

# 浙江省耕地多功能价值时空变化与权衡-协同关系

朱从谋<sup>1</sup>, 李武艳<sup>2</sup>, 杜莹莹<sup>3</sup>, 许红卫<sup>1</sup>, 王珂<sup>1\*</sup>

(1. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058; 2. 浙江财经大学土地与城乡发展研究院, 杭州 310018;  
3. 浙江工商大学公共管理学院, 杭州 310018)

**摘要:** 耕地多功能价值的时空演变与权衡-协同关系测度对于深化耕地可持续利用和管理具有重要意义。该研究以经济快速发展地区浙江省为例, 采用价值量化方法对 2000、2010 和 2015 年浙江省耕地多功能进行价值评估并分析其时空变化特征。运用 Spearman 秩相关系数法、双变量空间自相关模型以及可拓展随机性环境影响评估 (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology, STIRPAT) 模型探究耕地多功能之间的权衡-协同关系及影响因素。结果表明: 1) 2000—2015 年浙江省耕地多功能总价值下降, 地均耕地多功能价值呈现先下降后上升的趋势。其中气体调节、水源涵养和社会保障功能价值下降明显, 食物生产和美学景观功能价值增加; 耕地多功能总价值在空间上呈现北高南低的分布格局, 2000—2015 年大部分县市耕地多功能总价值均有不同程度的下降, 西南山地丘陵区耕地多功能总价值有所提升。2) 浙江省耕地多功能之间主要表现为协同关系, 各项功能之间的协同-权衡关系存在空间异质性; 2000—2015 年, 浙江省耕地多功能协同关系总体减弱, 在空间上主要表现为高值协同区减少。3) 城镇居民可支配收入和地均农业机械总动力对耕地多功能总价值有负面影响, 农村居民可支配收入增加有助于耕地多功能总价值的提升。该研究成果可为科学划定耕地利用与保护区, 促进耕地多功能的协同利用和提升耕地资源价值提供科学依据。

**关键词:** 土地利用; 模型; 耕地; 权衡; 协同; 多功能; 浙江省

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.14.032

中图分类号: S-01

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2020)-14-0263-10

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. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.14.032 http://www.tcsae.org

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) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.14.032 http://www.tcsae.org

## 0 引言

耕地系统是在自然基础上经人工改造而形成的集约化生产系统, 具有典型的多功能特性<sup>[1]</sup>。耕地不仅提供着全世界 66% 的粮食等物质供给, 同时还具有包括气候调节、环境净化、维持生物多样性与水源涵养等生态功能, 保障农民就业、维护国家粮食安全等社会功能以及保持农耕文化、提供开敞空间景观等文化功能<sup>[2-3]</sup>。随着城镇化的快速推进, 耕地资源的稀缺性日益显现, 人们对耕地的认知和需求从单一的生产功能逐渐向系统化的多元功能转变, 耕地资源的非市场价值进一步凸显<sup>[4]</sup>。由于耕地功能类型的多样性、空间分布不均衡性以及人类利用的选择性, 耕地各功能间存在此消彼长的权衡与相互促进或抑制的协同关系<sup>[5-6]</sup>。在耕地利用和保护过程中考虑耕地多元功能之间的权衡-协同关系将有效规避

耕地利用负向效应, 实现耕地利用效益最大化。2018 年中国中央一号文件提出“大力开发农业多种功能, 建设一批设施完备、功能多样的休闲观光园区等”, 这表明耕地多功能利用成为提升农业发展质量、促进乡村产业振兴的重要途径。因此, 正确、全面地认识和评估耕地多功能价值并掌握耕地多功能之间权衡-协同演变规律, 对于促进耕地可持续利用和推进乡村振兴具有重要意义。

“多功能”概念最早来源于农业领域, 2000 年以来, 多功能领域的研究逐渐拓展到景观管理<sup>[7]</sup>、生态系统服务<sup>[8]</sup>、土地利用以及乡村发展等领域<sup>[9-10]</sup>。从国外研究看, 学者多从村域、农场尺度对农业或土地多能性进行分析, 主要集中在农业和土地多功能性概念辨析与分类、耕地多功能评价与模式识别、农业多功能价值评估等<sup>[11-12]</sup>。近年来, 随着中国城乡重构与转型速度加快, 耕地多功能利用与管理受到高度重视。国内学者的研究主要集中在耕地多功能内涵<sup>[1,3]</sup>、功能评价<sup>[13-14]</sup>、功能管理等方面<sup>[15]</sup>。在耕地多功能分类方面, 多数学者从土地生产、生态和社会 3 类基础功能进行细化和拓展<sup>[14,16]</sup>。随着社会经济不断发展, 耕地文化功能价值逐渐受到学者和社会关注<sup>[17]</sup>。在耕地多功能评价研究中, 目前常用的耕地多功能度量方法包括功能指标体系表征法、物质量法、能

收稿日期: 2020-01-16 修订日期: 2020-07-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (41971236); 浙江省基础公益研究计划 (LGN18D010002)

作者简介: 朱从谋, 博士生, 主要研究方向为土地利用与规划管理

Email: congmozhu1993@163.com

\*通信作者: 王珂, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事资源环境遥感监测、评价、规划及其信息系统研制。Email: kwang@zju.edu.cn

值法和价值量法<sup>[9,18-19]</sup>。其中,价值量法从土地价值角度综合测算耕地多功能价值,可以直观地反映耕地功能价值结构、大小和演变趋势,有利于全面认识耕地资源的总体价值,对真实反映资源稀缺和资源价值的土地要素价格形成机制以及制定耕地保护的经济补偿政策具有一定借鉴意义<sup>[20-21]</sup>。随着中国生态文明建设战略的实施,面临日益稀缺的耕地资源,科学认知并有效协同与权衡耕地利用的多功能性对于耕地保护和生态治理具有重要意义。目前有关耕地多功能权衡-协同的研究主要是借鉴生态系统服务权衡-协同研究的分析框架<sup>[22-23]</sup>。近年来,生态系统服务之间的关系研究逐渐从定性到定量分析、线性到非线性关系识别进行拓展,其中定量方法包括相关性分析、线性回归、均方根误差以及耦合协调度等多种分析方法<sup>[22,24-26]</sup>,对研究耕地多功能权衡-协同关系具有重要借鉴意义。但目前有关快速发展地区耕地多功能之间交互关系的空间差异及动态变化研究仍较少<sup>[6]</sup>,探讨快速发展地区耕地多功能价值变化的社会经济驱动因素的分析欠缺。可拓展随机性环境影响评估(Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology, STIRPAT)模型是一个应用广泛、较为成熟的环境压力评价模型,可定量分析各类社会经济因素对生态环境压力造成的非比例影响<sup>[27]</sup>。在快速城镇化进程中,耕地多功能及其价值易受到城乡社会经济广泛发展的影响,采用STIRPAT模型可进一步量化社会经济因素对耕地系统压力的影响。

