

# 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

李 怡<sup>1,2,5</sup>, 方 斌<sup>1,2,5\*</sup>, 李裕瑞<sup>3,4</sup>, 璩路路<sup>6</sup>, 李冬杰<sup>1,2,5</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 南京师范大学新型城镇化与土地问题研究中心, 南京 210023; 3. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101; 4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 5. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 6. 重庆大学公共管理学院, 重庆 400044)

**摘 要:** 城镇化进程中中国耕地利用功能变化深刻, 探究影响耕地多功能协同与权衡的城镇化因素更是平衡地区经济发展与耕地保护的关键。该研究以淮海经济区为例, 选取 2000—2018 年连续年份时间, 从耕地生产、社会和生态三个维度构建评价体系分析耕地多功能时空特征, 利用 Spearman 秩相关分析揭示耕地多功能间权衡与协同的时空演化, 运用调节效应模型定量剖析权衡与协同演化的城镇化驱动机制。结果表明: 1) 耕地生产功能整体呈持续增长趋势, 社会功能整体呈持续下降趋势, 生态功能整体呈波动下降趋势。2) 耕地生产与社会功能整体呈弱权衡向弱协同转变, 且大部分地市内部的两功能权衡关系有所缓解, 协同区域逐渐向东部转移。耕地生产与生态功能整体呈权衡增长趋势, 但部分地市内部的两功能关系趋向协同发展, 主要分布在鲁南和苏北地区。3) 耕地生产与社会功能相互关系主要受城乡收入差距、人口城镇化率以及居民消费能力的影响。耕地生产与生态功能相互关系则受居民消费能力的显著影响。同一驱动因子在不同水平下对耕地多功能之间权衡与协同关系的作用程度不同。为此提出促进淮海经济区耕地多功能协同发展的策略建议。

**关键词:** 耕地多功能; 权衡; 协同; 演变; 驱动机制; 城镇化; 淮海经济区

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.08.028

中图分类号: S17

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2022)-08-0244-11

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. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.08.028 http://www.tcsae.org

Li Yi, Fang Bin, Li Yurui, 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 (Transactions of the CSAE), 2022, 38(8): 244-254. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.08.028 http://www.tcsae.org

## 0 引 言

耕地利用是为满足人类生存发展需求, 对土地进行开发、复垦、整理的一系列生产活动, 伴随着粮食、蔬菜、油料等基本农产品产出, 以及涵养水源、生物多样性保护、保障农民就业与生活等非农产品产出<sup>[1-2]</sup>。耕地产出的多元性决定了耕地的多功能性, 耕地多功能间又存在着此消彼长的权衡关系或同增同减的协同关系。权衡反映功能的对立即竞争关系, 协同则反映功能的协作有序即共赢关系<sup>[3-4]</sup>。城镇化通过影响耕地生产要素组织使得耕地多功能之间相互关联的复杂性和动态性进一步呈现<sup>[5-7]</sup>。具体而言, 城镇化带动农民从事较高收益工作的机会明显增加引致乡村人口向城镇大规模转移, 1996—2017 年乡村常住人口年均流出 1 200 多万<sup>[8]</sup>, 随着农村劳动力的减少, 耕地边际化甚至撂荒现象愈发严重, 耕地生产潜能被抑制, 社会贡献价值被削弱; 农业机械化投入通过提高生产效率可带动耕地生产能力提

升, 在解放农村剩余劳动力的同时弱化了耕地的就业保障能力; 部分地区化肥农药的大量施用造成的土壤酸化, 导致了耕地生态系统退化, 制约了耕地生产功能的发挥<sup>[9]</sup>。面对中国人多地少、城市负荷日益加重、耕地生态系统超载严重、耕地社会价值日趋弱化的人地矛盾, 开展城镇化进程中耕地多功能权衡与协同关系研究, 可通过优化耕地利用模式, 推动耕地多功能相互竞争向协同共赢转变, 既是“端牢中国饭碗”的需要, 也是推进城乡融合发展的需要。

“多功能”目前较多应用于生态系统领域, 耕地作为生态系统的重要组成要素, 耕地多功能是对生态系统多功能的延伸和具体实现途径<sup>[10-11]</sup>。借鉴 Hölting 等<sup>[11]</sup>对多功能定义, 耕地多功能是指耕地为满足社会发展需要直接或间接向人类提供产品、多重社会经济保障和生态效益的能力。参考已有文献资料, 根据耕地的自然属性, 结合人类社会多样化需求, 本文将耕地多功能归并为生产功能、社会功能和生态功能<sup>[12-14]</sup>。耕地多功能研究在国内外已取得丰硕成果, 主要集中于耕地多功能的内涵梳理、评估量化及时空演变、驱动机制、类型区划等内容<sup>[15-17]</sup>, 耕地多功能权衡与协同关系近些年也逐渐进入部分学者的研究范畴。权衡与协同源于经济学领域中的成本效益分析, 并在 20 世纪 70 年代的绿色革命期间由西方学者首次应用于农业, 以评估新兴农业技术的经济效应<sup>[18]</sup>。国外学者注重宏观农业发展目标之间的权

收稿日期: 2022-01-27 修订日期: 2022-04-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071229, 41671174); 江苏省高校优势学科建设工程项目(164320H116)

作者简介: 李怡, 博士生, 研究方向为土地利用与城乡发展。

Email: 201301009@njnu.edu.cn

\*通信作者: 方斌, 教授, 博导, 研究方向为土地资源管理。

Email: wenyangfang731@163.com

衡与协同评估, 较少具体到耕地的多功能权衡与协同层面<sup>[19-20]</sup>。国内学者多将权衡与协同应用于生态系统服务功能研究, 自 2010 年之后逐渐关注耕地多功能协同与权衡关系, 主要是应用空间自相关、波段集统计、相关性分析等方法探讨其时空特征、演化格局等, 研究空间尺度涉及省、市、区域等层次<sup>[21-23]</sup>。但文献数量仍较少, 研究时间尺度相对较短, 以静态时间节点居多, 缺乏连续时间年份动态研究, 相关理论仍显薄弱, 定量探讨其驱动机制的相关研究更为缺乏, 基于协同与权衡视角探讨耕地多功能管理尚处探索阶段。

淮海经济区地处中国南北交界地带, 毗邻长三角和环渤海两大经济圈, 人口分布密集, 交通路网发达, 是承接中国发达地区产业转移推进城镇化建设的潜力地带<sup>[24]</sup>。该区域且属于优质耕地连片区域, 是中国重要的粮食主产区和农副产品生产基地, 人均粮食产量 610 kg, 高于全国平均水平的 29%。城镇化推进与耕地保护之间的协调性已成为淮海经济区发展中不可忽视的重要问题。鉴于此, 本文以淮海经济区为例, 基于耕地多功能层次隶属关系, 阐释城镇化进程中耕地多功能权衡与协同的内涵机理, 辨识新世纪以来耕地多功能时空变化特征, 厘清不同时空尺度耕地多功能之间权衡与协同关系变化, 并对其城镇化驱动机制进行定量剖析。以期为促进耕地多种功能总体效益优化, 缓解城镇化建设与耕地保护矛盾, 推进城乡关系健康发展提供科学参考。

