

# 江苏省耕地多功能时空动态分析及对 耕地数量变化响应研究

许多艺 濮励杰 黄思华 聂名萱 郟璐 朱明<sup>1</sup>

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210023;

2. 自然资源部海岸带开发与保护重点实验室, 江苏 南京 210023)

**【摘要】:** 耕地资源的日益紧缺推动着耕地功能的深刻变化。以江苏省 63 个县域为研究单元, 从生产、生态、景观、社会 4 个维度构建耕地多功能评价指标体系, 利用耕地指数及敏感度分析模型, 研究 2000~2018 年耕地各项功能的时空演变规律及其对耕地数量变化的敏感程度。结果表明: (1) 江苏省耕地生产功能上升, 空间上北高南低且苏北高值区不断向南扩散。生态功能下降, 苏中地区功能高, 且苏中、苏北局部地区因农用技术改良, 功能由下降逐渐转为上升。景观功能上升, 空间上东高西低, 东部海岸带功能高, 局部地区如苏锡常因耕地非农化现象严重, 功能由上升转为下降。社会功能下降, 空间上北高南低但苏北高值区不断萎缩。(2) 江苏省耕地面积总体下降, 自北往南耕地下降程度逐渐加剧。耕地相对稀疏区主要分布在苏南, 集聚区主要分布在苏中、苏北, 东部沿海地带最为集聚。(3) 对比 2000~2010 和 2010~2018 年两个时期, 生产功能敏感性下降, 敏感区缩至东部沿海三县; 生态功能敏感性下降, 敏感区缩至苏南地区, 均与农业技术推进及耕地集约利用相关。景观功能敏感性上升, 敏感区扩散至苏南及东部沿海地区; 社会功能敏感性上升, 敏感区逐渐遍布全省, 均对耕地数量变化愈加敏感。

**【关键词】:** 耕地多功能 耕地数量变化 敏感度分析 时空演变 江苏省

**【中图分类号】:** F323.211 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)03-0575-13

耕地作为重要的土地资源, 是人类赖以生存的物质基础。耕地的首要功能是粮食生产<sup>[1]</sup>, 随着经济社会发展以及居民生活方式、消费结构的转型升级, 耕地利用方式逐渐多样。耕地功能拓展至农业经济、社会稳定、景观管理、生态安全保护等领域, 由单一功能向多功能转变<sup>[2]</sup>。2019 年中国耕地共 1.3487 亿  $\text{hm}^2$ , 为全国提供粮食达 6.64 亿 t, 同时保障了 5.64 亿乡村人口的生活, 贡献约 6% 的生态系统服务价值, 体现耕地利用的多功能<sup>[3]</sup>。

国外的多功能研究起源于农业领域<sup>[4,5]</sup>。2001 年经济合作与发展组织将农业多功能定义为农业具有食物生产、景观维持、生态保护、乡村就业保障等功能<sup>[6]</sup>。随着理论不断发展, 多功能研究从农业逐渐扩展至生态评估<sup>[7,8]</sup>、景观管理<sup>[9,10]</sup>、土地利用变化<sup>[11]</sup>等领域, 并延伸出景观多功能、土地多功能等概念<sup>[12]</sup>。耕地作为最主要的土地利用类型, 耕地多功能概念逐渐得到重视<sup>[13]</sup>, 研究内容包含多功能分类体系构建<sup>[14]</sup>、功能影响因素<sup>[15]</sup>、以及从农场角度探讨多功能的实际应用<sup>[16]</sup>。国内学者于 20 世纪 80 年代末开始对耕地多功能展开研究<sup>[13]</sup>, 大多数学者认可耕地多功能可细化为经济产出、社会保障、农作物供给<sup>[17]</sup>, 同时还有学者从

**作者简介:** 许多艺(1998~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为土地利用与规划。E-mail: duoyixu@smail.nju.edu.cn; 濮励杰 E-mail: ljpu@nju.edu.cn

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41871083)

生态服务、景观文化、空间承载储备等类别对耕地功能进行划分<sup>[17,18,19]</sup>。研究内容围绕功能评价及时空演变<sup>[19,20]</sup>、功能间相互作用<sup>[21,22]</sup>、功能转型<sup>[23]</sup>、社会经济等因素耦合分析<sup>[24]</sup>、功能分区及管理措施<sup>[25]</sup>等,研究尺度涵盖国家<sup>[25]</sup>、区域<sup>[4]</sup>、省级<sup>[20]</sup>、县域<sup>[21]</sup>等多层次。

我国正处在快速城镇化发展阶段,耕地非农化现象愈加严重<sup>[12]</sup>。为适应新时期社会经济发展的需要,耕地利用亟需由单纯数量型向质量型和功能型转变<sup>[2]</sup>。现已有学者就耕地粮食生产与耕地数量变化关系进行讨论<sup>[26,27,28]</sup>,然而多功能性作为耕地的重要属性,全面探讨耕地各项功能与耕地数量变化的依存关系显得尤为必要。敏感度分析模型作为测算粮食生产对耕地数量变化依赖程度的方法,多运用在国家层面<sup>[29,30]</sup>,省域范围的研究较为薄弱<sup>[28]</sup>。本文将之引入耕地多功能研究,分析该模型在耕地功能领域的适用性,同时探讨耕地不同功能对耕地数量变化的响应程度。

江苏省作为东部沿海的经济大省与农业大省,具备发展耕地多功能的先行条件。但随着城市化和工业化进程不断加快,江苏省优质耕地大幅流失、生态风险程度增大<sup>[31]</sup>。经济发达地区作为耕地资源相对稀缺区,更应充分发挥耕地多功能性,优化土地资源配<sup>[19]</sup>。鉴于此,本文构建江苏省耕地多功能评价指标体系,量化 2000~2018 年江苏省县域尺度下耕地各项功能,分析其时空演变规律。同时结合耕地数量时空变化趋势,运用敏感度分析模型探究耕地各项功能对耕地数量变化的敏感程度,对优化江苏省耕地多功能配置、区域协调发展具有现实意义。

# 1 研究区概况与数据来源

## 1.1 研究区概况

江苏省位于我国东部沿海,地处长江三角洲平原,介于 116° 18' E~121° 57' E,30° 45' N~35° 20' N 之间。全省地势平坦,湖泊众多,属于东亚季风气候区,四季分明,雨量充沛,具有较为优越的耕地利用自然条件,是我国重要的农业区。现辖苏南(南京、苏州、无锡、常州、镇江)、苏中(扬州、泰州、南通)、苏北(徐州、淮安、盐城、连云港、宿迁)三大区域 13 市。随工业化和城镇化进程不断加快,区域内逐渐面临耕地细碎化及不均衡发展等问题,2018 年江苏省耕地面积为 622.82×10<sup>4</sup>hm<sup>2</sup>,与 2000 相比下降率达 10.37%,耕地非农化现象日趋严重,耕地保护压力不断加大。