浙江省是中国东部沿海发达省份,耕地资源相对稀缺,快速工业化和城镇化进程导致耕地规模减少和生态质量下降,亟待充分发挥耕地多功能,提升农业发展质量。该研究以浙江省67个县市区为分析单元,运用价值量化模型定量评估耕地多功能价值,分析浙江省2000—2015年耕地多功能价值时空变化。并运用Spearman秩相关分析方法和双变量空间自相关模型探讨耕地多功能之间权衡-协同关系的空间格局及其动态变化,同时采用STIRPAT模型分析影响耕地多功能价值演变的社会经济驱动因素。研究结果可为了解浙江省耕地多功能价值的时空演变及制定区域耕地多功能利用和管理政策提供科学依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

浙江省(118°01'~123°10'N, 27°02'~31°11'E)位于中国东南沿海地区,陆域面积10.55万km<sup>2</sup>,地形地貌复杂多样,地势由西南向东北倾斜(图1),是中国陆域面积最小的省份之一。浙江省素有“七山一水二分田”之说,耕地主要分布在浙北杭嘉湖、宁绍平原、浙中金衢盆地以及浙东沿海区,但由于人口众多,人均耕地仅400 m<sup>2</sup>左右,不及全国人均耕地水平的一半<sup>[28]</sup>。同时,浙江省是中国经济最活跃的省份之一,2015年常住人口城镇化率达到65.8%,人均GDP达到4.29万元。快速的城镇化、工业化背景下,浙江省耕地面积快速减少,据统计数据显示,2000—2015年浙江省耕地共减少21.21

万hm<sup>2</sup>,且主要集中在浙北平原和沿海地区。城镇空间扩张、粮食安全保障、城乡居民高质量生活需求等对耕地利用和管理提出了严峻挑战。

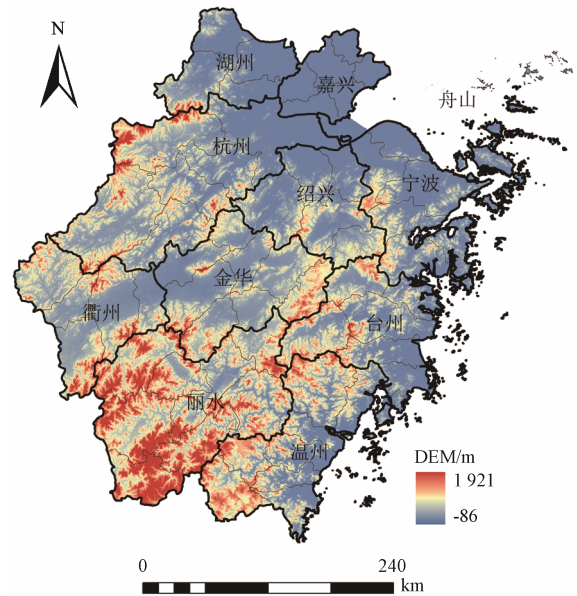


图1 研究区概况

Fig.1 Location of study area

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 耕地关键功能识别

作为一种半自然半人工的复合系统,耕地的本质是满足人类生存发展的需求<sup>[5]</sup>。在耕地功能分类中,目前大部分学者将其划分为生产、生态、社会和文化功能<sup>[13]</sup>。结合研究区现状和数据可获取性,本研究选取目前受学者较多关注的8种耕地功能进行研究<sup>[21,29]</sup>,各功能的分类、估算方法及数据来源见表1,其中耕地数据来自于生态环境部提供的Landsat TM影像(30 m)解译数据。耕地的生产功能指通过耕地利用为社会提供农产品供给,主要表现为耕地的食物生产;生态功能则从耕地生态系统服务角度出发,主要包括支持、调节等生态服务,同时,长期以来由于人类过度利用耕地进而造成农业污染,也给人类社会和其他生态系统带来了负面影响<sup>[19]</sup>,因此,该研究将耕地生态功能划分为支持服务功能(气体调节与环境净化)和调节服务功能(水源涵养与维持生物多样性)以及农业污染负向功能<sup>[30]</sup>;耕地社会功能主要表现为耕地利用保障农民最低生活水平的能力<sup>[31]</sup>,本研究主要关注耕地生活保障功能;耕地文化功能则体现为耕地为人类提供美学景观的功能<sup>[32]</sup>。在识别耕地食物生产、气体调节、环境净化、水源涵养、生物多样性、农业污染、社会保障和美学景观8种功能基础上,采用价值量化模型定量评估耕地各项功能价值。

#### 1.2.2 耕地多功能价值估算

##### 1) 食物生产功能价值

食物生产功能是耕地系统的基础功能。浙江省种植业产出主要包括水稻、小麦、玉米、甘薯、大豆、油菜、棉花、茶叶和蔬菜等9种农作物,占农作物种植总面积的90%以上。该部分价值测算采用市场价值法<sup>[19]</sup>,计算式为

$$CP_m = \sum_{i=1}^n (P_i - C_i) \cdot y_i \cdot s_i \quad (1)$$

式中  $CP_m$  为县市  $m$  的耕地食物生产价值, 元;  $P_i$  是农作

物  $i$  的市场价格, 元/kg;  $C_i$  是农作物  $i$  种植成本, 元/kg;  $y_i$  是作物  $i$  单位面积产出, kg/hm<sup>2</sup>;  $s_i$  是作物  $i$  的种植面积, hm<sup>2</sup>。

表 1 耕地 8 种功能分类及定量估算方法

Table 1 Classification and quantitative calculation method of cropland eight functions

类型 Type	功能 Function	指示指标 Indicator	计算方法 Calculation method	数据来源 Data source
生产功能 Production function	食物生产 FP	主要农作物产量	市场价值法 <sup>[19]</sup>	《中国农产品成本收益数据汇编 (2016)》、《浙江省统计年鉴 (2011—2016)》和各地级、县级统计年鉴
生态功能 Ecological function	气体调节 AR	固碳量、释氧量	机会成本法 <sup>[19,33]</sup>	《浙江省统计年鉴 (2011—2016)》和各地级、县级统计年鉴
	环境净化 EP	吸收废气、粉尘量	Yu 等 <sup>[31]</sup>	《浙江省统计年鉴 (2011—2016)》和各地级、县级统计年鉴
	水源涵养 WC	植物截留及土壤储水量	影子工程法 <sup>[6,21]</sup>	降水量数据来源于国家气象信息中心、人工蓄水成本来源于《中国水利年鉴 (2013)》、土壤类型数据来源于中国第二次土壤调查
	生物多样性 BI	水田和旱地的生物多样性	谢高地等 <sup>[32]</sup>	《浙江省统计年鉴 (2011—2016)》和各地级、县级统计年鉴
社会功能 Social function	农业污染 AP	化肥农药残留及造成的食物产量损失	市场价值法 <sup>[34]</sup>	《浙江省统计年鉴 (2011—2016)》
	社会保障 SS	农户最低生活保障水平	Yu 等 <sup>[31]</sup>	各地级、县级官方网站、《浙江省统计年鉴 (2011—2016)》和各地级、县级统计年鉴
文化功能 Cultural function	美学景观 CL	耕地美学景观价值	谢高地等 <sup>[32]</sup>	《浙江省统计年鉴 (2011—2016)》和各地级、县级统计年鉴