## 1 概念内涵辨析

### 1.1 耕地多功能层次隶属关系

认识耕地多功能间的层次隶属关系是多功能协调优化的前提。耕地的形成本质决定了耕地生产功能的产生, 生产功能是指为满足人类生存发展物质需要耕地所具有的提供粮食作物和非粮作物的能力。耕地的自然物质属性决定了耕地生态功能的产生, 生态功能指以满足人类健康生活需要为目标耕地所具有的维持良好耕地资源本底, 通过水、土、气、生综合作用提供多种生态系统服务的能力。生产功能和生态功能均由耕地的固有属性所产生, 但是耕地生产功能的消失则意味着耕地性质的彻底转化, 因此耕地生产功能是核心功能, 生态功能便是依附功能<sup>[13,25]</sup>。在核心生产功能之上, 耕地可衍生出社会保障功能, 属于耕地利用间接产生功能。社会功能是指耕地作为生产资料间接满足家庭发展需要以及维系社会稳定需要所具有的提供就业机会, 增加经济收入和保障粮食安全等方面能力。生态功能和社会功能的相互关联则一定程度上以生产功能为桥梁。耕地多功能间的层次隶属关系是耕地多功能关联性产生的基础, 关联性则决定了耕地多功能间权衡与协同关系的客观存在。

### 1.2 城镇化驱动下耕地多功能权衡与协同的机理解析

城镇化驱动下耕地为功能权衡与协同机理如图 1 所示。城镇化是传统农业社会向现代城市社会发展转变的过程, 包含城乡之间建立起的人口、资源、信息、技术及资金等资源要素的流动<sup>[7,26]</sup>。城乡之间资源要素流动重塑着乡村地域人与自然交互方式, 耕地作为乡村地域系统发展之基,

其功能要素受到相当程度影响。乡城人口迁移改变了乡村劳动力就业路径, 导致农业生产主体变动; 城市积累资金和技术信息又回流扩散至乡村, 引致耕地生产要素和生产投入变动; 城镇人口规模集聚带来的食物消费需求增长及消费结构升级又可刺激耕地种植规模和种植结构<sup>[27]</sup>。耕地多功能以及彼此间相互关系的变动则是耕地功能要素组成变化的响应, 既有正向彼此增益协同响应, 又会出现负向此消彼长权衡响应。再者, 城镇化具有阶段性, 从缓慢发展阶段到快速发展阶段再到稳定调整阶段, 城乡之间资源要素流动同样处于变动之中, 耕地功能系统在外界扰动与内部要素适应调整过程中不断演进, 耕地多功能协同与权衡演化也与城镇化同步进行。因此, 科学认知耕地多功能相互关系的演进阶段, 识别城镇化的驱动过程是耕地多功能协调优化的一条可取且有效的路径, 也是提出新型城镇化进程中耕地保护策略的前提。

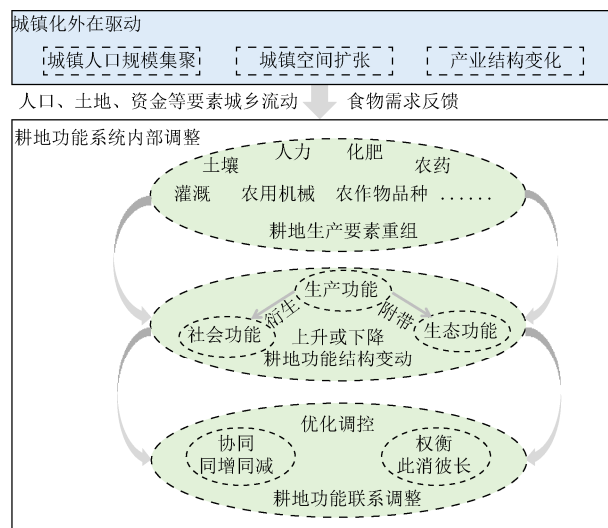


图 1 城镇化驱动下耕地多功能权衡与协同的机理

Fig.1 Development logic of trade-off and synergy of farmland functions in the process of urbanization

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 研究区概况

淮海经济区是中国最早成立的一批跨省经济合作区, 横跨苏鲁豫皖 20 个地级市 (莱芜市在 2019 年撤市设区)。地理区位如图 1, 东连沿海经济带、西襟中原经济区、南接长三角城市群、北临环渤海经济圈, 在全国宏观区域发展格局中起着承东启西、连南接北的枢纽作用<sup>[24]</sup>。区域土地总面积 17.81 万  $\text{km}^2$ , 海拔介于 50~1 500 m, 分布有山地、丘陵、台地和平原, 地形差异明显, 属北温带半湿润季风气候, 年均温 15.38  $^{\circ}\text{C}$ , 多年平均降水量 823.56 mm。2018 年, 户籍人口 1.4 亿, 常住人口 1.2 亿, 仅次于长三角经济区<sup>[28]</sup>, 是中国人口分布较为密集地区之一。人口城镇化率从 2000 年的 23% 提升至 2018 年的 54%, 农业人口仍占较大比例, 从事第一产业人口占乡村总人口的 45.78%。区内人均耕地面积约 0.07  $\text{hm}^2$ , 低于全国平均水平约 22.7 个百分点。研究区域以占全国 7.58% 的耕地面积, 生产了全国 12.72%



表 1 耕地功能评价指标体系  
Table 1 The evaluation index system of farmland functions

耕地功能 Farmland functions	指标 Index	指标描述 Index connotation	属性 Nature	权重 Weight	指标来源 Index sources
生产功能 Production function	粮食作物播种指数	粮食作物播种面积/耕地面积	+	0.199 2	
	非粮农作物播种指数	非粮农作物播种面积/耕地面积	+	0.229 0	
	有效灌溉面积占比	有效灌溉面积/耕地面积	+	0.194 4	谭雪兰等 <sup>[32]</sup>
	地均机械总动力	农业机械总动力/耕地面积/(kW·hm <sup>-2</sup> )	+	0.168 4	张英男等 <sup>[13]</sup>
	地均一产产值	第一产业产值/耕地面积/(万元·hm <sup>-2</sup> )	+	0.209 0	张英男等 <sup>[13]</sup>
社会功能 Social function	人均粮食保有率	粮食产量/(总人口×437)	+	0.116 6	
	第一产业从业人口比例	第一产业从业人口/区域总从业人口	+	0.263 0	杨雪等 <sup>[29]</sup>
	农村人口人均耕地面积	耕地面积/农村户籍人口/(hm <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	+	0.332 4	宋小青等 <sup>[16]</sup>
	第一产业从业人口人均产值比例	第一产业从业人口人均产值/区域总从业人口人均产值(第一产业从业人口人均产值=第一产业产值/第一产业从业人口; 区域总从业人口人均产值=地区生产总值/区域总从业人口)	+	0.288 0	
生态功能 Ecological function	单位耕地面积化肥施用超标量	化肥施用折纯量/耕地面积-单位耕地面积化肥施用安全标准上限/(kg·hm <sup>-2</sup> )	-	0.445 7	张英男等 <sup>[13]</sup>
	单位耕地面积农药施用超标量	农药施用量/耕地面积-单位耕地面积农药施用安全标准上限/(kg·hm <sup>-2</sup> )	-	0.295 3	Qian 等 <sup>[15]</sup>
	单位耕地面积农用塑料薄膜强度	农用塑料薄膜施用量/耕地面积/(kg·hm <sup>-2</sup> )	-	0.258 9	杨雪等 <sup>[29]</sup>

2.3.3 耕地多功能权衡与协同分析法

基于相关系数定量评估耕地多功能间相互关系，优点在于可研究功能之间在较长连续时间内的相互作用程度，克服了聚类分析方法采用某静态时间点或两个时间点无法衡量耕地功能对外部突发冲突以及因时滞效应的响应而产生较大误差的影响<sup>[11]</sup>。相关系数分析法主要包括 Pearson 积矩相关系数和 Spearman 秩相关系数，前者适用于两个连续变量间存在线性关系且各变量总体接近正态分布的情景，后者对数据分布形态和样本容量大小没有严格限制，属非参数检验，适用范围更广<sup>[22]</sup>。因此，本文选取 Spearman 秩相关系数分析多功能之间的相关性，并进行显著性检验，系数为正代表协同关系，系数为负代表权衡关系。相关系数计算通过 Origin 软件的相关性分析模块完成，之后通过 ArcGIS 软件完成空间制图。

