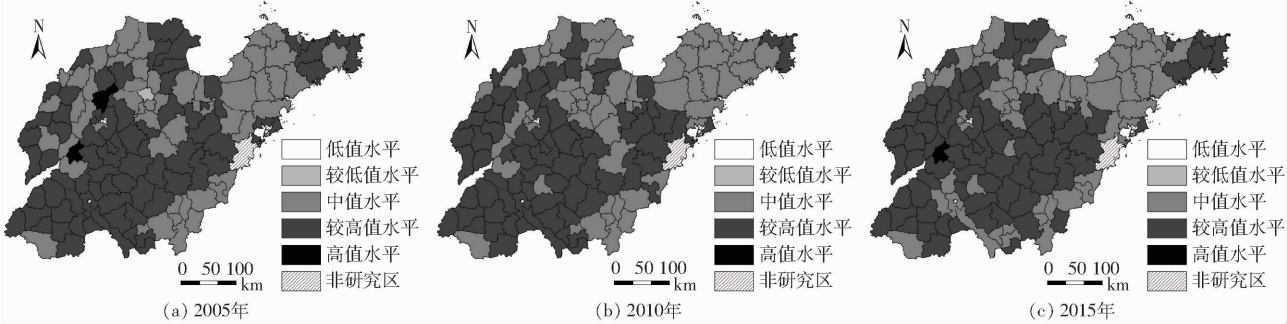


图 4 2005—2015 年生态环境功能等级

Fig. 4 Grade of ecological environment function from 2005 to 2015

3.1.5 综合功能

在农业生产技术提高、社会经济发展、人们生活需求增加等不同因素影响下,2005—2015 年研究区耕地综合功能呈现持续增长趋势,28 个县区综合功能等级上升,其中农业生产、社会保障、景观格局和生态环境功能增长数量分别为 26、28、3、14 个。结果表明,研究期间山东省农业生产和社会保障功能对耕地综合功能增长有较强推动作用,景观格局和生态环境功能影响相对较小。2015 年,研究区 132 个县区中 108 个为中值水平,21 个县区为较低值水平,仅有济阳县、茌平县和寿光市 3 个县区为较高值

水平,整体综合功能水平有待提升。寿光市综合功能值最高,为 0.62,其农业生产、社会保障和景观格局功能值均为全省最高,该市耕地质量优越,面积广阔,以蔬菜种植为主,农业生产实现了规模化经营、区域化布局和产业化管理,带动当地农民收入提高,耕地功能提升显著;最低值为青岛市城阳区,功能值仅为 0.27,其农业生产、社会保障和景观格局功能均为低值水平,在经济建设占用耕地、水土流失等问题影响下,区域耕地面积不断减少,农业发展基础薄弱,农业从业人员少,经营粗放,耕地综合功能提升困难(图 5)。

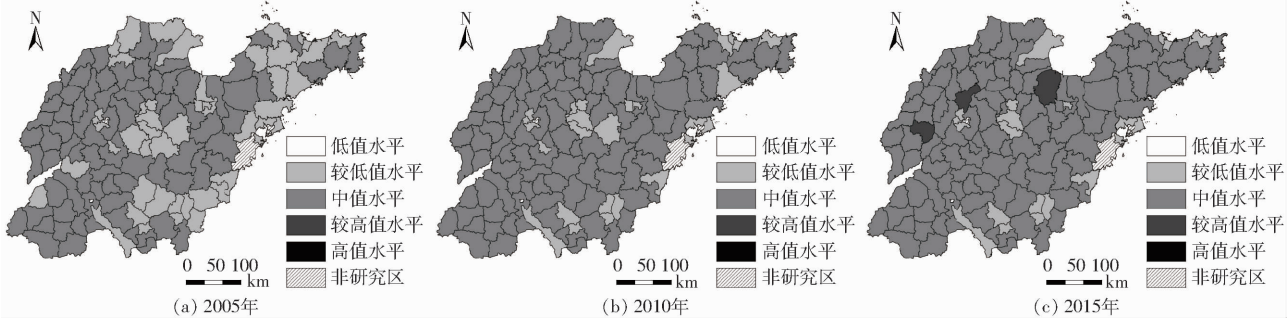


图 5 2005—2015 年耕地综合功能值分布

Fig. 5 Grade of comprehensive function value of cultivated land from 2005 to 2015