## 2) 气体调节功能价值

气体调节功能是农作物将吸收的 CO<sub>2</sub> 通过光合作用转换成 O<sub>2</sub>, 调节大气中的 CO<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 的平衡。根据已有研究成果<sup>[19]</sup>, 1 kg 植物可固定 1.63 kg CO<sub>2</sub> 和释放 1.2 kg O<sub>2</sub>。该部分运用成本法进行价值测算, 计算式为

$$AR_m = \sum_{i=1}^n 1.63 \cdot NPP_i \cdot C_1 + \sum_{i=1}^n 1.2 \cdot NPP_i \cdot C_2 \quad (2)$$

$$NPP_i = y_i \cdot s_i / h_i \cdot (1 - r_i) \quad (3)$$

式中  $AR_m$  是县市  $m$  的耕地气体调节价值, 元;  $NPP_i$  是年均作物  $i$  总净生产力, kg;  $C_1$  是工业固碳成本, 为 260.9 元/t,  $C_2$  是氧气释放成本, 为 376.47 元/t, 采用造林成本法获取, 参考邹月等<sup>[33]</sup>研究成果;  $h_i$  是作物  $i$  的经济系数, %;  $r_i$  是农作物  $i$  的含水率, %, 参考孔凡靖等<sup>[19]</sup>研究成果。

## 3) 环境净化功能价值

农作物在成长过程中具有较为显著的环境清洁作用, 主要是对 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、HF 的吸收和滞尘作用<sup>[21]</sup>。其计算式为

$$EP_m = Q_j \cdot C_j \cdot S \quad (4)$$

式中  $EP_m$  是县市  $m$  的耕地环境净化价值, 元;  $Q_j$  是单位面积吸收的各种废气的质量, 其中吸收 SO<sub>2</sub> 为 2.45 kg/hm<sup>2</sup>, 吸收 NO<sub>2</sub> 为 33.31 kg/hm<sup>2</sup>, 吸收 HF 为 0.33 kg/hm<sup>2</sup>, 吸收粉尘为 1 500 kg/hm<sup>2</sup>, 参考 Yu 等<sup>[31]</sup>研究成果;  $C_j$  是各种废气的平均治理成本, 其中 SO<sub>2</sub> 治理成本为 0.6 元/kg, NO<sub>2</sub> 治理成本为 0.6 元/kg, HF 治理成本为 0.9 元/kg, 粉尘治理成本为 0.17 元/kg, 参考 Yu 等<sup>[31]</sup>研究成果;  $S$  是农作物总种植面积, hm<sup>2</sup>。

## 4) 水源涵养功能价值

耕地水源涵养功能以植物分流截留以及土壤储水为主。采用综合蓄水能力来测算耕地系统水源涵养量<sup>[6]</sup>, 运用影子工程法来评价农业水源涵养价值, 计算式为

$$WC_m = \left( \sum_{i=1}^n W \cdot s_i \cdot k_i + \sum_{i=1}^n r_k \cdot m_k \cdot n_k \right) \cdot c_3 \quad (5)$$

式中  $WC_m$  是县市  $m$  的耕地水源涵养价值, 元;  $W$  是降水量, mm;  $s_i$  是农作物  $i$  的种植面积, hm<sup>2</sup>;  $k_i$  是农作物  $i$  的截留率, %, 参考元媛等<sup>[21]</sup>研究成果;  $r_k$  是第  $k$  种土壤面积, hm<sup>2</sup>;  $m_k$  是第  $k$  种土壤的粗孔隙率 (非毛管孔隙度), %, 参考朱庆莹等<sup>[6]</sup>研究成果;  $n_k$  是第  $k$  种土壤的深度, mm;  $c_3$  是人工蓄水成本, 元/m<sup>3</sup>。

## 5) 生物多样性功能价值

耕地生态系统中的生物多样性是产生并维持其他生态系统服务功能的基础, 对维持生态系统结构稳定与服务的可持续供应具有重要意义。本研究借鉴谢高地等<sup>[32]</sup>研究成果对耕地生物多样性功能价值进行测算, 计算式为

$$BI_m = E_a \cdot (e_1 \cdot S_1 \cdot e_2 \cdot S_2) \quad (6)$$

$$E_a = \frac{1}{7} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{y_i \cdot P_i \cdot s_i}{A} \quad (7)$$

式中  $BI_m$  是县市  $m$  的耕地维持生物多样性功能价值, 元;  $e$  指的是有关耕地生物多样性当量因子, 其中水田的生物多样性价值当量因子  $e_1$  取值为 0.21, 旱地生物多样性价值当量因子  $e_2$  取值为 0.13;  $S_1$  和  $S_2$  分别为水田和旱地面积, hm<sup>2</sup>;  $E_a$  指耕地食物生产的单位市场价值, 元/hm<sup>2</sup>;  $A$  是耕地总面积, hm<sup>2</sup>。

## 6) 农业污染负功能价值

农业污染指的是在耕地生产过程中由于过量使用化肥、农药而造成的对农田生态系统破坏。未被土地转化为肥力或植物吸收的化肥、农药部分是直接经济损失, 同时农药化肥在土壤、粮食中残留会降低粮食产品质量, 导致食物产出损失。据此, 采用化肥、农药利用率、粮食产量损失率和市场价格法测算农业污染负价值<sup>[19]</sup>。具体如下:

$$AP_m = a \cdot (r - 1) \cdot P' + \gamma \cdot CP \quad (8)$$

式中  $AP_m$  指县市  $m$  的耕地农业污染负价值;  $a$  是化肥、农药使用总量,  $t$ ;  $r$  指化肥、农药的利用率, %;  $\gamma$  为由于化肥农药而造成的食物产量损失率, %, 参考邓明君等<sup>[34]</sup>研究成果;  $P$  指化肥、农药的市场价格, 元/kg。

#### 7) 社会保障功能价值

耕地的社会保障功能是指耕地为农民提供生活保障, 维护社会经济正常发展。社会保障价值以农户最低生活保障水平进行间接评估<sup>[31]</sup>。计算式如下:

$$SS_m = P_1 \cdot M \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (9)$$

式中  $SS_m$  是县市  $m$  的耕地社会保障价值, 元;  $P_1$  是农业人口数量, 人;  $M$  是各县(市、区)最低生活保障标准, 元/人;  $R_1$  是农村人均可支配收入, 元;  $R_2$  是城镇人均可支配收入, 元。

#### 8) 美学景观功能价值

耕地美学景观功能是为人们提供审美享受的功能。本研究基于谢高地等<sup>[32]</sup>已有研究, 结合不同年份农业发展的实际情况, 测算耕地美学景观价值。同时运用区域经济发展指标对不同年度价值进行修正。计算式如下:

$$CL_m = k \cdot e \cdot E_a \cdot S \quad (10)$$

式中  $CL_m$  是县市  $m$  的耕地美学景观价值, 元;  $k$  是修正因子, 通过县域人均 GDP 与全省人均 GDP 的比值获取;  $e$  指的是有关耕地美学景观的价值当量因子;  $E_a$  指耕地食物生产的单位价值, 元/hm<sup>2</sup>, 其计算公式参照式(7)。

#### 1.2.3 耕地多功能权衡-协同测度方法

Spearman 秩相关系数可定量描述 2 个变量之间的关联程度与方向<sup>[24]</sup>。本研究采用 Spearman 秩相关分析探讨 8 种耕地功能两两之间的相关关系, 来分析不同功能间的权衡与协同关系。当相关系数大于 0, 且通过显著性检验时, 则认为 2 种功能之间存在协同关系, 反之, 则表现为权衡关系。