本文基于耕地社会功能是生产功能的衍生功能，生态功能主要通过生产功能与社会功能产生联系的视角进行考量，因此主要对耕地生产与生态功能，生产与社会功能两类直接关联的功能关系进行分析。

2.3.4 驱动因子选取及驱动机制定量分析

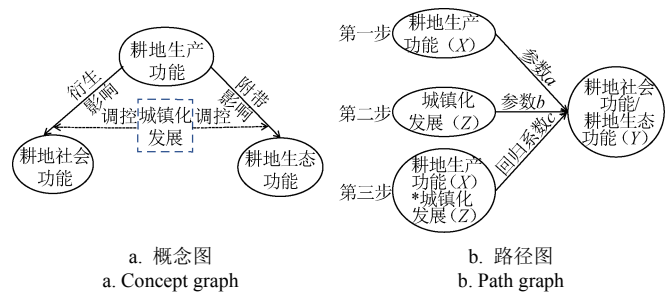
耕地多功能权衡与协同主要是人类社会根据自身发展需求与价值观念变化对耕地利用进行一定程度的干预而产生。目前阶段，城镇化是社会变迁的主要推动力，因此，本文重点探究城镇化对耕地多功能权衡与协同关系变化的驱动作用。人口城镇化率，土地城镇化率和经济城镇化率可从“人—地—业”三个方面表征城镇化水平，通常是测度城镇化发展的基础性指标<sup>[34]</sup>，因此本文选取城镇人口比例（城镇户籍人口/地区户籍总人口）表示人口城镇化率，建成区面积比例（建成区面积/地区总面积）代表土地城镇化率，二三产产值比例（二三产产值/地区总产值）代表经济城镇化率。此外，本文考虑了城镇化发展质量，结合数据的可获得性，本文主要选取在理论层面对农业生产活动影响较大的相关指标，城乡收入比和居民消费能力被考虑在内<sup>[8]</sup>。城乡收入比（城

镇居民人均可支配收入/农村居民人均可支配收入）越大则城乡经济发展差距越大，乡村人口、资金等要素越趋于向城市流动，城乡系统越不平衡，对于农业生产的干扰力度越大。居民消费能力（居民人均生活消费支出（元））越高则代表较为富裕的生活水平，城镇化质量也就越高，有利于拉动农产品数量和质量的有效需求。

本文采用调节效应模型进行耕地多功能之间相互关系的驱动机制分析。调节效应指自变量和因变量之间的关系会随调节变量的取值不同而发生变化，调节变量即是驱动因子<sup>[35-36]</sup>。调节效应可通过以下回归方程进行分析：

$$Y=k+aX+bZ+cXZ+a \quad (2)$$

式中  $X$  为自变量， $Y$  为因变量， $Z$  为调节变量， $k$  为常数项， $a$  为误差项， $a$ 、 $b$  为待估参数， $c$  为回归系数， $c$  通过显著性检验，则表示调节效应显著， $c$  为正表示正向调节， $c$  为负表示负向调节。在回归模型中，首先不纳入调节变量，只考虑自变量对因变量的影响情况即主效应，接着将调节变量纳入回归模型考察主效应，最后纳入自变量和调节变量的交互项  $XZ$ ，从而确定回归系数  $c$ ，也就是考察驱动因子通过自变量如何影响因变量<sup>[37]</sup>。各变量均进行均值中心化处理。耕地生产功能作为核心功能，因此将生产功能作为不同功能关系中的自变量。图 3 为城镇化因子对于耕地多功能关系的调节效应模型图。



注：参照相关文献绘制<sup>[37]</sup>。  
Note: Revised based on Fang et al (2015)<sup>[37]</sup>.

图 3 调节效应模型概念框架

Fig.3 Concept framework of the moderating effect model

### 3 结果与分析

#### 3.1 耕地多功能演变的时空特征

从图 4 可知, 耕地多功能演变的时空格局差异较大, 2000—2009 年, 仅耕地生产功能整体呈增长趋势, 增长了 28.91%, 增长显著区域呈块状集中分布在皖北的宿州、淮北、蚌埠, 以及苏北的宿迁和连云港。耕地社会功能和生态功能整体呈下降趋势, 分别下降了 8.83% 和 9.57%。社会功能仅开封、商丘和淮北有所增长, 生态功能仅鲁南部分地区有所增长。2009—2018 年, 仅耕地社会功能整体下降, 下降了 0.79%, 下降趋势明显缓解。社会功能增长型地市增加到了 8 个, 增长型区域逐渐向东转移。耕地生产功能和生态功能整体分别增长了 6.78% 和 6.45%, 生产功能的显著增长区域向东转移, 主要集聚在苏北地区。皖北 5 市的生产功能则出现小幅下降, 主要由于粮食作物播种指数与非粮农作物播种指数有所下降。生态功能增长型地市增长到了 12 个, 由鲁南地区逐渐向苏北和皖北扩展。

从研究整体时段来看, 耕地生产功能整体呈增长趋势, 显著增长区域主要集聚在苏北地区。苏北地区基期生产功能指数较低, 但在城镇化快速发展带动下, 产值

较高的经济作物种植规模较广。再者, 随着机械化投入提升、良种推广, 以及灌溉等农业基础设施逐渐完善促进了农作物产出水平明显增长, 致使苏北成为高幅增长区。耕地社会功能和生态功能整体均有所下降。社会功能增长区域仅占 35%, 与研究后期较为相似, 仅日照呈现小幅下降。其中, 徐州、莱芜和济宁主要源于就业收入保障能力增长显著, 主要由于快速城镇化带动都市农业、现代农业发展, 经济作物比例较高。连云港、盐城和淮北主要源于基本生计保障能力和粮食安全保障能力增长。日照和泰安则主要由于基本生计保障能力增长。下降型区域则主要由于耕地缓解社会就业压力能力与就业收入保障能力的显著下降。生态功能增长区域同样占 35%, 分别是鲁中南的泰安、莱芜、临沂和日照, 鲁西南的济宁, 苏北的徐州以及皖北的蚌埠。鲁中南地区是山东主要的森林覆盖区, 生态服务功能突出, 化肥和农药施用管制较为严格致使生态功能普遍提升。其他 3 个城市一方面由于基期指数过低, 因此在后期的农业生产中更加注重耕地生态保护, 另一方面或许由于二三产业发展水平较高, 从而带动居民消费水平提升, 人们更加注重农产品的质量及安全及环境健康。