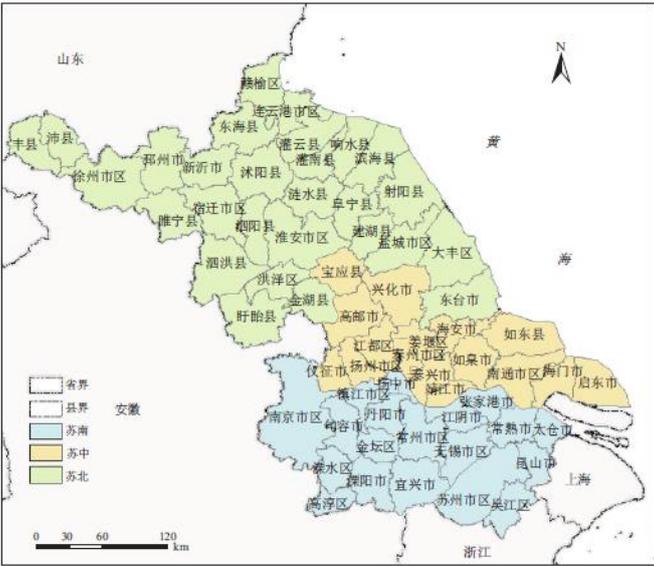


图 1 江苏省地理位置图

## 1.2 数据来源

本文以 2018 年江苏省县级行政区划为基础, 因省内各地级市的市辖区面积较小, 将其合并为市区作为一个单元, 所辖其他县市单独分析, 据此得到 63 个县级行政单元(图 1)。各研究单元的耕地面积、水田面积、行政区划面积数据均来源于资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>)。2000、2010、2018 年粮食产量、农业总产值、地区生产总值、农作物播种面积、化肥施用折纯量、常住人口、城镇人口、农村人均家庭经营纯收入、农村人均纯收入、城镇人均可支配收入、农业、从业人数、农业机械总动力均来源于 2001、2011、2019 年《江苏省统计年鉴》、各市县年鉴及统计年鉴, 其中 2000 与 2010 年的常住人口与城镇人口分别来源于第 5 次与第 6 次人口普查数据。耕地的形状指数与聚集度指数通过 Fragstats4.2 软件计算得到。生态功能指标中采用的化肥施用安全标准采用国际化肥施用安全标准上限  $225\text{kg}/\text{hm}^2$ <sup>[4]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 耕地多功能指标体系构建

不同时期与地区的学者根据区域发展目标的多元性、社会需求的多样性及土地利用的适宜性等, 对耕地多功能有着不同的划分<sup>[12, 17, 18, 19]</sup>, 但总体可总结为生产功能、生态功能、景观功能、社会功能四大类。本文结合江苏省地域特点, 在此四类的划分基础上, 根据专家意见与数据可获取性构建了包括 4 个一级指标、14 个二级指标在内的耕地多功能评价指标体系。

#### 2.1.1 生产功能

生产功能指耕地具有生产粮食作物与油料、蔬菜等经济作物的商品性产出功能<sup>[25]</sup>。该功能是耕地的基本功能<sup>[18]</sup>, 表现为耕地在生产农产品的同时也为农户家庭提供经济收入, 促进国民经济发展<sup>[24]</sup>。江苏省作为重要的粮食生产基地, 2018 年江苏粮食产量为  $3785 \times 10^4\text{t}$ , 位居全国第六, 选取单位耕地面积粮食产量表示耕地粮食生产水平。现阶段江苏省大力发展现代农业, 全省农业增加值达 2673.34 亿元, 均位居全国前列, 农业经济创收能力强。选取单位耕地面积农业总产值、农业总产值占地区生产总值的比重表示耕地的经济产出, 以上三项指标可综合表达耕地在相应自然及生产要素投入下的产出水平。

#### 2.1.2 生态功能

耕地具有保持水土、调节气候、维持生物多样性的生态功能<sup>[19]</sup>, 承载着人们对环境施加的压力<sup>[32]</sup>, 在维护农田生态系统平衡与土壤健康上有着重要作用<sup>[20]</sup>。研究表明水田面积比重大, 生物多样性较高, 其生态安全维持功能越强<sup>[2]</sup>。2018 年江苏省水田占比为 57.88%, 达全省耕地面积的一半以上, 选取水田占耕地面积比重表现耕地类型生态优势度。选取农田生态系统多样性指数, 利用江苏省主要粮食作物小麦、稻谷、玉米、大豆、薯类和主要经济作物油料、棉花的不同农作物播种面积比重进行公式计算, 指数越高说明农作物品种越丰富且生态功能越强<sup>[2]</sup>。考虑到农业化肥施用及人口承载对耕地生态环境造成的生态压力, 选取耕地化学品负荷与单位耕地面积承载人口数量作为逆向指标, 其中化肥施用安全标准采用国际化肥施用安全标准上限  $225\text{kg}/\text{hm}^2$ <sup>[24]</sup>。2018 年, 江苏省以全国 1% 的土地养活 5.8% 的人口, 化肥施用强度为  $442\text{kg}/\text{hm}^2$ , 远超国际化肥安全使用上限, 频繁的人类活动以及化肥的过度施用威胁着农业的可持续发展<sup>[33]</sup>。

#### 2.1.3 景观功能

景观功能表现为耕地作为景观文化载体, 提供耕作风景、农事教育、农业休闲娱乐的服务功能<sup>[34, 35]</sup>, 受耕地供给能力与城镇居民需求的双向影响<sup>[32]</sup>。从供给方面讲, 通常认为有一定地形起伏度的, 集中连片的耕地景观更具美学价值<sup>[36]</sup>。江苏省农区耕地起伏较小, 区域间差异不大, 故本文未考虑耕地起伏性, 而从集中连片的角度选取形状指数(Shape Index)<sup>[21]</sup>及聚集度指数(Aggregation Index)<sup>[37]</sup>。聚集度指数反映耕地的聚集程度, 形状指数反映耕地形状变化的复杂程度, 均利用 Fragstats4.2 运算

得出。从需求方面讲,耕地景观对具有较强支付意愿与欣赏能力的城镇居民更具吸引力<sup>[24,38]</sup>。江苏省城镇化水平居全国前列,观光休闲农业模式发展成熟,城镇游客对乡村旅游体验具有较高需求<sup>[39]</sup>,选取城镇化水平表示景观功能需求水平,以城镇人口占常住人口的比重表示。