3.2 耕地多功能耦合协调度分析

耕地的农业生产、社会保障、景观格局、生态环境功能之间存在一定相互联系、相互影响的关系,四者形成了一个开放、复杂的系统。在耕地利用过程中,各功能共同作用,任意一种功能的无序发展都会导致系统耦合协调度的下降。随着社会的发展,土地作为城镇与工业发展的空间载体,人类对建设用地的需求不断提高,耕地“非农化”问题不断出现,严重影响耕地综合功能。与此同时,科学技术不断进步,农药化肥、农业机械、塑料薄膜等广泛运用于

农业生产,耕地物质产出、经济效益及生产效率大幅提高,农业生产功能增强;但是,农药化肥的过量使用会对耕地造成负向反馈,影响生态环境功能;农用机械的大量投入会减少单位耕地可提供就业岗位,降低社会保障功能。因此,耕地不同功能之间耦合协调程度对耕地综合功能影响明显,对耕地不同功能耦合协调情况进行分析,可为提升耕地综合功能提供一定的科学依据。
参考文献[28],将研究区耕地多功能耦合协调度划分为 4 个等级:低水平耦合阶段(耦合协调度

为 0 ~ 0.4)、拮抗阶段(耦合协调度为 0.4 ~ 0.6)、磨合阶段(耦合协调度为 0.6 ~ 0.8)、成熟阶段(耦合协调度为 0.8 ~ 1),并将不同阶段划分若干亚级(表 2)。研究期间山东省耕地多功能耦合协调度整体呈显著上升趋势,主要表现为从以拮抗阶段为主逐步提高到以磨合阶段为主,拮抗阶段的县区由 36 个减少到 17 个,磨合阶段的县区由 95 个增长到 115 个;研究期末没有县区处于低水平耦合阶段和成熟阶段。研究区耕地多功能耦合协调度地域差异较为明显,鲁西平原地区耦合协调度一直处于相对较高水平,由以轻度磨合协调阶段为主过渡到以高度磨合协调阶段为主,耕地各单项功能水平较高;胶东半岛地区耦合协调度增长迅速,研究期末 9 个县区由轻度磨合阶段增长为高度磨合阶段,社会保障与景观格局功能持续增长,区域耕地各功能发展趋于平衡;鲁中南山地丘陵地区由拮抗阶段发展到磨合阶段,受地形限制,大部分耕地不适合规模化集约化经

营,耕地生态环境功能与农业生产、景观格局功能差异较大,耦合协调度较低。济南市和青岛市作为山东省经济发展核心城市,耕地资源以实现生态环境和社会保障功能为主,农业生产和景观格局功能较低,各单项功能间发展不均衡,耦合协调度处于低值(图 6)。

表 2 耕地多功能耦合协调度等级划分
Tab.2 Coordination level division of farmland function

耦合协调阶段	耦合协调度	耦合协调亚级
低水平耦合阶段	0 ~ 0.10	极度不协调
	0.11 ~ 0.20	高度不协调
	0.21 ~ 0.30	中度不协调
	0.31 ~ 0.40	轻度不协调
拮抗阶段	0.41 ~ 0.50	高度拮抗协调
	0.51 ~ 0.60	轻度拮抗协调
磨合阶段	0.61 ~ 0.70	轻度磨合协调
	0.71 ~ 0.80	高度磨合协调
成熟阶段	0.81 ~ 0.90	轻度协调
	0.91 ~ 1	高度协调