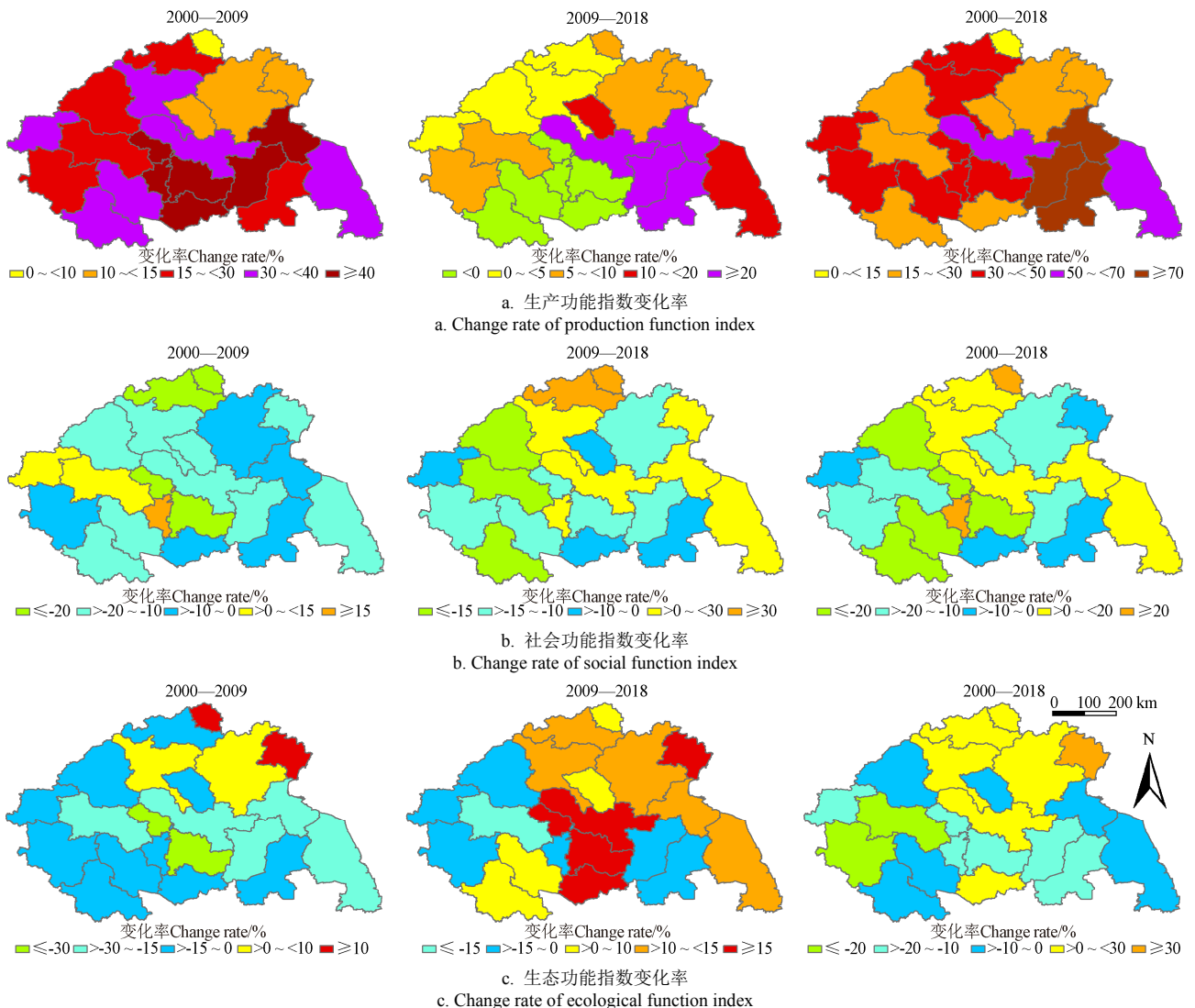


图 4 2000—2018 年淮海经济区耕地多功能时空演化格局

Fig.4 Spatio-temporal pattern of farmland functions in the Huai-Hai Economic Zone during 2000—2018

### 3.2 耕地多功能权衡与协同演变特征

#### 3.2.1 整体水平权衡与协同关系

基于研究期间整体水平，对耕地生产与社会功能，生产与生态功能进行 Spearman 秩相关性分析，根据统计检验结果，耕地生产与生态功能相关系数为-0.397，生产与社会功能相关系数为-0.039，前者通过了 5% 的显著性水平检验。为了更加直观体现功能之间相互作用关系，本文通过 Origin 软件绘制出耕地多功能的散点图，并进行功能之间的线性拟合（图 5）。从图 5 可以看出，生态与社会功能均随着生产功能的增加呈下降趋势，但前者下降更为明显。通过统计检验结果和散点图可以看出，生产与生态功能呈显著权衡关系，生产与社会功能呈不显著权衡关系，也可表明生产与社会功能具有向协同关系转化的趋势。

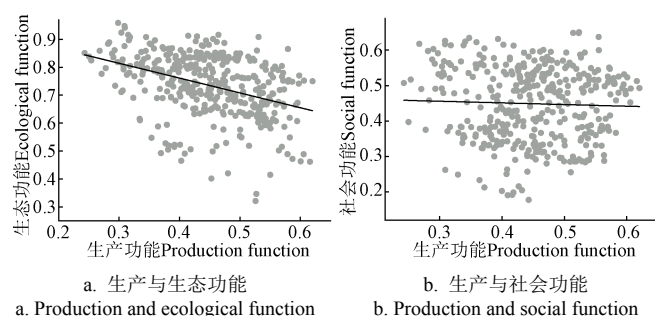


图 5 2000—2018 年淮海经济区耕地多功能散点图

Fig.5 Scatter plot of farmland functions in the Huai-Hai Economic Zone during 2000-2018

#### 3.2.2 权衡与协同的时间变化

对研究区 2000—2018 年耕地的生产与生态功能，生产与社会功能之间相互关系进行逐年相关性分析，绘制出权衡与协同关系动态变化图（图 6）。相关系数的动态变化可用来判断权衡与协同关系的演变趋势。耕地生产与生态功能在 19 年间均为权衡关系，相关系数最大值为 2008 年的-0.192 4，最小值为 2017 年的-0.778 9。相关系数在年际间呈波动下降趋势，两功能关系由弱权衡转向强权衡，但期末的权衡关系又出现减弱趋势。耕地生产与社会功能之间的相关系数在研究期间呈波动上升趋势，相关系数最大值为 2016 年的 0.461 6，最小值为 2000 年的-0.291 7。年际间关系在研究前期主要为弱权衡，在研究后期更多呈现弱协同，且协同关系有增强的趋势。

#### 3.2.3 权衡与协同空间异质性演变

本文以 2000—2009 年，2009—2018 年，2000—2018 年作为三期时间序列，通过 origin 软件，基于不同地市单元对耕地的生产与社会功能，生产与生态功能之间相互关系分别进行测度，以此直观展示耕地功能之间权衡与协同空间异质性的演化特征（图 7）。

耕地生产与社会功能相互关系的空间分布在 2000—2009 年间以权衡为主，占比为 80%，其中，50% 为显著性权衡，主要集中在鲁南地区。协同区域则呈团聚状集中在豫东地区及邻近的淮北。2009—2018 年，生产与社会功能的权衡关系空间分布占比下降到了 65%，其中，23% 为显著性权衡。两功能的协同区域呈现东移态势，主

要集聚在鲁南的济宁、泰安、临沂和日照，以及苏北的徐州、连云港和盐城。权衡关系增强的区域主要分布在豫东 3 市、皖北的淮北和蚌埠，以及苏北的宿迁和淮安。从 2000—2018 年整体来看，两功能的权衡关系分布更为广泛，占比为 80%，其中，50% 为显著性权衡。显著权衡关系主要分布于皖北除了淮北之外的其他 4 市，苏北的宿迁和淮安，豫东的开封和鲁南的枣庄。两功能的协同区为苏北的徐州、连云港、盐城，以及鲁南的莱芜，仅连云港和盐城通过显著性检验，其表明这些地区的耕地生产功能提升对社会功能提升的贡献水平较高。

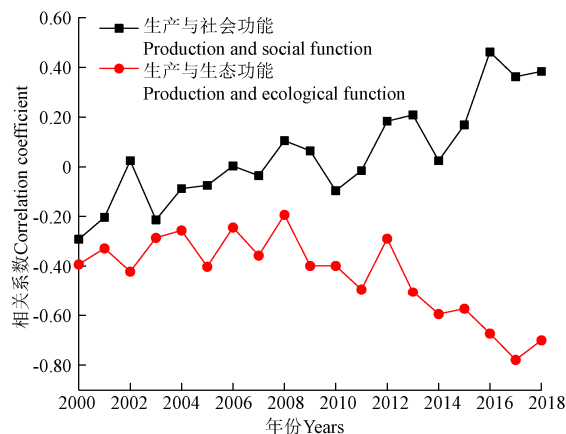


图 6 2000—2018 年淮海经济区耕地多功能之间相关系数的动态变化

Fig.6 Dynamic change of correlation coefficient between farmland functions in the Huai-Hai Economic Zone during 2000-2018