#### 2.1.4 社会功能

耕地的社会功能包括提供农民生活及就业保障的功能<sup>[25]</sup>。生活保障表现为耕地保障农民基本生活的能力,选取农村人均家庭经营纯收入比例反映耕地为农村家庭提供经济收入的能力。考虑到江苏省不同区域间经济发展水平存在差异,城乡收入不平等,选取收入公平指数,以农村人均纯收入与城镇人均可支配收入的比值表示耕地维护社会稳定的功能<sup>[40]</sup>。就业保障指耕地承载农村剩余劳动力的能力<sup>[41]</sup>。选取单位耕地面积农业从业人数直观表征农民对耕地的就业依赖程度。考虑到江苏省农业现代化水平全国领先,选取农业机械化水平用于衡量农业机械对劳动力的替代能力。

### 2.2 耕地多功能指标计算

#### 2.2.1 指标归一化处理

为消除各项指标量纲差异,采用极差标准化法对各二级指标的原始数据进行归一化处理,取值范围[0,1],并根据指标对目标影响的性质差异将其划分为“正向型”与“负向型”两类。“正向型”指标表示值越大,越接近理想值;“负向型”指标表示值越大,越偏离理想值。

$$\text{正向型指标: } x_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{负向型指标: } x_i = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

式中:  $X_i$  为第  $i$  项二级指标原始值;  $X_{\min}$  为指标最小值;  $X_{\max}$  为指标最大值;  $x_i$  为第  $i$  项二级指标归一化后的指标值。

#### 2.2.2 熵权法

熵权法通过度量差异信息的离散程度对指标进行赋权。指标值离散程度越大,对应的指标权重越大。研究通过熵权法初步确定各指标权重,再以邮件形式匿名收集了10位相关领域专家的反馈意见进而确定最终权重(表1)。熵权法计算公式如下:

$$r_i = x_i / \sum x_i \quad (3)$$

$$e_i = -\frac{1}{\ln m} \sum r_i \ln r_i \quad (4)$$

表1 耕地多功能评价指标体系

功能	指标	内涵	单位	属	权重
----	----	----	----	---	----

				性	
生产功能	单位耕地面积粮食产量	粮食产量/耕地面积	kg/hm <sup>2</sup>	+	0.0936
	单位耕地面积农业总产值	农业总产值/耕地面积	元/hm <sup>2</sup>	+	0.0943
	农业总产值比重	农业总产值/地区生产总值	%	+	0.0595
生态功能	农田生态系统多样性指数	$-\sum b_i \ln(b_i)$ , $b_i$ 为各品种作物播种面积与农作物总播种面积之比	-	+	0.1108
	耕地类型生态优势度	水田面积/耕地总面积	%	+	0.0673
	耕地化学品负荷	化肥施用安全标准/(化肥施用折纯量/耕地面积)	-	-	0.0977
	单位耕地面积承载人口数	常住人口//耕地面积	人/hm <sup>2</sup>	-	0.0879
景观功能	聚集度指数	-	-	+	0.0422
	形状指数	-	-	-	0.0378
	城镇化水平	城镇人口/常住人口	%	+	0.0924
社会功能	农村人均家庭经营纯收入比例	农村人均家庭经营纯收入/农村人均纯收入	%	+	0.0593
	单位耕地面积农业从业人数	农业从业人数/耕地面积	人/hm <sup>2</sup>	+	0.0315
	农业机械化水平	农业机械总动力/农业从业人数	kW·h/10 <sup>4</sup> 人	-	0.0625
	收入公平指数	农村人均纯收入/城镇人均可支配收入	%	+	0.0632

$$g_i = 1 - e_i \quad (5)$$

$$w_i = g_i / \sum g_i \quad (6)$$

式中： $w_i$  为指标熵权； $g_i$  为第  $i$  项指标的差异系数； $e_i$  为第  $i$  项指标的熵值； $m$  为评价单元总数。

### 2.2.3 耕地功能分值计算

根据各指标归一化处理结果与其相对应的权重，利用加权求和方法计算各耕地功能值，计算公式如下：

$$F_k = \sum_{i=1}^n w_i \times x_i \quad (7)$$

式中： $F_k$ 为第  $k$  项一级指标的功能值； $w_i$  与  $x_i$  分别为第  $i$  项二级指标的权重及归一化后的指标值； $n$  为各项功能中二级指标数量； $F_k$  处于 0~1 之间，值越大，代表其相应功能越强。

### 2.3 耕地指数

由于各县(市)行政区划面积大小不一，为更准确表达耕地集聚稀疏程度与空间分布特征，文章构建耕地指数，即各县(市)耕地面积与行政区划面积的比值，其计算公式如下：

$$R_j = L_j / S_j \times 100\% \quad (8)$$

式中： $R_j$ 表示第  $j$  个县(市)的耕地指数； $L_j$ 表示第  $j$  个县(市)的耕地面积； $S_j$ 表示第  $j$  个县(市)的行政区划面积。

### 2.4 敏感度分析模型

为了分析耕地各项功能对耕地数量变化的响应程度，本文引用刘彦随等<sup>[29]</sup>构建的敏感度分析模型，并在此基础上进行调整，将耕地功能对耕地变化的敏感性定义为研究时段内耕地功能变化率与耕地面积变化率的比值：

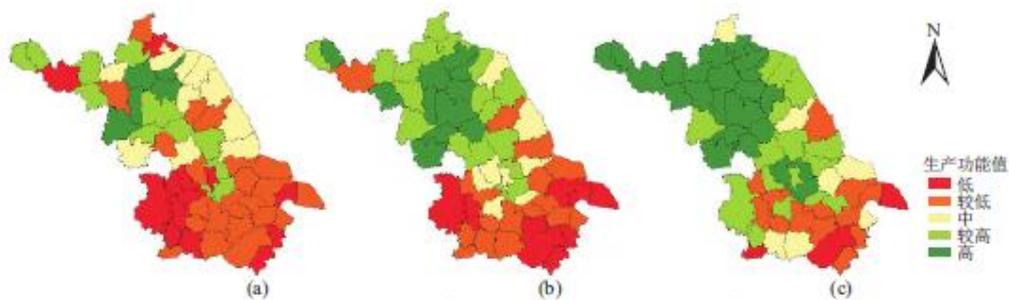
$$\beta_f = [(F_{t+1} - F_t) / F_t] / [(L_{t+1} - L_t) / L_t] \quad (9)$$

式中： $\beta_f$ 为某县(市)耕地多功能对耕地数量变化的敏感性程度，分别用  $\beta_{prod}$ ,  $\beta_{ecol}$ ,  $\beta_{land}$ ,  $\beta_{soci}$  来表示耕地生产功能、生态功能、景观功能、社会功能的敏感度系数； $F_t$ 和  $F_{t+1}$ 分别为某一时间段内该县(市)基期和末期的耕地功能值， $L_t$ 和  $L_{t+1}$ 分别为该县(市)基期和末期的耕地面积。若  $\beta < 0$ ，表明耕地功能与耕地面积成反向变化，耕地功能对耕地面积变化不敏感；若  $\beta > 0$ ，说明耕地功能与耕地面积同向变化，耕地功能对耕地面积增减变化敏感，且  $\beta$  值越大，敏感性程度越强。根据已有研究，各功能统一按照  $\beta_f \leq 0$ 、 $0 < \beta_f \leq 5$ 、 $5 < \beta_f \leq 10$ 、 $\beta_f > 10$ ，划分为无敏感性、低度敏感性、中度敏感性和高度敏感性 4 个级别<sup>[28,29,30]</sup>(表 1)。