为探讨多个变量间之间的空间相关性, Anselin 等<sup>[35]</sup>在单变量空间自相关基础上提出双变量空间自相关指数, 该方法可对不同要素的空间分布的关联性特征进行定量分析, 已成为研究不同地理要素间空间关系的一种有效方法<sup>[24]</sup>。据此, 本研究采取相关公式为

$$I_m^{kl} = \frac{X_m^k - \bar{X}^k}{\delta^k} \cdot \sum_{j=1}^n [W_{mj} \cdot \frac{X_j^l - \bar{X}^l}{\delta^l}] \quad (11)$$

式中  $I_m^{kl}$  表示县市  $m$  的双变量局部空间自相关系数;  $X_m^k$  表示县市  $m$  第  $k$  项耕地功能值;  $X_j^l$  表示县市  $j$  第  $l$  项功能值;  $\bar{X}^k$  和  $\bar{X}^l$  表示分别表示第  $k$ 、 $l$  项耕地功能的平均值;  $\delta^k$  和  $\delta^l$  分别表示第  $k$  项和第  $l$  项耕地功能的方差;  $W_{mj}$  表示县市  $m$ 、 $j$  之间的空间连接矩阵, 本研究采取 Rook 空间邻接矩阵。其中, “高-高”类型区和“低-低”类型区为耕地功能高值或低值空间关联性大的区域, 表示相邻空间单元为耕地功能的高值或低值协同区域; “高-低”类型区和“低-高”类型区为耕地功能高值和低值空间关联性大的区域, 表示相邻空间单元为耕地功能高-低值权衡区域; 不显著区则为空间独立关系。

#### 1.2.4 驱动因素分析

本研究采用可拓展随机性环境影响评估模型(STIRPAT)分析耕地多功能价值变化的社会经济驱动因素。STIRPAT 模型是一个多变量非线性模型, 可提供一个人类社会经济因素对环境影响的因果分析框架<sup>[36]</sup>。借鉴 STIRPAT 模型的标准形式, 本研究参考以往研究成果<sup>[19,29]</sup>, 构建分析社会经济因素对耕地多功能价值影响的扩展模型。具体表达式为

$$E = \lambda \cdot P_1^{q_1} \cdot A_1^{q_2} \cdot R_1^{q_3} \cdot R_2^{q_4} \cdot T^{q_5} \cdot S^{q_6} \cdot U^{q_7} \cdot \delta \quad (12)$$

式中  $E$  为各县市地均耕地多功能价值, 考虑到浙江省耕地空间分布差异明显, 利用单位面积数值可消除耕地多功能价值的面积依赖性;  $P_1$  为各县市农业人口数量,  $A_1$  为各县市人均 GDP,  $R_1$  和  $R_2$  分别为各县市城镇人均可支配收入和农村人均可支配收入,  $T$  为各县市地均农业机械化水平,  $S$  为各县市第二产业比重,  $U$  为各县市城镇化率,  $q_1 \sim q_7$  分别为各自变量的弹性系数。通过对式(12)的变量采取对数形成新的模型, 运用 SPSS.22 进行逐步回归分析。模型中社会经济指标数据来源于《浙江省统计年鉴(2001—2016)》和各地级、县级统计年鉴。

## 2 结果与分析

### 2.1 浙江省耕地多功能价值时空变化

由表 2 可知, 浙江省耕地各类功能价值结构存在显著差异, 其中耕地的水源涵养、气体调节以及食物生产功能价值占比较大。2000—2015 年, 浙江省耕地多功能价值总体呈下降趋势, 由 2000 年的 848.31 亿元下降至 2015 年的 701.74 亿元, 在 2010 年以后下降趋势放缓。然而, 浙江省地均耕地多功能价值经历了先快速减少后逐步提升的过程, 地均耕地多功能价值由 2000 年的 31 206.44 元/hm<sup>2</sup> 增长到 2015 年的 32 060.48 元/hm<sup>2</sup>。在耕地各类功能价值演变中, 气体调节功能价值减少幅度最大, 达到 84.22 亿元, 且主要集中在 2000—2010 年。食物生产功能价值增加 8.5%, 美学景观功能价值增长最快, 2000—2015 年增加了 237.7%。2000—2015 年间浙江省耕地农业污染下降了 6.5%, 表明该地区耕地受化肥农药污染情况有所缓解。其他功能值呈现下降趋势: 环境净化、水源涵养、生物多样性、社会保障分别下降 31.47% (3.4 亿元)、15.08% (40.7 亿元)、47.94% (6.63 亿元)、31.49% (48.3 亿元)。

在时空分布上, 浙江省耕地多功能价值呈现明显的空间差异(图 2)。耕地多功能价值高的县市主要分布在浙北平原和浙东南沿海平原地区, 这些地区水网密布、雨热同期, 是传统的农业主产区。耕地多功能价值低的县市则集中在浙西南山地区, 这些地区耕地资源少、破碎度高, 交通不便, 农业发展水平相对较低。2000—2015 年, 浙江省大部分县市耕地多功能价值呈下降趋势, 其中浙北平原区杭州市和浙中盆地金华市耕地多功能价值减少最多(图 2d), 浙西南山地区(丽水、衢州等地)提升明显。



2.2 浙江省耕地多功能权衡-协同关系

浙江省 2000 和 2015 年耕地 4 类主要功能两两之间的相关关系如表 3 所示。整体上,浙江省耕地多功能之间存在显著的协同关系,但各类耕地功能之间的协同关系差异较大,其中生产与生态功能、社会与文化功能协

同关系较强,生产与文化功能协同关系相对较弱。随着城镇化的不断推进,2000—2015 年耕地主要功能的协同关系总体减弱。其中社会与文化功能协同关系下降最大,而生产与文化功能、生态与文化功能协同关系有所提升。

表 2 2000—2015 年浙江省耕地多功能价值测算  
Table 2 Calculation of cropland multifunctional value in Zhejiang Province during 2000-2015

功能类型 Function type		耕地价值 Cropland value/亿元			耕地价值变化 Changes in cropland value/亿元			耕地价值变化率 Change rate in cropland value/%		
		2000	2010	2015	2000—2010	2010—2015	2000—2015	2000—2010	2010—2015	2000—2015
生产功能 Production function	FP	175.43	188.7	190.31	13.27	1.61	14.88	7.56	0.85	8.48
	AR	243.36	164.67	159.14	-78.69	-5.53	-84.22	-32.33	-3.36	-34.61
	EP	10.74	7.51	7.36	-3.23	-0.15	-3.38	-30.07	-2	-31.47
生态功能 Ecological function	WC	269.73	242.77	229.06	-26.96	-13.71	-40.67	-10	-5.65	-15.08
	BI	13.83	6.68	7.2	-7.15	0.52	-6.63	-51.7	7.78	-47.94
	AP	-26.81	-27.35	-25.27	0.53	2.07	1.54	1.99	-7.58	-6.5
社会功能 Social function	SS	153.51	100.93	105.17	-52.58	4.24	-48.34	-34.25	4.2	-31.49
文化功能 Cultural function	CL	8.52	18.76	28.77	10.24	10.01	20.25	120.19	53.36	237.68
总计 Total		848.31	702.68	701.74	-145.63	-0.94	-139.94	-17.17	0.13	-17.28
地均价值 Value per hectare/ (万元·hm <sup>-2</sup> )		31 206.44	29 432.46	32 060.48	-1 773.97	2 628.01	854.04	-5.68	8.93	2.74