各地市的耕地生产与生态功能之间关系在 2000—2009 年均为权衡关系，其中，70% 为显著性权衡，不显著权衡地市则分布较为零散。2009—2018 年，生产与生态功能之间关系仍以权衡分布为主，但占比下降到了 60%，仅商丘和蚌埠为显著性权衡。40% 地市由权衡关系转为了协同关系，主要集聚在东部区域。豫东地区两功能关系较为稳定。变化表明研究后期大部分地市内的生产与生态功能之间权衡关系逐渐得到缓解。从 2000—2018 年整体来看，两功能关系的空间分布以权衡关系为主，占比为 70%，其中，78% 为显著性权衡。豫东地区的权衡关系最为显著，反映出这些区域的耕地生产活动对农用物资投入依赖性较强。生产与生态功能的协同关系主要分布在鲁南除了枣庄之外的其他 5 市，以及苏北的徐州，仅莱芜市通过显著性检验。这些区域耕地投入行为的改善既促进了农业生产，又强化了耕地生态保护。

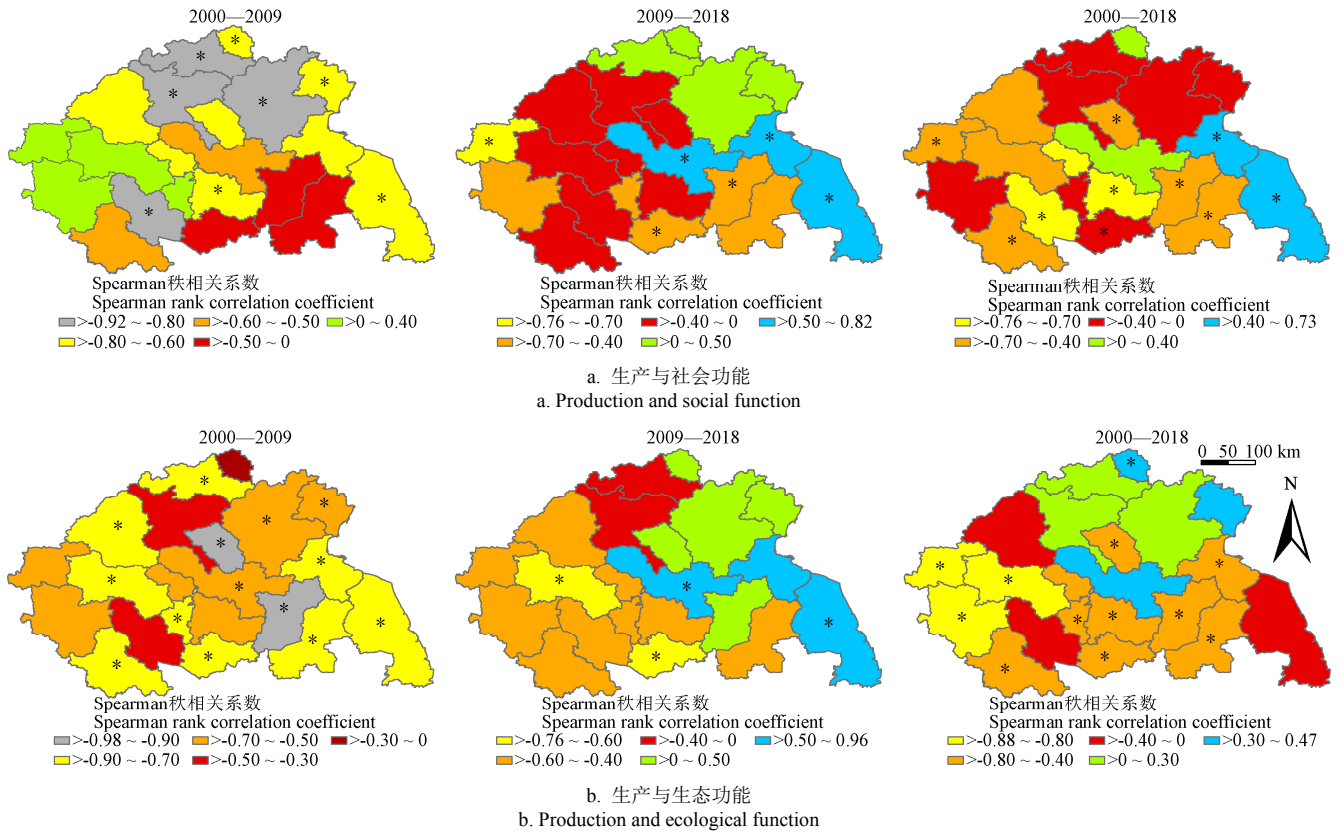
### 3.3 耕地多功能权衡与协同演变的驱动机制

#### 3.3.1 整体水平权衡与协同的驱动力

本研究采用 Hayes 编制的 SPSS 宏 PROCESS 程序中 model 1 (model1 为简单的调节效应模型) 进行检验，采用 Bootstrap 方法进行回归系数的显著性。首先基于研究区整体水平对人口城镇化率、建成区面积比例、二三产业产值比例，城乡收入比和居民消费能力在耕地生产与生态功能，生产与社会功能之间关系中的调节效应逐一进行检验（表 2）。由表 2 可以看出，5 项驱动因子的变化

在耕地生产和社会功能之间均起正向调节作用, 但二三产产值比例与建成区面积比例对其关系的影响未通过显著性检验。就耕地生产与生态功能关系而言, 城乡收入

比与建成区面积比例对其关系起负向调节作用, 其他三项驱动因子均起正向调节作用, 仅居民消费能力的调节效应通过显著性检验。



注: \*表示在 0.05 水平下相关性显著。  
Note: \* is significant correlation at the 0.05 level.

图 7 2000—2018 年淮海经济区耕地多功能权衡与协同关系时空演变特征

Fig.7 Spatio-temporal pattern of trade-off and synergy of farmland functions in the Huai-Hai Economic Zone during 2000-2018

表 2 驱动因子的调节效应检验结果

Table 2 The moderating effect test of driving factors

因变量 Dependent variable	自变量 Independent variable	调节变量 Adjustment variable	系数 Coefficient	标准误 Standard error	t 检验 t-test	P 值 P-value	95%的置信区间 95% confidence interval
社会功能 Social function	生产功能	人口城镇化率	1.078	0.347	3.110	0.002	0.396, 1.760
		建成区面积比例	0.344	0.246	1.396	0.163	-0.140, 0.827
		二三产产值比例	0.067	0.226	0.297	0.766	-0.378, 0.513
		城乡收入比	1.117	0.343	3.260	0.001	0.443, 1.791
生态功能 Ecological function	生产功能	居民消费能力	1.105	0.332	3.326	0.001	0.452, 1.759
		人口城镇化率	0.327	0.351	0.932	0.352	-0.363, 1.017
		建成区面积比例	-0.033	0.172	-0.191	0.849	-0.370, 0.304
		二三产产值比例	0.576	0.317	1.818	0.070	-0.047, 1.200
		城乡收入比	-0.611	0.337	-1.812	0.071	-1.274, 0.052
		居民消费能力	1.070	0.339	3.159	0.002	0.404, 1.737

### 3.3.2 不同驱动力水平的权衡与协同差异

调节效应通过显著性检验, 则意味着驱动因子在不同水平下, 其影响幅度具有显著性差异。为了进一步揭示通过显著性检验的驱动因子在两种功能关系之间的具体调节模式, 本研究借助简单斜率分析测度驱动因子在不同发展水平时, 自变量对因变量的影响差异情况。以通过显著性检验的各项驱动因子均值的正负各一个标准差为分界点, 高于一个标准差的被视为驱动因子高水平区, 低于一个标准差的被视为低水平区, 均值上下各一