## 3 结果分析

### 3.1 江苏省耕地多功能时空演变特征

为便于不同年份的横向对比，本文结合已有文献，统一以 0.2 为间隔对不同类别的功能分别定量分级，从小到大划分为 5 个等级，分别为：低、较低、中、较高和高<sup>[42]</sup>，结果如图 2。



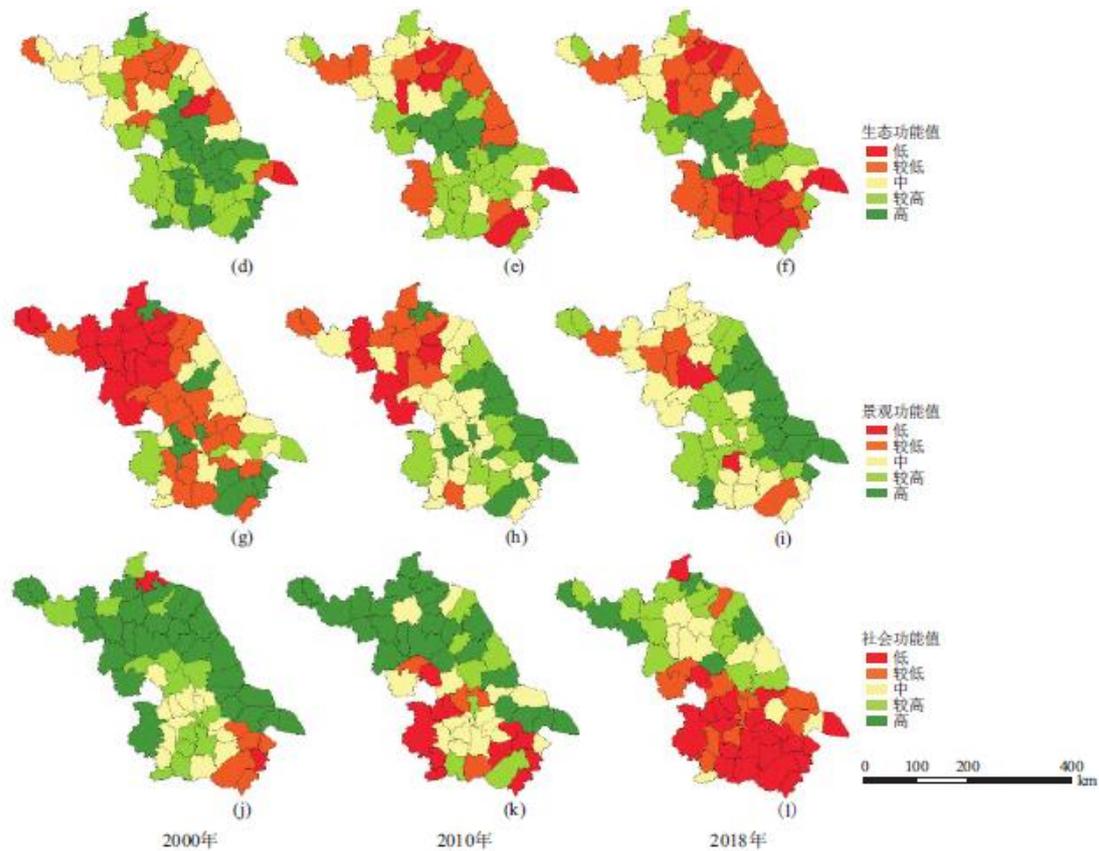


图 2 2000~2018 年江苏省耕地多功能时空演变

2000~2018 年间,生产功能明显上升。高值区与较高值区占比增加,从 26.9%增至 63.49%,其中高值区占比变化最大,增幅为 31.7%;其他等级占比均下降,较低值区与低值区降幅最大,均为 15.8%。在空间上,生产功能呈北高南低势,高值区与较高值区集中在苏北地区,且表现出扩张趋势;中值区由苏北逐渐转移至苏南地区县(市);较低值区与低值区等主要分布在苏南地区,且逐渐缩减至苏锡常等高度城市化地区。

2000~2018 年间,生态功能有所下降。高值区与较高值区占比减少,其中高值区降幅最大,达 20.63%;其他等级占比均有提升,低值区占比增幅最大,达 19.05%。在空间上,生态功能由“南高北低”转变为“南北低,中间高”的格局特征,高值区逐渐向苏中收缩;低值区与较低值区扩散至苏北、苏南县(市),全省耕地功能呈衰退趋势。但 2010~2018 年,苏北与苏中地区耕地下降趋势缓解,涟水县、仪征市、姜堰区功能上升较为明显,而苏南地区功能下降相对严重,导致低值区聚集。

2000~2018 年间,景观功能提升显著。高值区与较高值区占比增加,增幅共达 33.33%;较低值区与低值区占比均下降,低值区数量降至 2 个,降幅达 22.22%。在空间上,景观功能呈东高西低势,高值区由太湖流域转移至东部沿海地带,并沿南北方向逐渐扩散;较高值区由苏南蔓延至苏中及苏北部分地区;较低值区与低值区主要分布在苏北、苏中地区,后逐渐收缩至淮安、宿迁等部分县(市),全省耕地功能显著提升。但在 2010~2018 年,苏锡常等地区功能出现下降,由较高值区降为中值区,其中丹阳市、苏州市区降为低值区与较低值区。

2000~2018 年间,社会功能显著下降。高值区与较高值区占比下降,其中高值区降幅最大,达 34.92%;较低值区与低值区占比大幅上升,升幅分别为 11.11%与 33.33%。在空间上,社会功能呈北高南低势,高值区与较高值区主要从苏北、苏中地区缩至苏北地区;中值区由苏南地区逐渐往苏北地区转移;较低值区与低值区由苏南逐渐扩散至苏中地区及少部分苏北县(市),其中低