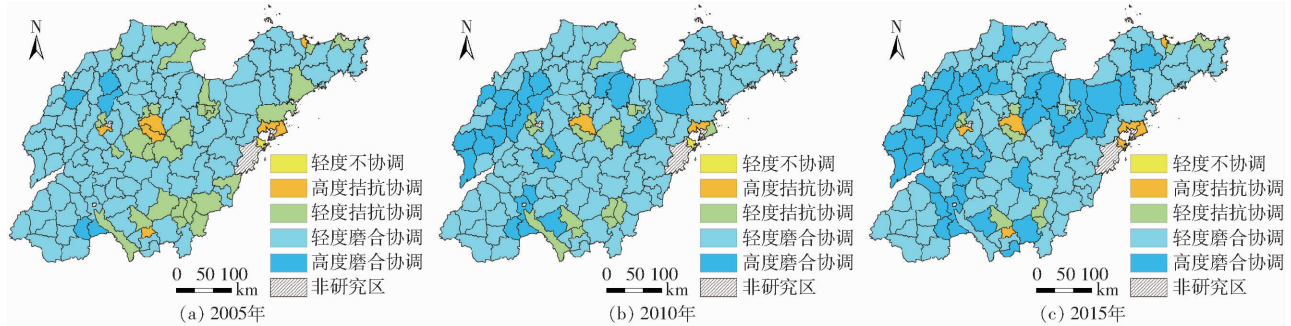


图 6 2005—2015 年“农业生产-社会保障-景观格局-生态环境”功能耦合协调度空间分布
Fig.6 Spatial distributions of coupling coordination degree of “agricultural production – social security – landscape pattern – ecological environment” function from 2005 to 2015

3.3 耕地多功能耦合协调度空间自相关分析

利用全局空间自相关模型对研究区耕地多功能耦合协调度分析并做出 Moran 散点图(图 7),山东省耕地功能耦合协调度 Global Moran’s I 指数为 0.36、0.32、0.32,均大于 0,Z 值为 6.99、6.21、6.10,均大于 1.65,通过显著性水平 $\alpha = 0.05$ 检验,表现为显著空间相关性,表明研究期间山东省耕地

多功能耦合协调度的空间分布具有一定规律且空间相关性逐渐降低。散点图中点主要分布于第一象限(高-高聚集)和第三象限(低-低聚集),第二象限(高-低聚集)和第四象限(低-高聚集)数量较少,说明研究区耕地多功能耦合协调度空间正相关性较强,具有较高的空间聚集性。

利用局部空间自相关分析模型将山东省耕地多

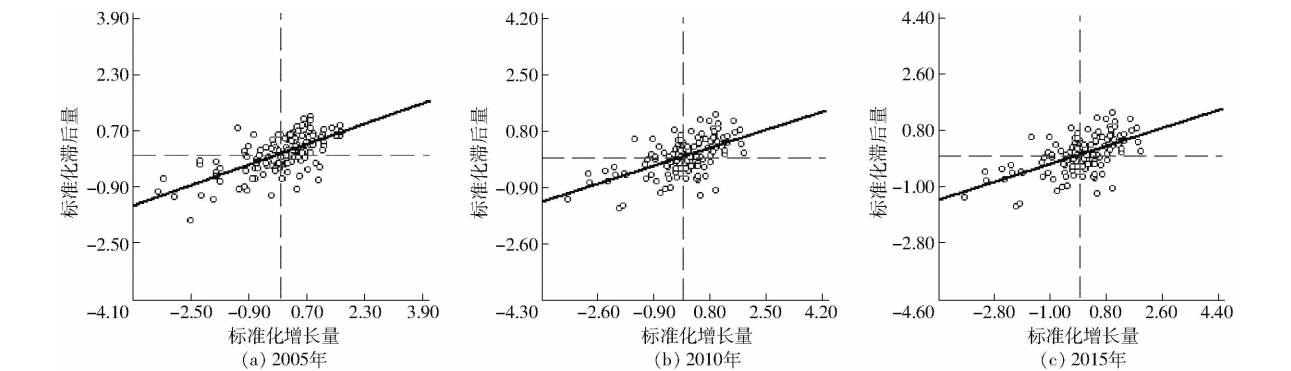


图 7 2005—2015 年耦合协调度 Moran 散点图
Fig.7 Moran’s scatter plot of coupling coordination degree from 2005 to 2015