个标准差之间的则被视为中水平区。具体的调节效应如图 8 所示。

人口城镇化率增长致使耕地生产与社会功能之间关系由不显著权衡向显著协同转变, 可见其对于两功能的协同关系有显著促进作用(图 8a 中, 低水平人口城镇化率组:  $\text{coeff} = -0.124, P > 0.05$ ; 中水平人口城镇化率组:  $\text{coeff} = 0.094, P > 0.05$ ; 高水平人口城镇化率组:  $\text{coeff} = 0.312, P < 0.05$ )。较高的人口城镇化水平一方面意味着农村人口人均耕地资源占有量较高, 有利于农业

的要素投入和规模化经营，另一方面会提高农业生产者的人均经济产出，从而对耕地生产与社会功能的协同关系产生正面效应。

城乡收入比的增长对于耕地生产与社会功能权衡关系起到缓解作用，但促进协同发展的作用不显著（图 8b 中，低水平城乡收入比： $\text{coeff} = -0.247, P < 0.05$ ；中水平城乡收入比  $\text{coeff} = -0.034, P > 0.05$ ；高水平城乡收入比： $\text{coeff} = 0.179, P > 0.05$ ）。城乡收入差距的扩大会成为吸引农村人口不断向非农产业转移的主要动力，农业劳动力转移有利于耕地流转，一定程度促进了农业产业化和现代化，对种植业从业者增收产生积极作用，从而缓解耕地生产与社会功能的权衡关系。但是城乡收入差距扩大并不能有效促进两功能协同发展，可能原因是城乡收入差距扩大也导致耕地缓解社会就业压力能力下降明显，从而对两功能协同作用不显著。城乡收入差距扩大与目前社会发展阶段相吻合，这也是市场化导向下社会发展的必经阶段，未来需要在致力于城乡收入差距缩小的情况下，促进两功能协同发展。

居民消费能力提升可以缓解耕地生产与社会功能的权衡关系，促进两功能朝向显著协同发展（图 8c 中，低水平居民消费能力组： $\text{coeff} = -0.125, P > 0.05$ ；中水平居

民消费能力组： $\text{coeff} = 0.148, P > 0.05$ ；高水平居民消费能力组： $\text{coeff} = 0.421, P < 0.05$ ）。原因可能在于居民消费能力的提升通过扩大当地农产品市场需求，尤其是高价值经济作物，从而刺激农户发展种植业，不仅提高了耕地的产出能力，也一定程度抑制了耕地缓解社会就业压力能力下降趋势以及对农民增收产生积极作用，从而促进耕地生产与社会功能之间协同发展。

居民消费能力变化对耕地生产与生态功能关系的影响均呈现显著权衡关系，但权衡关系会随着居民消费能力的增长而减弱（图 8d 中，低水平居民消费能力组： $\text{coeff} = -0.699, P < 0.05$ ；中水平居民消费能力组： $\text{coeff} = -0.473, P < 0.05$ ；高水平居民消费能力组： $\text{coeff} = -0.247, P < 0.05$ ）。其原因可能是在低水平消费能力区间内，居民消费能力的增长主要带动农产品的需求量增长，为提高农产品产量，过多的化肥、农药等生产要素投入会导致耕地生态功能严重退化，使得两功能间权衡关系明显。随着居民消费能力进一步增长，当到达高水平消费能力时，农产品的质量会被看重，居民逐渐倾向于绿色有机农产品消费，倒逼耕地的生态管理水平提高，在耕地生产功能增长的同时耕地生态功能得到一定程度保障，因此两功能间的权衡关系会弱化。

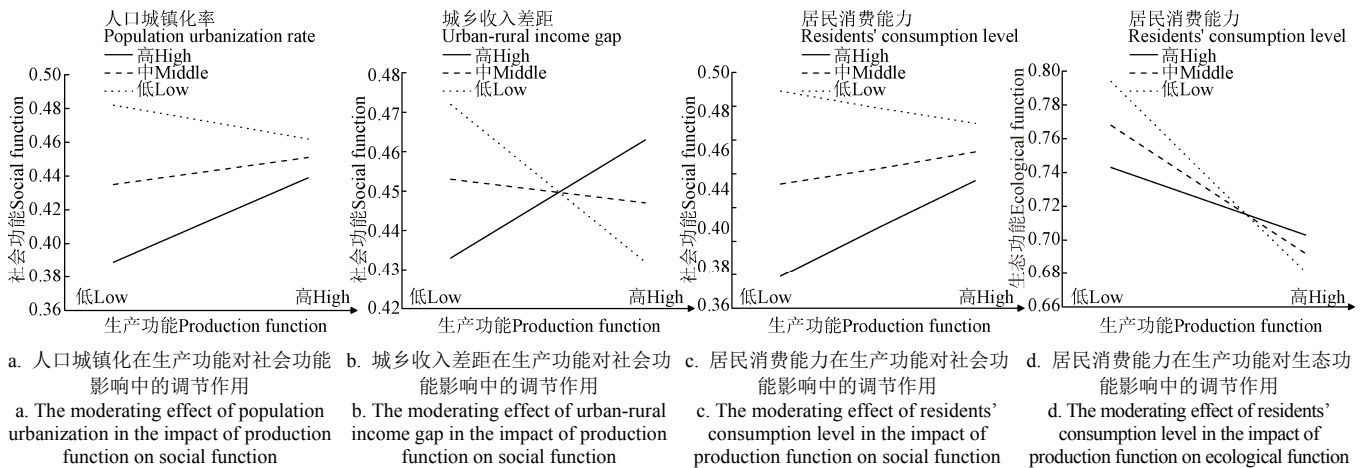


图 8 淮海经济区不同驱动力水平下耕地多功能权衡与协同

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

1) 2000—2018 年间，耕地多功能时空演化差异显著。生产功能整体呈先快后慢的持续增长趋势，且实现了全域增长。社会功能整体呈先快后慢的持续下降趋势，减少型区域呈集聚块状分布的最为广泛，增长型区域呈条带状涵盖了苏北和鲁南。生态功能整体呈波动下降趋势，增长型区域以鲁南为主，减少型区域则广泛分布。

2) 耕地生产与社会功能整体呈协同发展趋势，耕地生产与生态功能整体呈权衡增长趋势。从耕地多功能权衡与协同的时空演化来看，耕地生产与社会功能的权衡区域逐渐减少但仍分布广泛，协同区域呈现东移增加趋势。耕地生产与生态功能之间关系从全域权衡转向“大部分区域权衡-东部协同”的格局。

3) 耕地生产与社会功能的协同发展主要受人口城镇化率、居民消费能力和城乡收入比的影响作用，前两者增长对促进两功能朝向协同转变的作用更为显著。耕地生产与生态功能的权衡缓解主要受居民消费能力变动影响，目前阶段，居民消费能力的增长对两功能权衡关系可起到缓解作用但不能有效推动其协同发展。

### 4.2 讨论

本研究采用历年的连续时间序列数据测度了耕地多功能之间的相互关系，改善了以往在单一静态时间截面测度耕地多功能关系所存在的结果不稳定性，对研究区耕地多功能之间关系的动态变化及空间分异格局进行了较为系统研究，且进一步利用调节效应模型识别了多项重要城镇化因子对于耕地多功能关系演变的驱动效应，研究一定程度上丰富了耕地多功能研究体系，且为淮海经济区在快速城镇化大背景下因地制宜实现耕地多功能