值区集中分布于苏锡常地区及扬泰宁三市。

### 3.2 江苏省耕地数量时空演变特征

2000~2018年,江苏省耕地面积持续下降,共减少 $72.04 \times 10^4 \text{hm}^2$ ,下降率达10.37%(表2)。2000年起,江苏省农业结构调整导致耕地急剧减少,自2000~2010年耕地数量减少 $47.24 \times 10^4 \text{hm}^2$ ,耕地下降速度表现为苏南>苏中>苏北。2010年后政府通过约束耕地开发、加大建设用地审批难度、改进耕地占补平衡政策<sup>[43]</sup>等措施控制耕地下降趋势,2010~2018年间耕地下降数量缩减至 $24.80 \times 10^4 \text{hm}^2$ ,其中苏南地区缓解程度最为明显,下降速度由16.70%减至6.07%。全省新增耕地数量极小,2000~2018年仅增长 $1.41 \times 10^4 \text{hm}^2$ ,均分布在苏北与苏中地区,因耕地下降趋势减缓,全省耕地升降比由2000~2010年的1.63%上升至2010~2018年的2.58%,但仍与耕地下降数量差距悬殊。

表2 2000~2018年江苏省耕地数量变化

监测时段	研究区域	基期耕地 (万 hm <sup>2</sup> )	耕地减少面积 (万 hm <sup>2</sup> )	耕地面积下降率(%)	耕地增加面积 (万 hm <sup>2</sup> )	耕地面积增长率(%)	耕地增减差值 (万 hm <sup>2</sup> )	耕地升降比 【注文1】(%)
2000~ 2010	苏北	361.75	11.64	3.22	0.76	0.21	-10.88	6.53
	苏中	169.37	8.24	4.87	0.01	0.01	-8.23	0.12
	苏南	163.73	27.35	16.70	0.00	0.00	-27.35	0.00
	全省	694.86	47.24	6.80	0.77	0.11	-46.46	1.63
2010~ 2018	苏北	350.88	8.85	2.52	0.40	0.11	-8.45	4.52
	苏中	161.14	7.67	4.76	0.24	0.15	-7.43	3.13
	苏南	136.38	8.28	6.07	0.00	0.00	-8.28	0.00
	全省	648.40	24.80	3.82	0.64	0.10	-24.16	2.58
2000~ 2018	苏北	361.75	20.49	5.66	1.16	0.32	-19.33	5.66
	苏中	169.37	15.91	9.39	0.25	0.15	-15.66	1.57
	苏南	163.73	35.63	21.76	0.00	0.00	-35.63	0.00
	全省	694.86	72.04	10.37	1.41	0.20	-70.62	1.96

由于江苏省2000~2018年耕地指数平均值在60%~68%范围内波动,在已有研究的基础上,采用ArcGIS中的自然断点法并结合研究区实际情况将耕地划分为相对稀疏区( $20 < R_j \leq 45$ )、一般过渡区( $45 < R_j \leq 60$ )、相对集聚区( $60 < R_j \leq 75$ )和高度集聚区( $75 < R_j$ )<sup>[28, 44, 45]</sup>,结果如图3。

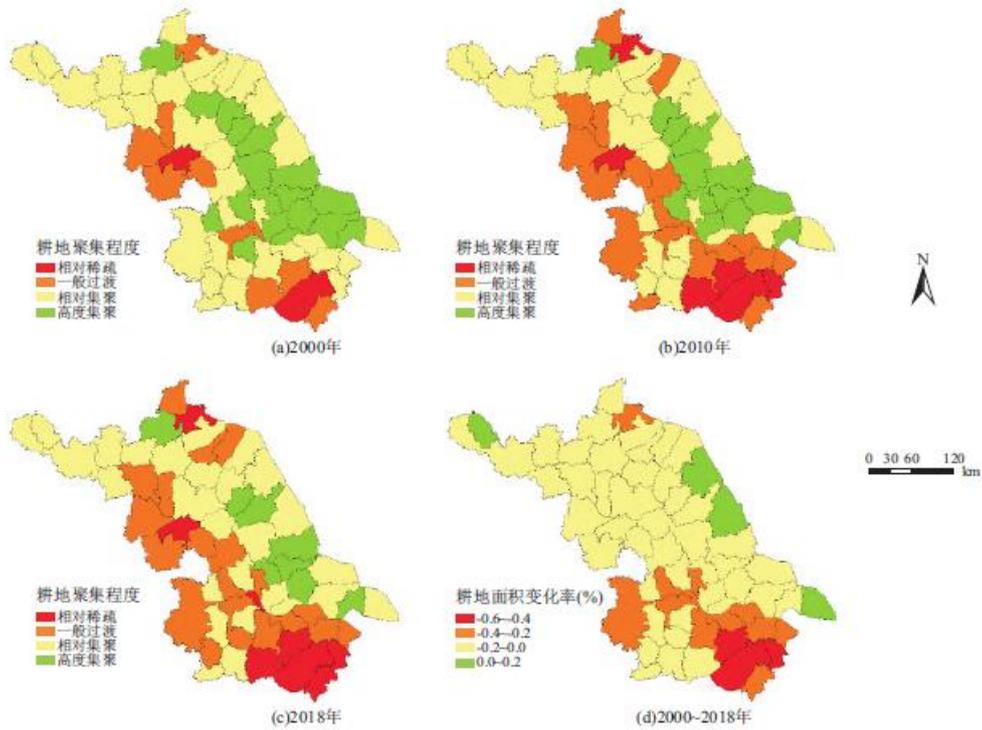


图3 2000~2018年江苏省耕地时空演变

江苏省自北往南耕地下降程度逐渐加剧,与耕地生产功能、生态功能、社会功能分布情况接近。耕地聚集程度东高西低,与景观功能分布情况接近,一定程度说明耕地变化仍是制约耕地功能变化的客观基础。总体而言,苏北及苏中地区耕地相对聚集,东部沿海地带耕地分布较集中,其中沛县、射阳、大丰及启东县耕地数量增加;苏南地区耕地相对稀疏且下降幅度更大,其中无锡、苏州耕地数量下降最为严重。具体而言,相对稀疏区主要分布在苏南地区的苏州、无锡、镇江等地,耕地保护与经济发展矛盾突出;北部连云港市区和中部洪泽县受自然影响,境内滩涂、坑塘所占比重重大,也属于相对稀疏区。一般过渡区主要由苏南、苏中的相对集聚区转化而来,2000年相对集聚区于江苏省内均匀分布,伴随经济的快速发展及建设用地扩张迅速,部分地区逐渐退化为一般过渡区,而苏北的宿迁、连云港等地受水土资源条件限制,也属于一般过渡区<sup>[28]</sup>。高度集聚区主要分布在东部的盐城、泰州、南通等地,耕地后备资源丰富,经济发展所造成耕地流失相对较少,但自2000年来高度集聚区不断缩小,逐渐向相对集聚区退化。

### 3.3 耕地多功能对耕地数量变化的敏感性分析

对比2000~2010和2010~2018年两个时期,就江苏省各县(市)耕地多功能对耕地数量变化的敏感性进行分析(图4)。其中具有敏感性的县(市)统称为敏感区,无敏感性的县(市)统称为非敏感区。