功能耦合协调度划分为 5 个等级:显著 H-H 区、显著 H-L 区、非显著区、显著 L-H 区和显著 L-L 区,得到耕地功能局部空间关联图(表 3 和图 8)。研究期间,不同类型区空间分布变化明显。显著 H-H 区由分布于鲁西和鲁北平原逐渐集中分布于鲁西平原北部,由 18 个减少为 11 个县区,该区域耕地各功能发展均衡,耦合协调度较高,县级单元之间存在高协调辐射;2005 年显著 L-L 区主要分布于鲁中南山地丘陵地区,2015 年逐渐集中于胶东半岛地区,由 10 个减少到 8 个县区,该区域耕地农业生产功能和景观格局功能较低,耕地各功能耦合协调度较低,县区之间存在低协调辐射;显著 L-H 区和显著 H-L 区占比较少,变化不明显,其中显著 L-H 区为高耦合协调县区周围与低耦合协调县区相邻,分布于鲁中南山地丘陵地区南部;显著 L-H 区为低耦合协调县区周围与高耦合协调县区相邻,呈现零星分布。根据分析结果可将研究区划分为不同区域,显著 H-H 区耦合协调度为高度磨合协调,空间分布高度集中,耕地功能发展较好,可划为“优势协调区”;显著 L-L 区耦合协调度表现为拮抗协调,可划为“全面改良区”;显著 H-L 区中心县区为高度磨合协调,周边县区为拮抗协调,受周边县区影响易转变为显著 L-L 区,可划为“适度保护区”;显著 L-H 区情况与显著 H-L 区相反,可划为“重要改良区”;针对不同区域实行差异化管理和调控,充分发挥各区域优势,进一步提高显著 H-H 区(鲁西平原地区)耕地耦合协调度,带动周边地区多功能协调发展。

结合耕地多功能耦合协调度空间分布图(图 6)分析可知,显著 H-H 区对应的主要是高度磨合协调区,其中 2005 年由于协调度普遍较低,显著 H-H 区与轻度磨合协调对应;显著 H-L 区主要对应的是轻度和高度磨合协调区;非显著区主要对应轻度磨合协调区;显著 L-H 区主要对应轻度拮抗协调区域;显著 L-L 区主要对应轻度不协调和高度拮抗协调区域。可见,基于局部空间自相关分析得到

的耦合协调度的空间关联图与其空间分布的实际情况基本相符。

表 3 2005—2015 年耦合协调度空间自相关类型的
县区个数及占比

Tab.3 Number and proportion of counties with spatial autocorrelation type from 2005 to 2015

类型	2005 年		2010 年		2015 年	
	数量	比例/%	数量	比例/%	数量	比例/%
显著 H-H 区	18	13.64	13	9.85	11	8.33
显著 H-L 区	1	0.76	2	1.52	1	0.76
显著 L-H 区	1	0.76	3	2.27	2	1.52
显著 L-L 区	10	7.57	7	5.30	8	6.09
非显著区	102	77.27	107	81.06	110	83.30

3.4 讨论

运用耦合协调度及空间自相关模型对山东省耕地多功能耦合协调度时空关联格局进行分析。结果表明以耦合协调度为基础分析时空格局更准确反映了耕地各功能协调发展的空间分布规律。但由于耕地功能分类尚未统一以及数据的可获取性,指标体系还需进一步完善和优化。例如:农业生产功能作为耕地最基本功能,本文共选取 4 个指标,后期可以增加人均粮食保证率,进一步完善农业生产功能评价体系;社会保障功能相关指标可进一步划分为就业保障与经济保障,使各个指标更准确反映与功能之间的关系。