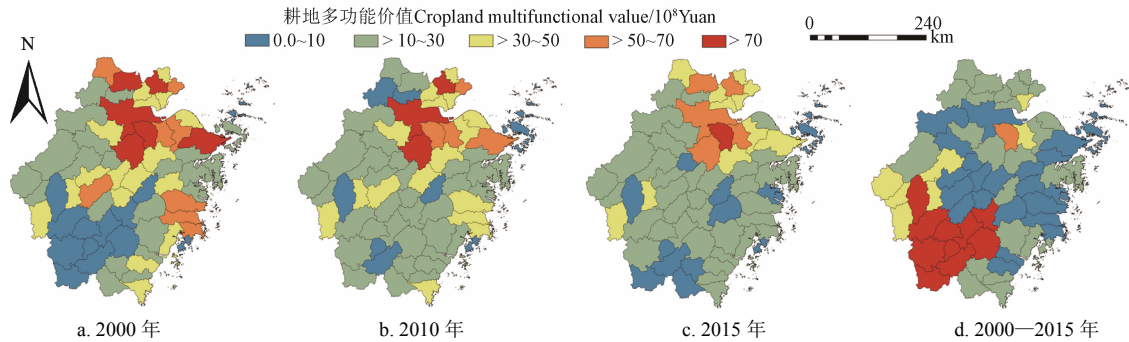


图 2 2000—2015 年浙江省各市县耕地多功能价值时空分布  
Fig.2 Spatial-temporal distribution of cropland multifunctional value in counties of Zhejiang Province during 2000-2015

表 3 浙江省 2000 和 2015 年耕地多功能相关关系

Table 3 Relationship of cropland multifunctional value of Zhejiang Province in 2000 and 2015

年份 Year	生产-生态 功能 Production and ecological function	生产-社会 功能 Production and social function	生产-文化 功能 Production and cultural function	生态-社会 功能 Ecological and social function	生态-文化 功能 Ecological and cultural function	社会-文化 功能 Social and cultural function
2000	0.889**	0.726**	0.656**	0.807**	0.717**	0.870**
2015	0.766**	0.572**	0.889**	0.581**	0.827**	0.548**

为进一步探讨浙江省耕地不同功能在空间上的权衡-协同关系,基于 GeoDa 软件对 4 类主要功能进行双变量空间自相关分析,结果如图 3、图 4 所示。浙江省耕地 4 类功能之间的全局 Moran’s I 指数均为正值,且都通过了 1% 的显著性水平检验,说明耕地 4 类功能之间均存在空间协同关系,与表 3 结论一致。在空间分布上,4 类耕地功能两两之间的权衡-协同关系空间分布格局类似,均呈现出显著的空间异质性。具体而言,各类功能的高值协同区主要集中在浙北地区杭州市区、绍兴部分县市以及慈溪市等,低值协同区主要集中在浙西南地区丽水市

及衢州部分县市;低-高值权衡区和高-低值权衡区分别集中在高值协同区和低值协同区周边。随着城镇化的推进,2000—2015 年浙江省耕地 4 类功能之间的空间权衡-协同关系逐渐减弱。其中,生产与生态功能、生产与文化功能、生态与文化功能的高值协同区和 2 类权衡区域减少。生产与社会、生态与社会、社会与文化功能的空间协同关系减弱,表现为高值协同区减少、低-高值权衡区增加。

2.3 浙江省耕地多功能价值变化影响因素

将浙江省 2000、2010 和 2015 年各县市所选取的社会经济指标以及地均耕地多功能价值,根据式 (12) 取其对数,运用逐步回归方法进行线性回归分析。在比较多个线性回归模型结果后,选取最优线性回归方程,表达式为

$$\ln E=9.322-1.81\ln R_1+1.651\ln R_2-0.135\ln T$$

模型  $R^2$  为 0.648,且通过了显著性检验,说明该模型的拟合度较好,3 个自变量  $R_1$ 、 $R_2$  和  $T$  均在 0.01 的水平下对因变量产生显著影响。这表明城镇人均可支配收入 ( $R_1$ )、农村人均可支配收入 ( $R_2$ ) 以及地均农业机械总动力 ( $T$ ) 是引起浙江省各市县地均耕地多功能价值 ( $E$ )

空间差异的重要因素。而其他因素如农业人口 ( $P_1$ )、人均 GDP ( $A_1$ )、第二产业比重 ( $S$ ) 以及城镇化率 ( $U$ ) 对因变量影响并不显著。具体而言, 城镇人均可支配收入和地均农业机械总动力的弹性系数为负 ( $-1.810$ ,

$-0.135$ ), 表明城镇居民可支配收入或地均农业机械动力每增加 1%, 地均耕地多功能价值会相应降低 1.81%或 0.135%。农村居民可支配收入的弹性系数为正 (1.651), 说明农村居民收入的增加可有效提升耕地多功能价值。