2000~2018年间,生产功能敏感性显著降低,敏感区数量由18个降至3个,在全省占比由28.57%降至0.04%,低度敏感区降幅最大,达17.4%。其中2000~2010年,敏感区主要为耕地数量下降、生产功能减少的区域,包括苏南的苏锡常地区、南通部分县(市),以及苏北部分县(市)。2010~2018年,因耕地的集约利用及资本与技术的大量投入,生产功能在耕地大幅减少的背景下仍不断上升,逐渐对耕地数量变化表现不敏感,导致敏感区逐渐缩小至东部沿海三县,其中启东市为耕地数量增加、生态功能上升的地区,对耕地数量变化高度敏感,与当地以滩涂围垦为主的耕地后备资源开发密切相关<sup>[28]</sup>。

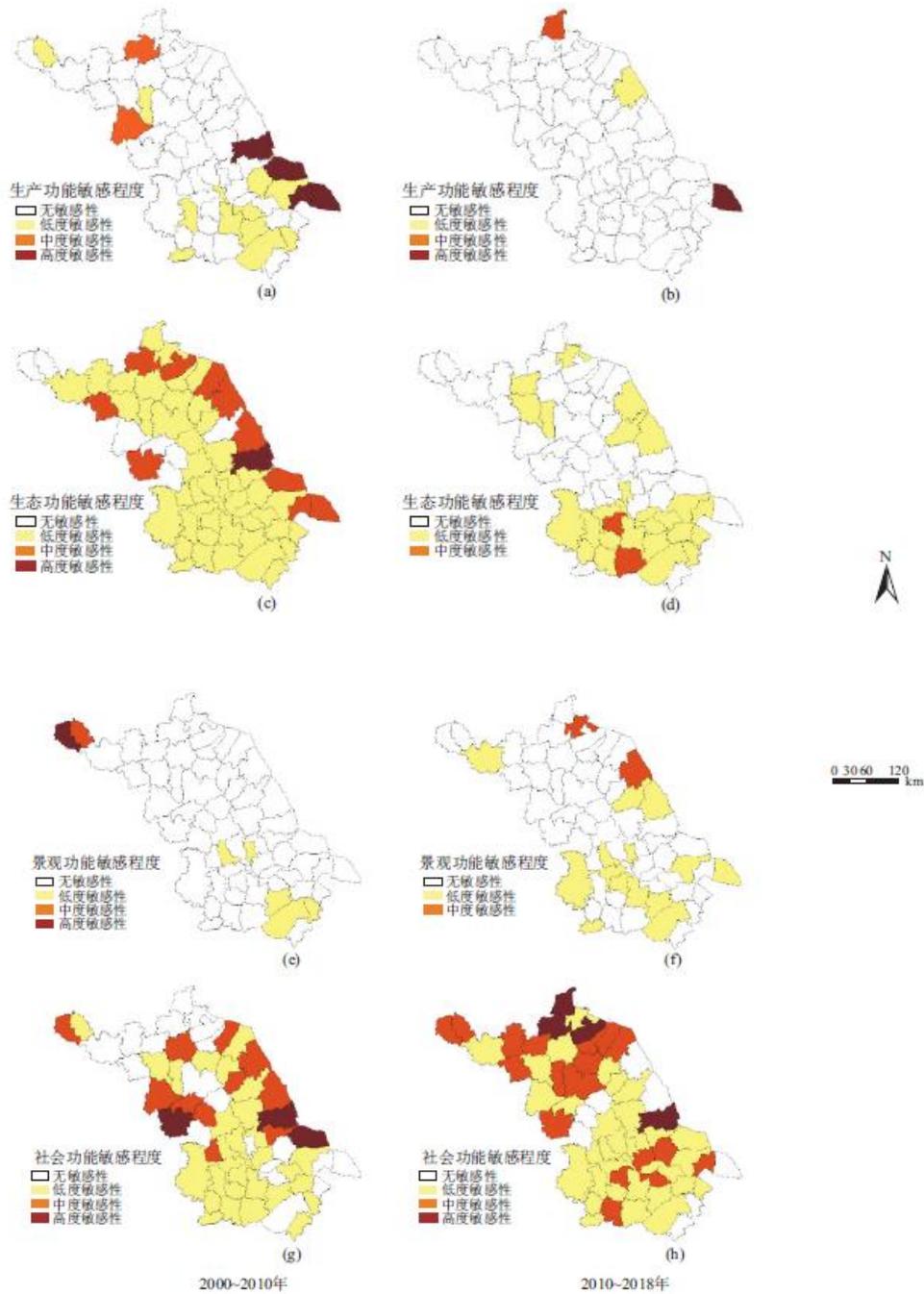


图4 耕地多功能对耕地数量变化的敏感性时空演变

2000~2018年间,生态功能敏感性大幅下降,敏感区数量由57降至28个,降幅达49.2%,低度敏感区降幅最大,达31.7%,高度敏感区逐渐消失。其中2000~2010年,敏感区遍布全省,中、高度敏感区集中分布在东部沿海地区,启东市、射阳县、大丰区均为耕地数量上升、生态功能上升的地区,对耕地数量均表现中度敏感。低度敏感区于全省均匀分布,均为耕地数量下降、生态功能下降的地区。2010~2018年,全省耕地呈总体下降趋势,苏北与苏中地区大部分县(市)的生态功能却不断上升,对耕地数量变化表现不敏感,敏感区逐渐集中至苏南地区,苏南地区耕地数量较少且下降严重,生态功能大幅下降,敏感性高;而苏北的宿迁、连云港等地受水土资源条件限制,生态功能对耕地数量表现敏感。

2000~2018年间,景观功能敏感性明显上升,敏感区数量由7个升至16个,在全省占比由11.11%升至25.39%,低度与中度敏感区增幅分别为14.28%与0.15%,而高度敏感区逐渐消失。其中2000~2010年,敏感区于全省零散分布,集中在苏州、无锡、扬州、泰州市辖区以及徐州部分县(市),大部分县(市)对耕地数量变化不敏感。2010~2018年,因耕地持续下降,景观功能逐渐对其产生敏感,敏感区范围扩大,集中分布在苏南地区与东部沿海地区。其中苏南地区耕地基数小且下降幅度大,敏感区蔓延至各主要城市的市辖区,东部的启东市、大丰区、射阳县均为耕地数量增加、景观功能上升的地区,对耕地数量表现敏感。

2000~2018年间,社会功能敏感性有所上升,敏感区由44个增至56个,在全省占比由69.84%升至88.89%,各敏感区数量均增加,中度敏感区增幅最大,达11.11%。其中2000~2010年,敏感区主要分布在江苏省东、西部,而中、高度敏感区集中在苏北、苏中地区。2010~2018年,耕地持续下降,社会功能对其敏感性增强,敏感区逐渐遍布全省。中、高度敏感区向苏北地区集中,因苏北地区农业从事人口较多,社会功能对耕地数量下降的敏感程度更强。同时苏南地区由于耕地面积下降幅度最大,部分县(市)也由低度敏感转为中度敏感。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