4 结论

(1)2005—2015 年,耕地各单项功能时空格局变化差异明显。农业生产功能整体呈显著增长趋势,鲁西平原地区作为粮食主产区增长较为明显,鲁中南山地丘陵地区功能较弱;社会保障功能整体呈现上升趋势,较高水平集中分布在胶东半岛地区;景观格局功能基本保持稳定,低值与较低值水平主要分布在济南、青岛等经济发达地区,中值与较高值水平主要分布在潍坊市和菏泽市;生态环境功能呈小幅降低趋势,整体以中值和较高值水平为主,中值水平分布于鲁北平原及胶东半岛等地区,较高值水平

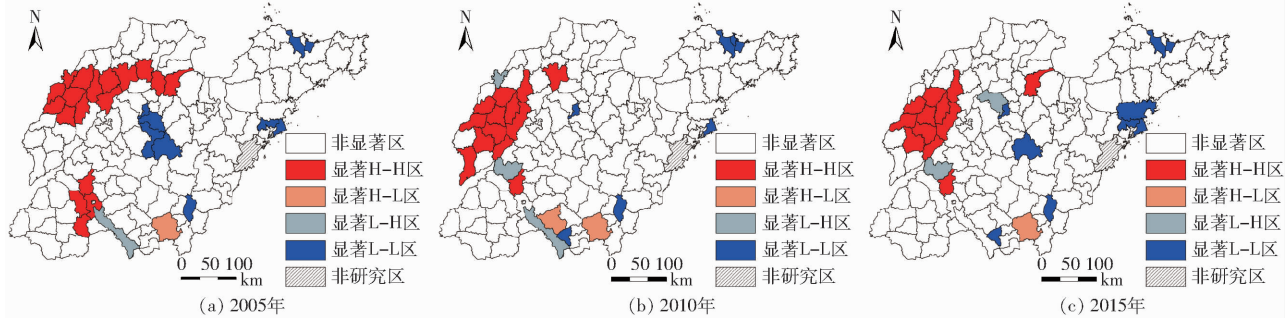


图 8 2005—2015 年耕地多功能耦合协调度局部空间关联图

Fig.8 Local spatial correlation of coupling coordination degree from 2005 to 2015

集中分布在鲁西平原和鲁中南山地丘陵地区。研究期间,山东省耕地综合功能持续增长,以中值水平为主,农业生产和社会保障功能对耕地综合功能增长有较强的推动作用,景观格局和生态环境功能影响相对较小。

(2)山东省耕地多功能耦合协调度由拮抗阶段向磨合阶段逐步提高,研究期末没有县区处于低水平耦合阶段和成熟阶段,地域分布差异较为明显。农业发展重点地区耦合协调度水平高于经济发展重点区域;耦合协调度增长区主要分布在以传统农业发展为主的鲁西平原地区,应重点提升该区耕地景观格局和生态环境功能,加快由传统农业向现代生态农业转型,进一步提高耦合协调度;济南、青岛作

为经济发展重点地区,城镇化及工业化进程加快,耦合协调度处于拮抗阶段,应重点提升该区耕地农业生产和景观格局功能,提高土地集约利用水平,强化土地用途管制,切实保护耕地,增强耕地各功能间的联系,促进各功能均衡发展。

(3)山东省耕地多功能耦合协调度具有较高的空间聚集性,空间相关性逐渐降低,不同类型区空间分布变化明显。显著H-H区与显著L-L区空间聚集性较强,显著H-H区由鲁西和鲁北平原逐步向鲁西平原北部集中收缩,显著L-L区由鲁中南山地丘陵地区向胶东半岛地区转移,数量不断减少,尤其青岛市区最为集聚;显著L-H区与显著H-L区数量较少,空间分布零散。