之间关系优化调整提供科学依据。

基于本文研究结论,提出如下政策建议:1)加强区域耕地生态管理合作,推进全域绿色生产。研究发现淮海经济区耕地生产与生态功能的权衡关系在大部分地市内部得到缓解,但在区域整体层面有所增强。表明耕地生态管理在不同城市之间缺乏有效沟通和协调,未来有待通过适当政策、经济手段加强区域间合作,优化农业地域分工,改善高投入-高产出的传统粗放式耕地经营模式。2)推动新型城镇化建设,释放农产品市场消费潜力。人口城镇化以及居民消费能力提升成为促进耕地多功能协同的重要途径,主要由于城市人口规模集聚以及居民消费能力增长带来的农产品需求量增长以及消费结构升级。由此可见,城镇化作为区域扩大内需的重要路径,淮海经济区有待加大城市内部城镇化建设力度,引导乡村居民就近城镇化,推动小城镇建设,走高效、集约型新型城镇化道路,避免本地资源外流,促进消费经济均衡化发展。再者,城镇化建设中需要注重收缩城乡收入差距,过大城乡收入差距不利于调动农业生产主体的积极性,有待着力构建以城带乡,以工促农的城乡一体化发展机制,提高乡村居民收入水平。3)遵循耕地多功能权衡与协同关系空间分布差异,引导分区优化。具体而言,耕地生产-社会功能协同与耕地生产-生态功能协同重合区域为耕地功能稳步提升区,为城镇化水平较高的徐州和莱芜。耕地生产-社会功能协同与耕地生产-生态功能权衡重合区为生态功能重点提升区,为连云港和盐城。耕地生产-社会功能权衡与耕地生产-生态功能协同重合区为社会功能重点提升区,集中在鲁南地区。耕地生产-社会功能权衡与耕地生产-生态功能权衡重合区占60%,为耕地功能全面提升区,主要集中在皖北和豫东。耕地功能全面提升区未来应加大农业基础设施建设力度,优化农产品种植结构,同时优化调整农业生产人力资源结构,防止生产过度集中化,从而提高生产者收益。此外,指导农田测土配方施肥,推广秸秆还田,大力推广生物农药,可降解膜的施用,促进耕地生产、社会、生态功能协同发展。

研究仍存在不足有待完善。由于不同省份资料统计口径的差异,部分数据获取困难,本文仅在地级市尺度开展了研究,亟待通过实地调研,结合多源数据,从镇级、村域微观尺度开展耕地多功能相互关系探究。此外,本文主要对耕地生产与生态功能,生产与社会功能两类直接关联的功能关系进行了分析,耕地社会与生态功能一定程度上以生产功能为桥梁产生联系,其关联的机制较为复杂,后续需要探究更为适当方法对其进行剖析。

#### [参 考 文 献]

- [1] 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 with English abstract)
- [2] Zhang S Y, Hu W Y, Li M R, et al. Multiscale research on spatial supply-demand mismatches and synergic strategies of

- multifunctional cultivated land[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 299: 113605.
- [3] Zheng W W, Ke X L, Zhou T, et al. Trade-offs between cropland quality and ecosystem services of marginal compensated cropland: A case study in Wuhan, China[J]. Ecological Indicators, 2019, 105: 613-620.
- [4] 刘玉, 郜允兵, 潘瑜春, 等. 基于多源数据的乡村功能空间特征及其权衡协同关系度量[J]. 地理研究, 2021, 40(7): 2036-2050.  
Liu Yu, Gao Yunbing, Pan Yuchun, et al. Spatial differentiation characteristics and trade-off/synergy relationships of rural multi-functions based on multi-source data[J]. Geographical Research, 2021, 40(7): 2036-2050. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 637-650.  
Liu Yansui. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(4): 637-650. (in Chinese with English abstract)
- [6] 刘涛, 史秋洁, 王雨, 等. 中国城乡建设占用耕地的时空格局及形成机制[J]. 地理研究, 2018, 37(8): 1609-1623.  
Liu Tao, Shi Qiuji, Wang Yu, et al. Urban-rural development and occupation of cultivated land in China: Trends, geography, and drivers[J]. Geographical Research, 2018, 37(8): 1609-1623. (in Chinese with English abstract)
- [7] Hou D, Meng F, Prishchepov A V. How is urbanization shaping agricultural land-use? Unraveling the nexus between farmland abandonment and urbanization in China[J]. Landscape and Urban Planning, 2021, 214: 104170.
- [8] 刘彦随. 中国城镇化与农业农村发展论[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [9] Zhang Y N, Long H L, Li Y R, et al. How does off-farm work affect chemical fertilizer application? Evidence from China's mountainous and plain areas[J]. Land Use Policy, 2020, 99: 104848.
- [10] 王鹏涛, 张立伟, 李英杰, 等. 汉江上游生态系统服务权衡与协同关系时空特征[J]. 地理学报, 2017, 72(11): 2064-2078.  
Wang Pengtao, Zhang Liwei, Li Yingjie, et al. Spatio-temporal characteristics of the trade-off and synergy relationships among multiple ecosystem services in the Upper Reaches of Hanjiang River Basin[J]. Geographica Sinica, 2017, 72(11): 2064-2078. (in Chinese with English abstract)
- [11] Hölting L, Beckmann M, Volk M. Multifunctionality assessments-More than assessing multiple ecosystem functions and services? A quantitative literature review[J]. Ecological Indicators, 2019, 103: 226-235.
- [12] 姜广辉, 张凤荣, 孔祥斌, 等. 耕地多功能的层次性及其多功能保护[J]. 中国土地科学, 2011, 25(8): 42-47.  
Jiang Guanghui, Zhang Fengrong, Kong Xiangbin, et al. The different levels and the protection of multi-functions of cultivated land[J]. China Land Science, 2011, 25(8): 42-47. (in Chinese with English abstract)
- [13] 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 with English abstract)
- [14] 宋小青, 欧阳竹. 中国耕地多功能管理的实践路径探讨[J]. 自然资源学报, 2012, 27(4): 540-551.  
Song Xiaoqing, Ouyang Zhu. Route of multifunctional