研究期内江苏省生产、生态、景观、社会功能均发生显著变化,对耕地数量变化表现出不同的敏感特征。功能变化上,耕地的生产、景观功能上升,生态、社会功能下降。敏感性变化上,耕地的生产功能、生态功能敏感性下降,景观功能、社会功能敏感性上升。(1)20世纪初,随着粮食直补、减免农业税等粮食生产支持政策的出台以及农业现代化工程的稳步推进,农业总产值与粮食产量稳步增长,江苏省耕地生产功能上升<sup>[46]</sup>。随着耕地集约化利用和农业技术发展,生产功能对耕地数量变化的敏感程度减弱,与谭言飞等对江苏省的研究结果一致<sup>[28]</sup>。(2)在耕地总量持续下降的背景下,多数地区耕地细碎化严重,农作物播种面积与水田面积减少。加之化肥、农药等农用化学品的不合理利用<sup>[47]</sup>,单位耕地面积生态环境承受的负面效应上升,耕地生态功能下降,与范业婷关于苏南地区的研究结果一致<sup>[4]</sup>,耕地生态功能对耕地数量变化敏感性高。但在2010年后,随着机械、生物化学品投入能力继续增强,大量低污染复合肥逐渐取代传统的氮、磷、钾等化学肥料<sup>[20]</sup>,综合性、生态化农场发展提升耕地利用生态收益<sup>[23]</sup>,苏北及苏中部分地区生态功能开始上升,导致江苏省总体生态功能对耕地数量变化的敏感性降低。(3)耕地数量下降也迫使越来越多农民失去土地,转向从事非农行业,社会功能显著下降且对耕地变化的敏感性增强<sup>[22]</sup>。罗成等学者也发现农业机械化对劳动力的替代效应也会造成社会功能的退化<sup>[20]</sup>。(4)伴随着居民质量的提升以及社会水平的发展,耕地景观功能逐渐显化以满足居民的精神需求<sup>[18,34]</sup>。景观功能全面提升,与叶晓琪关于广州的研究结果一致<sup>[40]</sup>,景观功能对耕地数量敏感性较低。2010年后由于城市开发规模快速膨胀,耕地数量持续下降。苏南地区作为耕地下降最为严重的地区,景观功能开始下滑并对耕地数量变化表现敏感,导致江苏省总体敏感程度上升。

在敏感区数量上,社会功能>生态功能>景观功能>生产功能,其中超过一半县(市)的耕地社会功能与生态功能对耕地数量变化具有敏感性,可见耕地保护对于促进区域耕地多功能发展,提升耕地复合价值具有重要意义。在对耕地数量表现敏感的地区,应发挥耕地“红线”约束引导作用,严控非农建设占用耕地,落实耕地占补政策,通过土地整治、永久基本农田划定等措施保障耕地数量,积极引导耕地空间合理布局。同时,研究期内耕地多功能的演化在全省具有明显的区域分异特征,应充分重视各项功能对耕地数量响应的区域差异,优化区域耕地功能布局 and 结构。苏南地区因城镇化、工业化快速发展导致耕地大量流失,为各功能低值区,景观、生态敏感性相对较高,应充分利用区内优越的自然生态环境和人文环境,考虑城乡居民日益多样化的环境、休闲等需求,提升耕地生态服务价值,挖掘区域农耕文化特色。苏中及苏北地区耕地功能较高,社会功能敏感性较强,因经济区位及功能比较优势不同,二者的未来管理走势仍有分化。苏北地区作为重要的粮食生产区,应保持现有耕地存量,加快向现代农业转型升级,加大农业补贴与科技支农力度,着眼于提高农户的粮食生产收益,调动农户的生产积极性<sup>[28]</sup>。苏中地区为苏南地区的产业转移承接地,应保持各功能发展优势,经济快速发展的同时还应严控高产耕地流失,加大资本、技术等要素投入,以生态安全保护的视角发展休闲农业等高效农业。

本文将敏感度分析模型引入耕地多功能研究,探索耕地多功能对于耕地数量变化的响应程度,验证了模型在耕地功能领域的适用性,且拓宽了其应用范围。为后续该研究方法的发展衍变、耕地多功能影响因素等研究提供新的视角与思路。同时研究为识别江苏省不同地域耕地功能短板、强化土地用途管制及国土空间规划制定工作提供参考借鉴。耕地功能受人类活动、地域文化、社会经济制度、区域发展政策等多因素制约<sup>[2]</sup>,由于耕地利用系统的复杂性,目前仍没有统一的耕地功能分类体系,本文所选取的耕地功能评价指标存在一定主观性,且对于耕地功能的形成机制、演进规律等方面尚未加以探讨。同时,耕地各种功能之间存在复杂的相互作用关系<sup>[22]</sup>,后期可进一步探讨各功能间的内在作用机制,结合社会经济发展阶段进而加强研究结果的现实指导意义。

#### 4.2 结论

(1)2000~2018年江苏省耕地生产、景观功能上升,生态、社会功能下降。生产功能北高南低,苏北地区功能偏高且高值区不断向南扩散,向粮食主产区发展态势明显,苏锡常等高度都市化地区功能值最低。景观功能东高西低,全省普遍提升,高值区由太湖流域转移至东部海岸带并逐渐扩散,东部沿海地区耕地生态保护工作卓有成效。局部地区如苏锡常等因耕地非农化现象严重,2010至2018年功能下降。生态功能在全省普遍下降,苏中地区功能高,苏北、苏南功能较低。苏北、苏中局部地区因农技术改良,2010至2018年功能上升。社会功能北高南低,因大量农民转入非农行业,苏北高值区不断萎缩,苏南低值区逐渐朝北蔓延。

(2)2000年来江苏省耕地面积持续下降,自北往南耕地下降程度逐渐加剧,耕地聚集程度东高西低,均接近耕地总体功能分布,说明耕地变化仍是制约耕地功能的客观基础。耕地相对稀疏区主要分布在苏南的大部分县(市),集聚区主要分布在苏中、苏北地区,东部沿海地带耕地高度集聚。受经济发展及建设用地扩张影响,部分集聚区逐渐退化。

(3)对比2000~2010和2010~2018年两个时期,生产与生态功能敏感性降低,景观与社会功能敏感性上升。生产功能敏感区由苏南地区缩小至东部沿海三县,生态功能敏感区由全省逐渐缩小至苏南地区,均与农业技术推进及耕地集约利用相关。景观功能敏感区由全省零散分布扩散至苏南及东部沿海地区,社会功能敏感区逐渐遍布全省,中、高度敏感区向苏北集中,均对耕地数量变化愈加敏感,体现耕地保护对促进区域耕地多功能发展具有重要意义。

#### 参考文献:

[1]FERRARI S,RAMBONILAZA M.Agricultural activities,rural areas and natural environment:drawing up the frontiers of the multifunctionality concept [A].PIORR A,MÜLLER K.Rural landscapes and agricultural policies in Europe[M].Berlin:Springer,2009:21-34.