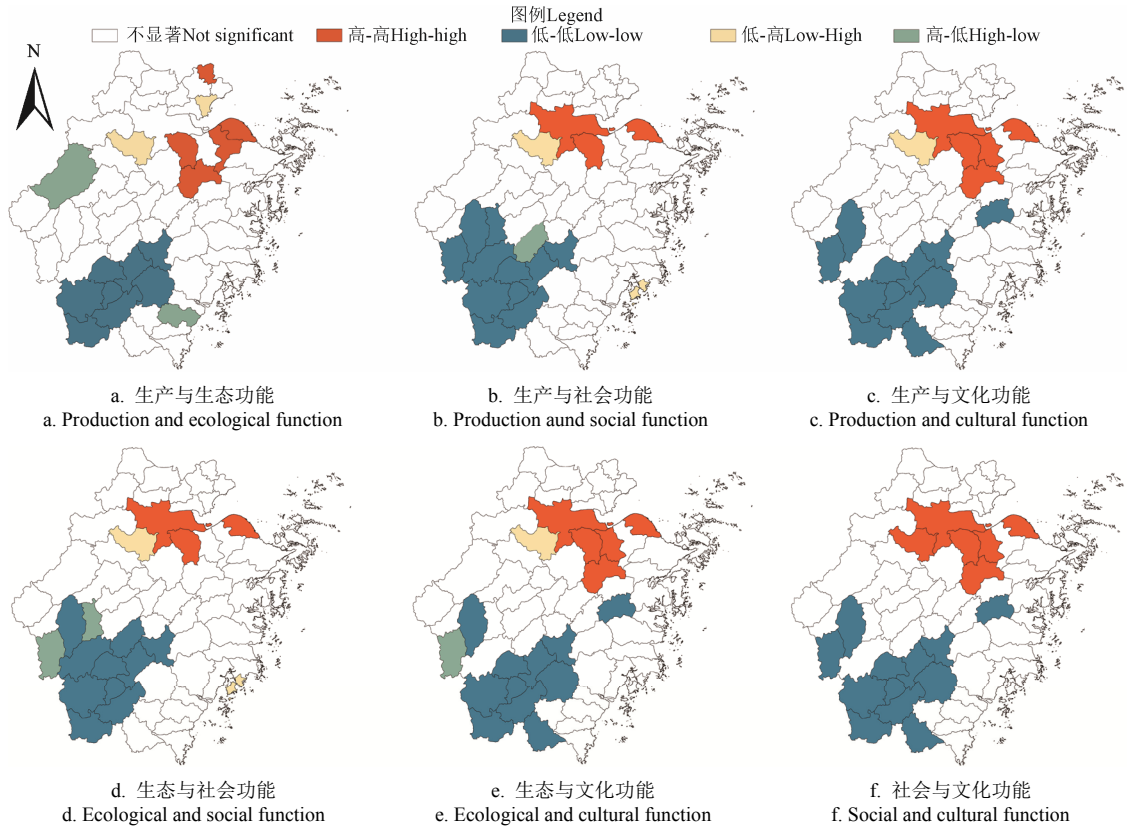


图 3 2000 年浙江省耕地 4 类功能双变量空间局部自相关集聚分布

Fig.3 Distribution of bivariate local spatial autocorrelation clusters of four cropland functions in Zhejiang Province in 2000

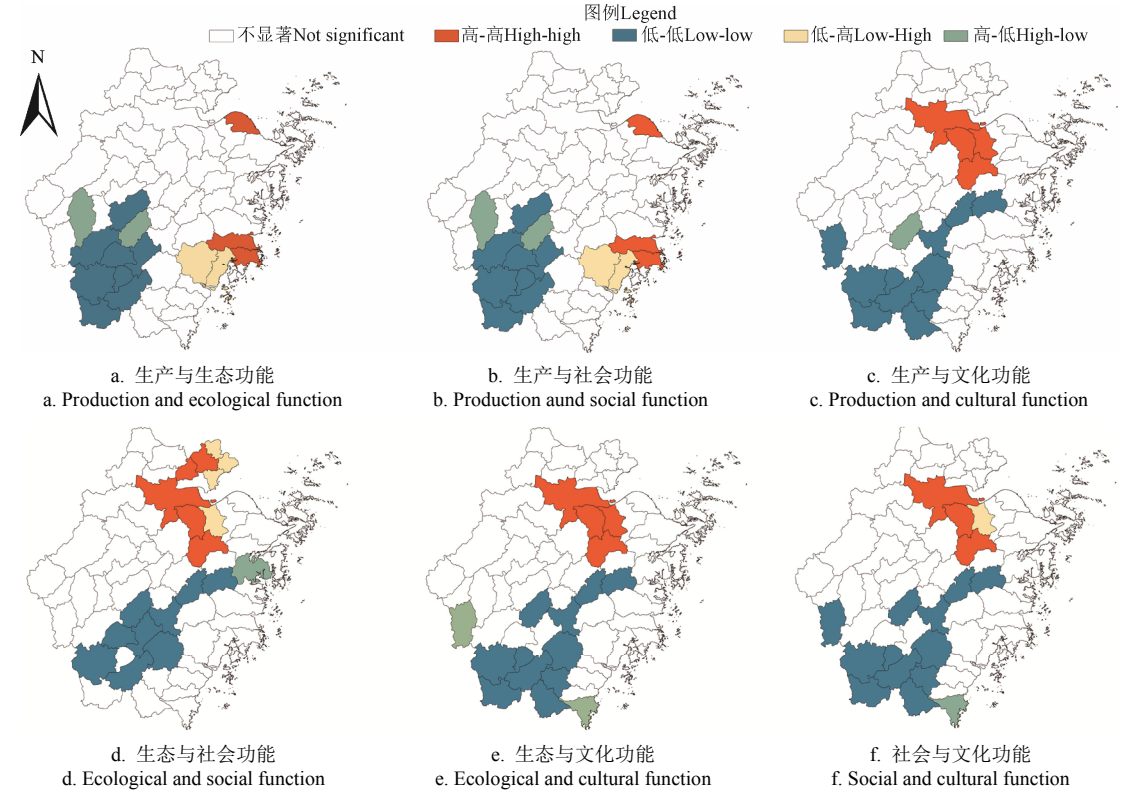


图 4 2015 年浙江省耕地 4 类功能双变量空间局部自相关集聚分布

Fig.4 Distribution of bivariate local spatial autocorrelation clusters of four cropland functions in Zhejiang Province in 2015

### 3 讨 论

快速城市化不仅降低了耕地多功能价值,也改变了耕地各功能之间的权衡-协同关系。耕地多功能的时空变化及其权衡-协同关系研究旨在实现不同区域、不同层次的耕地多功能的协同发展,在充分认识耕地多功能时空变化、交互关系及驱动机制基础上,寻求区域经济发展与耕地多功能保护之间的平衡<sup>[15]</sup>。价值量化方法是评估耕地多功能的重要手段,基于耕地多功能视角全面评估耕地资源价值可进一步丰富耕地保护补偿研究。该研究结果显示,浙江省 2000—2015 年耕地多功能总价值呈现下降趋势,这与湖南、重庆等中西部耕地资源功能价值呈上升趋势的结论有所不同<sup>[10,19]</sup>,这主要是由于中西部地区耕地利用强度不断增强,农作物播种面积不降反升。而对于快速发展的东部沿海地区而言,耕地占用、农业非粮化等现象普遍存在<sup>[37]</sup>,导致耕地多功能价值下降。然而,浙江省地均耕地多功能价值呈现出先降低后提升的趋势,表明城镇化进程中浙江省耕地多功能利用效益在逐步显现和提升。农业活动带来的耕地利用负效应不容忽视,但由于耕地负功能定量方法复杂,本研究采用的农业污染价值量化方法可能存在重复估算的不足,但其结果并不影响研究结论。未来可进一步在耕地正负功能内涵界定、定量方法优化等方面开展深入研究。

另外,本研究显示耕地多功能之间主要表现为协同关系,这种协同关系在快速城镇化过程中逐渐减弱,这与朱庆莹等<sup>[6]</sup>研究结论一致。同时,耕地不同功能的权衡-协同关系空间分异特征明显。因此,可根据不同地区耕地功能权衡-协同关系及其变化制定耕地利用和保护差异化策略。具体而言,可将耕地功能高-高值协同区划为“耕地优势功能区”,主要分布在浙北平原县市;耕地功能低-低值协同区划为“耕地全面优化区”,主要集中在浙西南山地县市;耕地功能低-高值和高-低值权衡区容易受到周边地区耕地利用的影响,可划为“耕地重点优化区”。通过加强县域间合作,采用工程修复技术改良耕地本底质量,运用经济、政策等手段优化耕地利用模式,促进耕地多功能合理利用和保护。

### 4 结 论

本研究以经济快速发展地区浙江省为例,从生产、生态、社会和文化方面选取 8 种典型功能,定量评估了 2000—2015 年浙江省耕地多功能价值,并运用相关系数法、双变量空间自相关模型以及 STIRPAT 模型揭示了耕地多功能之间的权衡-协同关系的时空格局演变及影响因素,研究结果可为经济快速发展地区划定耕地利用与保护区,促进耕地多功能协同利用和推进农业可持续发展提供科学参考。主要结论如下:

1) 2000—2015 年,浙江省耕地多功能价值呈下降趋势,地均耕地多功能价值表现出先下降后上升的趋势。其中气体调节、水源涵养和社会保障价值下降最明显,食物生产和美学景观价值有所上升。在空间分布上,耕地多功能价值较高地区主要分布在浙江北部平原和东南

沿海地区,低值区主要集中在西南山地丘陵区。2000—2015 年,浙江省大部分县市耕地多功能价值呈现不同程度的下降趋势,浙西南地区耕地多功能价值有所提升。

2) 浙江省耕地多功能之间存在显著协同关系,各项功能间的权衡-协同关系存在空间异质性。耕地各功能高值协同区分布在杭州、绍兴等县市,低值协同区集中在浙西南丽水、衢州等地,低-高和高-低值权衡区分布在协同区周边。2000—2015 年,浙江省耕地多功能协同关系逐渐减弱,在空间上主要表现为高值协同区减少。

3) 地均耕地多功能价值受到城乡居民可支配收入和农业机械化水平的显著影响。其中城镇居民可支配收入和地均农业机械总动力与地均耕地多功能价值呈显著负相关,农村居民可支配收入与地均耕地多功能价值呈显著正相关关系。

#### [参 考 文 献]

- [1] 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 difference levels and the protection of multi-functions of cultivated land[J]. China Land Science, 2011, 25(8): 42-47. (in Chinese with English abstract)
- [2] Marsden T, Sonnino R. Rural development and the regional state: Denying multifunctional agriculture in the UK[J]. Journal of Rural Studies, 2018, 24(4): 422-431.
- [3] 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)
- [4] OECD. Multifunctionality in agriculture: Evaluating the degree of jointness, policy implications[R]. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 2008.
- [5] 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, 29(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, 29(5): 733-743. (in Chinese with English abstract)
- [6] 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 with English abstract)
- [7] 彭建,吕慧玲,刘焱序,等. 国内外多功能景观研究进展

- 与展望[J]. 地球科学进展, 2015, 30(4): 465-476.
- Peng Jian, Lv Huiling, Liu Yanxu, et al. International research progress and perspectives on multifunctional landscape[J]. *Advances in Earth Science*, 2015, 30(4): 465-476. (in Chinese with English abstract)
- [8] De groot R S, Wilson M A, Boumans R M. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 393-408.
- [9] 陈睿山, 蔡运龙, 严祥, 等. 土地系统功能及其可持续性评价[J]. 中国土地科学, 2011, 25(1): 8-15.
- Chen Ruishan, Cai Yunlong, Yan Xiang, et al. The functions of land system and its sustainability assessment[J]. *China Land Science*, 2011, 25(1): 8-15. (in Chinese with English abstract)
- [10] 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)
- [11] Aubry C, Ramamonjisoa J, Dabat M, et al. Urban agriculture and land use in cities: An approach with the multi-functionality and sustainability concepts in the case of Antananarivo(Madagascar)[J]. *Land Use Policy*. 2012, 29: 429-439.
- [12] Van der Ploeg J D, Laurent C, Blondeau F, et al. Farm diversity, classification schemes and multifunctionality[J]. *Journal of Environmental Management*. 2009, 90: 124-131.
- [13] 范业婷, 金晓斌, 项晓敏, 等. 苏南地区耕地多功能评价与空间特征分析[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 980-992.
- Fan Yeting, Jin Xiaobin, Xiang Xiaomin, et al. Evaluation and spatial characteristics of arable land multifunction in southern Jiangsu[J]. *Resources Science*, 2018, 40(5): 980-992. (in Chinese with English abstract)
- [14] 辛芸娜, 孔祥斌, 郅文聚. 北京大都市边缘区耕地多功能评价指标体系构建: 以大兴区为例[J]. 中国土地科学, 2017, 31(8): 77-87.
- Xin Yunna, Kong Xiangbin, Yun Wenju. Design and application of multi-functional evaluation index system for cultivated land in metropolitan fringe of Beijing: A case study in Daxing District[J]. *China Land Science*, 2017, 31(8): 77-87. (in Chinese with English abstract)
- [15] 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)
- [16] 何青泽, 谢德体, 王三, 等. 重庆市北碚区耕地多功能评价及时空演变分析[J]. 西南大学学报, 2020, 42(1): 79-87.
- He Qingze, Xie Deti, Wang San, et al. Spatio-temporal evolution of cultivated land multi-function based on a fuzzy optimization model in Beibei District, Chongqing[J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2020, 42(1): 79-87. (in Chinese with English abstract)
- [17] 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 Shengyang City[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(5): 166-173. (in Chinese with English abstract)
- [18] 马凤娇, 刘金铜. 基于能值分析的农田生态系统服务评估: 以河北省栾城县为例[J]. 资源科学, 2014, 36(9): 1949-1957.
- Ma Fengjiao, Liu Jintong. Agricultural ecosystem services assessment based on energy analysis in Luancheng County[J]. *Resources Science*, 2014, 36(9): 1949-1957. (in Chinese with English abstract)
- [19] 孔凡靖, 陈玉成, 陈庆华, 等. 重庆市农田生态服务价值时空变化特征及其驱动因素分析[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(11): 1-12.
- Kong Fanjing, Chen Yucheng, Chen Qinghua, et al. Temporal and spatial variation and driving factors of farmland ecological service value in Chongqing[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(11): 1-12. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李广东, 邱道持, 王平. 三峡生态脆弱区耕地非市场价值评估[J]. 地理学报, 2011, 66(4): 562-575.
- Li Guangdong, Qiu Daochi, Wang Ping. Assessing non-market value of cultivated land in ecologically fragile areas of Three Gorges Reservoir[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(4): 562-575. (in Chinese with English abstract)
- [21] 元媛, 刘金铜, 靳占忠. 栾城县农田生态系统服务功能正负效应综合评价[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2809-2814.
- Yuan Yuan, Liu Jintong, Jin Zhanzhong. An integrated assessment of positive and negative effects of high-yielding cropland ecosystem services in Luancheng County, Hebei Province of North China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(12): 2809-2814. (in Chinese with English abstract)
- [22] Swallow B M, Shang J K, Nyabenge M, et al. Tradeoffs, synergies and traps among ecosystem services in the Lake Victoria basin of East Africa[J]. *Environmental Science & Policy*, 2009, 12(4): 504-519.
- [23] 郝梦雅, 任志远, 孙艺杰, 等. 关中盆地生态系统服务的