参 考 文 献

- [1] 周丁扬,李抒函,文雯,等. 基于供需视角的河南省耕地多功能评价与优化[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(11):272-281. ZHOU Dingyang, LI Shuhan, WEN Wen, et al. Multi-function evaluation and optimization of cultivated land in Henan Province based on perspective of demand and supply[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(11):272-281. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20201130&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.11.030. (in Chinese)
- [2] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5):911-919. XIE Gaodi, ZHEN Lin, LU Chunxia, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5):911-919. (in Chinese)
- [3] 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 Cheng, PENG Qing, TANG Ning, 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. (in Chinese)
- [4] 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 Xiaoqing, OUYANG Zhu. Connotation of multifunctional cultivated land and its implications for cultivated land protection[J]. Advances in Earth Sciences, 2012, 31(7):859-868. (in Chinese)
- [5] 彭建,刘志聪,刘焱序. 农业多功能性评价研究进展[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(6):1-8. PENG Jian, LIU Zhicong, LIU Yanxu. Research progress on assessing multi-functionality of agriculture[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2014, 35(6):1-8. (in Chinese)
- [6] LUUK F, FILOMENA D, IRMGARD E. A conceptual framework for the assessment of multiple functions of agro-ecosystems: a case study of Trás-os-Montes olive groves[J]. Journal of Rural Studies, 2009, 25(1):141-155.
- [7] SYLVIE F, MBOLATIANA R. Agricultural activities, rural areas and natural environment: drawing up the frontiers of the multifunctionality concept rural landscapes and agricultural policies in Europe[M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2009: 21-34.
- [8] 靳文娟,边振兴,魏忠义,等. 沈阳城市周边耕地多功能评价[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(5):166-173. JIN Wenjuan, BIAN Zhenxing, WEI Zhongyi, et al. Multi-functional evaluation of cultivated land in peri-urban areas of Shenyang City[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(5):166-173. (in Chinese)
- [9] 张路路,郑新奇,原智远,等. 基于全排列多边形综合图示法的唐山市土地利用多功能性评价[J]. 中国土地科学, 2016, 30(6):23-32. ZHANG Lulu, ZHENG Xinqi, YUAN Zhiyuan, et al. Assessment on multi-functionality of land use based on the entire-array-polygon indicator method in Tangshan[J]. China Land Science, 2016, 30(6):23-32. (in Chinese)
- [10] 朱庆莹,胡伟艳,赵志尚. 耕地多功能权衡与协同时空格局的动态分析——以湖北省为例[J]. 经济地理, 2018, 38(7):143-153. ZHU Qingying, HU Weiyan, ZHAO Zhishang. Dynamic analysis on spatial-temporal pattern of trade-offs and synergies of multifunctional cultivated land-evidence from Hubei Province[J]. Economic Geography, 2018, 38(7):143-153. (in Chinese)
- [11] 武爱彬. 京津冀区域“三生空间”分类评价与格局演变[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(11):237-242. WU Aibin. Classification evaluation and pattern evolution of production-living-ecological spaces in Beijing-Tianjing-Hebei region[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(11):237-242. (in Chinese)
- [12] 杨雪,谈明洪. 北京市耕地功能空间差异及其演变[J]. 地理研究, 2014, 33(6):1106-1118. YANG Xue, TAN Minghong. Spatial differences and evolution of arable land functions in Beijing[J]. Geographical Research, 2014, 33(6):1106-1118. (in Chinese)
- [13] 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 Jingwei, LIAO Xiaoli, SONG Xiaoqing, et al. Regional convergence of cultivated land multifunctions in China[J]. Resources Science, 2019, 41(11):1959-1971. (in Chinese)