- cultivated land management in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(4): 540-551. (in Chinese with English abstract)
- [15] Qian F K, Chi Y R, Lal R. Spatiotemporal characteristics analysis of multifunctional cultivated land: A case of Shenyang, Northeast China[J]. *Land Degradation & Development*, 2020, 31(14): 1812-1822.
- [16] 宋小青, 吴志峰, 欧阳竹. 1949年以来中国耕地功能变化[J]. *地理学报*, 2014, 69(4): 435-447.  
Song Xiaoqing, Wu Zhifeng, Ouyang Zhu. Changes of cultivated land function in China since 1949[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(4): 435-447. (in Chinese with English abstract)
- [17] Spataru A, Faggian R, Docking A. Principles of multifunctional agriculture for supporting agriculture in metropolitan peri-urban areas: The case of Greater Melbourne, Australia[J]. *Journal of Rural Studies*, 2020, 74: 34-44.
- [18] DeFries R, Mondal P, Singh D, et al. Synergies and trade-offs for sustainable agriculture: Nutritional yields and climate-resilience for cereal crops in Central India[J]. *Global Food Security*, 2016, 11: 44-53.
- [19] Vijay V, Armsworth P R. Pervasive cropland in protected areas highlight trade-offs between conservation and food security[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021, 118(4): e2010121118.
- [20] DeFries R, Mondal P, Singh D, et al. Synergies and trade-offs for sustainable agriculture: Nutritional yields and climate-resilience for cereal crops in Central India[J]. *Global Food Security*, 2016, 11: 44-53.
- [21] 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 Weiyang, 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 with English abstract)
- [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 Congmou, Li Wuyan, Du Yingying, 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 (Transactions of the CSAE)*, 2020, 36(14): 263-272. (in Chinese with English abstract)
- [23] 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 with English abstract)
- [24] 孙姗姗, 朱传耿, 李志江. 淮海经济区经济发展差异研究[J]. *地理学报*, 2009, 64(8): 924-934.  
Sun Shanshan, Zhu Chuangeng, Li Zhijiang. Economic development disparities of Huaihai Economic Zone[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(8): 924-934. (in Chinese with English abstract)
- [25] 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]. *Progress in Geography*, 2012, 31(7): 859-868. (in Chinese with English abstract)
- [26] 孟鹏, 郝晋珉, 周宁, 等. 黄淮海平原城镇化对耕地变化影响的差异性分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(22): 1-10.  
Meng Peng, Hao Jinmin, Zhou Ning, et al. Difference analysis of effect of rapid urbanization on cultivated land changes in Huang-Huai-Hai plain[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(22): 1-10. (in Chinese with English abstract)
- [27] 刘彦随, 龙花楼, 李裕瑞. 全球乡城关系新认知与人文地理学研究[J]. *地理学报*, 2021, 76(12): 2869-2884.  
Liu Yansui, Long Hualong, Li Yurui. Human geography research based on the new thinking of global rural-urban relationship[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(12): 2869-2884. (in Chinese with English abstract)
- [28] 孟浩, 黄贤金, 杨俊, 等. 淮海经济区城市网络结构及优化发展构想[J]. *经济地理*, 2019, 39(12): 1-10.  
Meng Hao, Huang Xianjin, Yang Jun, et al. Network structure and development concept in Huaihai Economic Zone[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(12): 1-10. (in Chinese with English abstract)
- [29] 杨雪, 谈明洪. 近年来北京市耕地多功能演变及其关联性[J]. *自然资源学报*, 2014(5): 733-743.  
Yang Xue, Tan Minghong. Changes and relationships of arable land functions in Beijing in recent years[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014(5): 733-743. (in Chinese with English abstract)
- [30] 祝伟, 王瑞梅. 城镇化对耕地利用强度的影响及中介效应分析[J]. *中国农业大学学报*, 2021, 26(4): 213-224.  
Zhu Wei, Wang Ruimei. Effect of urbanization on agricultural land-use intensity and mediation analysis[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(4): 213-224. (in Chinese with English abstract)
- [31] 靳拓, 薛颖昊, 张明明, 等. 国内外农用地膜使用政策、执行标准与回收状况[J]. *生态环境学报*, 2020, 29(2): 411-420.  
Jin Tuo, Xue Yinghao, Zhang Mingming, et al. Research advances in regulations, standards and recovery of Mulch Film[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(2): 411-420. (in Chinese with English abstract)
- [32] 谭雪兰, 安悦, 苏洋, 等. 长株潭地区农业功能的时空变化特征及发展策略研究[J]. *地理科学*, 2018, 38(5): 708-716.  
Tan Xuelan, An Yue, Su Yang, et al. Spatio-temporal dynamics of agricultural function in changsha-zhuzhou-xiangtan urban agglomerations[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(5): 708-716. (in Chinese with English abstract)
- [33] 尹旭, 李裕瑞, 袁涛, 等. 镇域经济发展与土地集约利用水平综合测度及其关联特征分析: 以江苏省109个抽样乡镇为例[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(3): 614-625.  
Yin Xu, Li Yurui, Yuan Tao, et al. Quantitative measurement of economic development and land use intensity and their correlation characteristics in 109 sampled towns of Jiangsu province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(3): 614-625. (in Chinese with English abstract)
- [34] 程明洋, 李琳娜, 刘彦随, 等. 黄淮海平原县域城镇化对乡村人一地一业的影响[J]. *经济地理*, 2019, 39(5): 181-190.  
Cheng Mingyang, Li Linna, Liu Yansui, et al. Influence of county urbanization on rural population-land-industry in Huang-Huai-Hai Plain[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(5): 181-190.

- 181-190. (in Chinese with English abstract)
- [35] 杨海钰, 蔡文聪, 赵素彦, 等. 霜冻灾害对苹果种植户生产要素投入影响的倒 U 型关系—基于农业保险调节效应的实证分析[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(6): 81-88. Yang Haiyu, Cai Wencong, Zhao Suyan, et al. Inverted U-shaped relationship between frost disasters and the input of production factors of apple growers: An empirical analysis based on the moderating effect of agricultural insurance[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(6): 81-88. (in Chinese with English abstract)
- [36] 高婧, 曹宝明, 李宁. 小麦最低收购价政策对化肥施用强度的影响: 基于农地权属的调节效应[J]. 资源科学, 2022, 44(2): 320-333. Gao Jing, Cao Baoming, Li Ning. Impact of the wheat minimum purchase price policy on chemical fertilizer application intensity: Based on the moderation effects of farmland property rights[J]. Resources Science, 2022, 44(2): 320-333.
- [37] 方杰, 温忠麟, 梁东梅, 等. 基于多元回归的调节效应分析[J]. 心理科学, 2015, 38(3): 715-720. Fang Jie, Wen Zhonglin, Liang Dongmei, et al. Moderation effect analyses based on multiple linear regression[J]. Journal of Psychological Science, 2015, 38(3): 715-720.. (in Chinese with English abstract)

## Trade-off and synergy evolution of farmland functions and its dynamic mechanism in the process of urbanization

Li Yi<sup>1,2,5</sup>, Fang Bin<sup>1,2,5\*</sup>, Li Yurui<sup>3,4</sup>, Qu Lulu<sup>6</sup>, Li Dongjie<sup>1,2,5</sup>

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Research Center of New Urbanization and Land Problem, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 3. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 4. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 5. Jiangsu Provincial Geographic Information Resources Development and Utilization Cooperative Innovation Center, Nanjing 210023, China; 6. School of Public Policy and Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Farmland functions have undergone the profound changes in the process of urbanization. It is critical to determine the urbanization driving factors of trade-off and synergy of farmland functions for the better balance between local economic improvements and farmland protection. Taking Huai-Hai Economic Zone as an example, this study aims to establish the assessment system of farmland functions from the dimensions of production, society, and ecology. Spearman Rank Correlation was employed to reveal the spatial and temporal variations of trade-off and synergy of farmland functions from 2000-2018. Subsequently, the moderating effect model was adopted to quantify the driving mechanism of population, land, and economic urbanization, urban-rural income gap, residents' consumption level on trade-off and synergy of farmland functions. The results indicated that: 1) The overall farmland production function was growing continuously, and the growth rate slowed down in the later period. The overall farmland social function dropped continuously, and the decline rate increased in the later period. The overall farmland ecological function declined in 2000-2009 and rebounded in 2009-2018, and it still didn't rise to the initial level. Furthermore, the farmland production functions of all cities were achieved the growth in different cities, where there was the most significant growth of northern Jiangsu. The share of cities with declining farmland social function was 65%, and the growth areas were strip in shape, mainly distributed in the northern Jiangsu and the southern Shandong. Distribution of cities with declining farmland ecological function were the most extensive, accounting for 65%, where the growth areas were mainly distributed in southern Shandong. 2) In the evolution of relationship between farmland functions, the relationship between the farmland production and ecological function was changed from the insignificant trade-off to significant trade-off, and the relationship between the farmland production and social function was changed from the insignificant trade-off to insignificant synergy. Specifically, the trade-off between the farmland production and social function was the most widely distributed, and the trade-off relationship in most cities had been alleviated from 2009 to 2018, the synergy area of which showed the expansion and shifted to the east in the study area. The relationship between the farmland production and ecological function in all cities was trade-off from 2000 to 2009, indicating the synergy in some cities from 2009 to 2018, the synergy area of which was mainly concentrated in the middle south of Shandong and the adjacent northern Jiangsu with the block distribution. 3) The relationship between the farmland production and social function was mainly affected by the urban-rural income gap, population urbanization rate, and residents' consumption level. The synergic development of them was significantly promoted by the residents' consumption level and population urbanization rate, and the growth of urban-rural income gap inhibited the trade-off. The weakening trade-off between the farmland production and ecological function was attributed to the growth of residents' consumption level. Some strategic suggestions were also addressed to promote the synergy of farmland functions in the Huai-Hai Economic Zone.

**Keywords:** farmland functions; trade-off; synergy; evolution; dynamic mechanism; urbanization; Huai-Hai Economic Zone