- 权衡与协同关系动态分析[J]. 地理研究, 2017, 36(3): 592-602.
- Hao Mengya, Ren Zhiyuan, Sun Yijie, et al. The dynamic analysis of trade-off and synergy of ecosystem services in the Guanzhong Basin[J]. Geographical Research, 2017, 36(3): 592-602. (in Chinese with English abstract)
- [24] 郑德凤, 郝帅, 吕乐婷, 等. 三江源国家公园生态系统服务时空变化及权衡-协同关系[J]. 地理研究, 2020, 39(1): 64-78.
- Zheng Defeng, Hao Shuai, Lv Leting, et al. Spatial-temporal change and trade-off/synergy relationships among multiple ecosystem services in Three-River-Source National Park[J]. Geographical Research, 2020, 39(1): 64-78. (in Chinese with English abstract)
- [25] 潘竞虎, 李真. 干旱内陆河流域生态系统服务空间权衡与协同作用分析[J]. 农业工程学报, 2017, 33(7): 280-289.
- Pan Jinghu, Li Zhen. Analysis on trade-offs and synergies of ecosystem services in arid inland river basin[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(7): 280-289. (in Chinese with English abstract)
- [26] 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[J]. 中国土地科学, 2018, 32(11): 57-64.
- Fang Ying, Wang Jing, Kong Xuesong. 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 with English abstract)
- [27] 陈占明, 吴施美, 马文博, 等. 中国地级以上城市二氧化碳排放的影响因素分析: 基于扩展的 STIRPAT 模型[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(10): 45-54.
- Chen Zhanming, Wu Shimei, Ma Wenbo, et al. Driving forces of carbon dioxide emission for China's cities: Empirical analysis based on extended STIRPAT Model[J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(10): 45-54. (in Chinese with English abstract)
- [28] 李武艳, 朱从谋, 王华, 等. 浙江省耕地质量多尺度空间自相关分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(23): 239-245.
- Li Wuyan, Zhu Congmou, Wang Hua, et al. Multi-scale spatial autocorrelation analysis of cultivated land quality in Zhejiang province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(23): 239-245. (in Chinese with English abstract)
- [29] 李景刚, 欧名豪, 张效军, 等. 耕地资源价值重建及其货币化评价: 以青岛市为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(11): 1870-1880.
- Li Jinggang, Ou Minghao, Zhang Xiaojun, et al. Reconstruction of cultivated land resources value system and its evaluation: A case study of Qingdao[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(11): 1870-1880. (in Chinese with English abstract)
- [30] 岳东霞, 杜军, 巩杰, 等. 民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2567-2575.
- Yue Dongxia, Du Jun, Gong Jie, et al. Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(9): 2567-2575. (in Chinese with English abstract)
- [31] Yu M, Yang Y J, Chen F, et al. Response of agricultural multifunctionality to farmland loss under rapidly urbanizing processes in Yangtze River Delta, China[J]. Science of the Total Environment, 2019, 666: 1-11.
- [32] 谢高地, 张彩霞, 张雷明. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
- Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Leiming. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1243-1254. (in Chinese with English abstract)
- [33] 邹月, 周忠学. 西安市景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2629-2639.
- Zou Yue, Zhou Zhongxue. Impact of landscape pattern change on ecosystem service value of Xi'an City, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(8): 2629-2639. (in Chinese with English abstract)
- [34] 邓明君, 邓俊杰, 刘佳宇. 中国粮食作物化肥施用的碳排放时空演变与减排潜力[J]. 资源科学, 2016, 38(3): 534-544.
- Deng Mingjun, Deng Junjie, Liu Jiayu. On the space-time evolution of carbon emissions and reduction potential in Chinese grain crop fertilizer application[J]. Resources Science, 2016, 38(3): 534-544. (in Chinese with English abstract)
- [35] Anselin L, Syabri I, Kho Y. GeoDa: An introduction to spatial data analysis[J]. Handbook of Applied Spatial Analysis, 2010, 38(1): 73-89.
- [36] 唐秀美, 郝星耀, 刘玉, 等. 生态系统服务价值驱动因素与空间异质性分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 336-342.
- Tang Xiumei, Hao Xingyao, Liu Yu, et al. Driving factors and spatial heterogeneity analysis of ecosystem services value[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 336-342.
- [37] Su Y, Li C, Wang K, et al. Quantifying the spatiotemporal dynamics and multi-aspect performance of non-grain production during 2000-2015 at a fine scale[J]. Ecological Indicators, 2019, 101: 410-419.

# Spatial-temporal change, trade-off and synergy relationships of cropland multifunctional value in Zhejiang Province, China

Zhu Congmou<sup>1</sup>, Li Wuyan<sup>2</sup>, Du Yingying<sup>3</sup>, Xu Hongwei<sup>1</sup>, Wang Ke<sup>1</sup>✉

(1. College of Environmental & Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Institute of Land and Urban-rural Development, Zhejiang University of Finance & Economics, Hangzhou 310018, China; 3. School of Public Administration, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Multifunctional Agriculture (MFA) management has been increasingly important for sustainable cropland utilization in recent years. The farmland loss and changing agricultural activities have posed serious impacts on the structure and functions of cropland in the rapid urbanization. Therefore, it is necessary to explore the spatial-temporal evolution characteristics, the trade-off and synergy relationships of multifunctional cropland. In this study, taking Zhejiang Province, a representative region with rapid social-economic development in China as an example, a series of widely used quantitative methods were employed to systematically evaluate cropland multifunctional value on the county scale. According to four dimensions of cropland production, ecological, social, and cultural functions, eight main functions of cropland were identified, including food production, atmosphere regulation, environmental purification, water conservation, biodiversity, agricultural pollution, social security, and cultural leisure. Spearman's rank correlation coefficient method, bivariate local spatial autocorrelation model and Stochastic Impacts by Regression on Population Affluence and Technology (STIRPAT) model were used to investigate the trade-off and synergy relationships among cropland multifunctions, and the social-economic driving factors. The data was collected from Zhejiang Statistical Yearbook (2001-2016); digital land use/cover maps for 2000, 2010 and 2015 were obtained from the Chinese Ministry of Environmental Protection; the precipitation data came from the National Meteorological Information Center; and the soil type data of Zhejiang Province was from the second soil survey database of China. The results showed that: 1) the total value of cropland multifunctionality displayed a declined trend during 2000 and 2015, while the value of cropland multifunctionality per hectare decreased first and then gradually increased. The value of atmospheric regulation, water conservation and social security decreased significantly. Meanwhile, the value of food production remained constant, whereas, the value of cultural leisure increased rapidly. The total value of cropland multifunctionality showed different spatial characteristics, indicating high values in the north, but low in the south of Zhejiang Province. In the counties, Hangzhou City showed the highest value, while the lowest value was in Shengsi County. The cropland multifunctional value decreased in many counties to some degree, but the value increased dramatically in the southwest mountainous areas. 2) Synergy relationships were dominant among cropland multifunction, showing spatial heterogeneity. The high-high synergy areas were distributed in Hangzhou and Shaoxing cities, while the low-low synergy areas were clustered in Lishui and Quzhou cities in southwestern Zhejiang Province, where the low-high and high-low trade-off areas were distributed around the synergy areas. During 2000 and 2015, synergy relationships among cropland multifunctions totally weakened, as the decrease in the number of high-high synergy areas. 3) Social-economic system was proved to be related closely with cropland multifunctional value. Specifically, the disposable income of urban residents and the total power of agricultural machinery have negative impacts on the multifunctional value of cropland per hectare. The increase in the disposable income of rural residents can be conducive to promote the multifunctional value of cropland per hectare. It infers that the food production of cropland can be balanced with other functions, including ecological, social, and cultural functions, in order to develop multifunctional agriculture, and further to maximize the human welfare that provided by cropland production system. The findings can provide an important decision-making support to delimit cropland use and protection zone, and further to promote the overall coordinated utilization of multifunctional cropland.

**Keywords:** land use; models; cropland; trade-off; synergy; multi-function; Zhejiang Province