- [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 Caixue, JIN Ying, KE Xinli, 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. (in Chinese)
- [15] 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 Ying, WANG Jing, KONG Xuesong, 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. (in Chinese)
- [16] 柯新利, 李红艳, 刘荣霞. 武汉市耕地景观游憩功能与可达性的空间匹配格局[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(5): 751–760.
KE Xinli, LI Hongyan, LIU Rongxia. Research on the spatial matching pattern of cultivated land landscape recreation function and accessibility in Wuhan[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(5): 751–760. (in Chinese)
- [17] 何露, 闵庆文, 张丹. 农业多功能性多维评价模型及其应用研究——以浙江省青田县为例[J]. 资源科学, 2010, 32(6): 1057–1064.
HE Lu, MIN Qingwen, ZHANG Dan. Evaluation models for multifunctionality of agriculture and their application: a case study on Qingtian County in Zhejiang Province, China[J]. Resources Science, 2010, 32(6): 1057–1064. (in Chinese)
- [18] 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 Yingnan, LONG Hualou, GE Dazhuan, 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. (in Chinese)
- [19] 朱庆莹, 陈银蓉, 胡伟艳. 中国土地集约利用与区域生态效率耦合协调度时空格局[J]. 农业工程学报, 2020, 36(4): 234–243.
ZHU Qingying, CHEN Yinrong, HU Weiyan. Spatiotemporal pattern of coupling coordination degree between land intensive use and regional ecological efficiency in China[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(4): 234–243. (in Chinese)
- [20] 陈星宇, 王枫, 李灿. 珠三角地区耕地多功能空间差异与影响因素分析[J]. 地域研究与开发, 2017, 36(1): 130–136.
CHEN Xingyu, WANG Feng, LI Can. Spatial differences and influencing factors of arable land multi-functions in pearl river delta[J]. Areal Research and Development, 2017, 36(1): 130–136. (in Chinese)
- [21] 李丹, 田沛佩, 罗红英, 等. 西藏“一江两河”耕地生态安全时空格局与障碍诊断分析[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(10): 213–222.
LI Dan, TIAN Peipei, LUO Hongying, et al. Spatio-temporal characteristics and obstacle diagnosis of cultivated land ecological security in “One River and Two Tributaries” region in Tibet[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(10): 213–222. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20201024&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.10.024. (in Chinese)
- [22] 郭荣中, 杨敏华, 申海建. 长株潭地区耕地生态安全评价研究[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(10): 193–201.
GUO Rongzhong, YANG Minhua, SHEN Haijian. Evaluation for ecological security of cultivated land in Chang-Zhu-Tan region[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(10): 193–201. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161025&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.10.025. (in Chinese)
- [23] 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 Liguang, WANG Zhanqi, CHAI Ji, et al. Multifunction spatial differentiation and comprehensive zoning of cultivated land in Hubei Province[J]. Areal Research and Development, 2019, 38(5): 125–130. (in Chinese)
- [24] 张燕, 徐建华, 曾刚, 等. 中国区域发展潜力与资源环境承载力的空间关系分析[J]. 资源科学, 2009, 31(8): 1328–1334.
ZHANG Yan, XU Jianhua, ZENG Gang, et al. The spatial relationship between regional development potential and resource & environment carrying capacity[J]. Resources Science, 2009, 31(8): 1328–1334. (in Chinese)
- [25] 刘彦文, 刘成武, 何宗宜, 等. 基于像元尺度耕地质量局部空间自相关的基本农田划定[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(5): 260–268.
LIU Yanwen, LIU Chengwu, HE Zongyi, et al. Delineation of basic farmland based on local spatial autocorrelation analysis of cultivated land quality in pixel scale[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(5): 260–268. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190530&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.05.030. (in Chinese)
- [26] 杨建宇, 杜贞容, 杜振博, 等. 基于耕地质量评价和局部空间自相关的高标准农田划定[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 109–115.
YANG Jianyu, DU Zhenrong, DU Zhenbo, et al. Well-facilitated capital farmland assignment based on land quality evaluation and LISA[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(6): 109–115. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170614&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.014. (in Chinese)
- [27] 董鹏宇, 赵华甫. 耕地多功能权衡与协同关系研究——以上海市青浦区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(2): 368–375.
DONG Pengyu, ZHAO Huaifu. Study on trade-off and synergy relationship of cultivated land multifunction: a case of Qingpu District, Shanghai[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(2): 368–375. (in Chinese)
- [28] 张鹏岩, 杨丹, 李二玲, 等. 人口城镇化与土地城镇化的耦合协调关系——以中原经济区为例[J]. 经济地理, 2017, 37(8): 145–154.
ZHANG Pengyan, YANG Dan, LI Erling, et al. The coupled coordination relationship between land urbanization and population urbanization: a case study of the central plains economic region[J]. Economic Geography, 2017, 37(8): 145–154. (in Chinese)