[2]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.

[3]邹利林,李裕瑞,刘彦随,等.基于要素视角的耕地“三生”功能理论建构与实证研究[J].地理研究,2021,40(3):839-855.

[4]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.

[5]TILMAN D,CASSMAN K G,MATSON P A,et al.Agricultural sustainability and intensive production practices [J].Nature,2002,418:671.

[6]OECD.Multifunctionality Towards an Analytical Framework [J].SourceOECD Industry,2001.

- 
- [7]NAHUELHUAL L, VERGARA X, KUSCH A, et al. Mapping ecosystem services for marine spatial planning: Recreation opportunities in Sub-Antarctic Chile [J]. Mar Policy, 2017, 81:211-218.
- [8]WOLFF S, SCHULP C, VERBURG P H. Mapping ecosystem services demand: A review of current research and future perspectives [J]. Ecological Indicators, 2015, 55:159-171.
- [9]GULICKX M M C, VERBURG P H, STOOBVOGEL J J, et al. Mapping landscape services: A case study in a multifunctional rural landscape in The Netherlands [J]. Ecological Indicators, 2013, 24:273-283.
- [10]HERMANN A, KUTTNER M, HAINZ-RENETZEDER C, et al. Assessment framework for landscape services in European cultural landscapes: An Austrian Hungarian case study [J]. Ecological Indicators, 2014, 37:229-240.
- [11]WEI C, LIN Q, YU L, et al. Research on sustainable land use based on Production-Living-Ecological function: A case study of Hubei Province, China [J]. Sustainability, 2021, 13.
- [12]姚文歌. 耕地多功能性与社会经济发展水平耦合关系研究 [D]. 中南财经政法大学, 2019.
- [13]ANDERSEN P S, VEJRE H, DALGAARD T, et al. An indicator-based method for quantifying farm multifunctionality [J]. Ecological Indicators, 2013, 25:166-179.
- [14]NICKERSON C J, HELLERSTEIN D. Protecting rural amenities through farmland preservation programs [J]. Agricultural & Resource Economics Review, 2003, 32(1):129-144.
- [15]ANDERSEN P S, VEJRE H, DALGAARD T, et al. An indicator-based method for quantifying farm multifunctionality [J]. Ecological Indicators, 2013, 25:166-79.
- [16]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.
- [17]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.
- [18]蔡运龙. 中国农村转型与耕地保护机制[J]. 地理科学, 2001(1):1-6.
- [19]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.
- [20]罗成, 蔡银莺. 湖北省农产品主产区耕地资源功能的时空演变 [J]. 经济地理, 2016, 36(3):153-161.
- [21]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.
- [22]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.
- [23]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):158-176.

- 
- [24]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.
- [25]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.
- [26]洪舒蔓, 郝晋珉, 周宁, 等. 黄淮海平原耕地变化及对粮食生产格局变化的影响 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(21):268-277.
- [27]徐珊, 宋戈, 李丹, 等. 东北粮食主产区耕地资源时空变化及其对粮食生产能力的影响 [J]. 农业工程学报, 2012(21):1-9.
- [28]谭言飞, 濮励杰, 解雪峰, 等. 基于敏感度分析的江苏省粮食生产与耕地数量变化动态响应研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(5):1102-1110.
- [29]刘彦随, 王介勇, 郭丽英. 中国粮食生产与耕地变化的时空动态 [J]. 中国农业科学, 2009, 42(12):4269-4274.
- [30]王佳月, 辛良杰. 基于 GlobeLand30 数据的中国耕地与粮食生产的时空变化分析 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(22):1-8.
- [31]张小强, 王云燕, 黄娟. 2010-2015 年江苏省环太湖及沿海地区土地利用变化和生态风险分析 [J]. 安徽农业科学, 2020, 48(17):97-103, 32.
- [32]迟艳茹. 辽宁省不同地貌区耕地多功能评价及时空演变分析 [D]. 沈阳农业大学, 2020.
- [33]张艳, 于汶加, 陈其慎, 等. 化肥消费规律及中国化肥矿产需求趋势预测[J]. 资源科学, 2015, 37(5):977-987.
- [34]赵华甫, 张凤荣, 许月卿, 等北京城市居民需要导向下的耕地功能保护 [J]. 资源科学, 2007(1):56-62.
- [35]杜继丰, 袁中友. 基于耕地多功能需求的巨型城市区耕地保护阈值探讨——以珠江三角洲为例 [J]. 自然资源学报, 2015, 30(8):1255-1266.
- [36]彭建, 刘志聪, 刘焱序, 等. 京津冀地区县域耕地景观多功能性评价[J]. 生态学报, 2016, 36(8):2274-2285.
- [37]冯志新, 陈颖彪, 千庆兰, 等. 东莞市人工景观结构与连接度的协整性及因果关系 [J]. 生态学报, 2015, 35(14):4920-4930.
- [38]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, 245(7):145-155.
- [39]李涛, 陶卓民, 李在军, 等. 基于 GIS 技术的江苏省乡村旅游景点类型与时空特征研究 [J]. 经济地理, 2014, 34(11):179-184.
- [40]叶晓琪, 宋小青, 谭子安, 等. 大都市镇域耕地功能格局及其成因——以广州市为例 [J]. 热带地理, 2017, 37(6):862-873.

- 
- [41]陈美球,王光远.农民对耕地非生产性功能的认识及其量化实证研究——基于1065份问卷调查[J].中国土地科学,2013,27(3):10-16.
- [42]单薇,金晓斌,冉娜,等.江苏省土地利用“生产-生活-生态”功能变化与耦合特征分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(7):1541-1551.
- [43]蒋瑜,濮励杰,朱明,等.中国耕地占补平衡研究进展与述评[J].资源科学,2019,41(12):2342-2355.
- [44]关兴良,方创琳,鲁莎莎.中国耕地变化的空间格局与重心曲线动态分析[J].自然资源学报,2010,25(12):1997-2006.
- [45]李鑫,欧名豪.江苏省耕地空间分布与变化研究[J].农业现代化研究,2011,32(6):730-734.
- [46]潘佩佩,杨桂山,苏伟忠,等.太湖流域粮食生产时空格局演变与粮食安全评价[J].自然资源学报,2013,28(6):931-943.
- [47]宋知远,孙晓玲,许雅婷,等.江苏省化肥施用强度时空演变及差异分析[J].安徽农业科学,2018,46(18):5-8.

**注释:**

1 耕地升降比:耕地增加面积/耕地减少面积。