

南方丘陵山区耕地资源多功能时空演变及协同与权衡研究

——以安福县为例

付鸿昭¹, 郭熙¹, 周丙娟¹, 赵小敏^{1*}, 郭大千²

(1. 江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 江西农业大学, 江西南昌 330045; 2. 江西省土地开发整理中心, 江西南昌 330025)

摘要 [目的]构建耕地多功能评价指标体系,并在此基础上探究耕地多功能时空演变规律以及各项功能之间的权衡与协同空间分布格局及变化。[方法]运用综合评价法对耕地多功能进行评价,并采用斯皮尔曼相关性分析和空间自相关分析。[结果]2008—2018年安福县耕地生产功能、社会保障、景观休憩功能整体呈下降趋势,生态调节功能持续上升;耕地的生产-景观休憩功能、社会保障-景观休憩功能之间存在显著的协同关系,社会保障-生态调节功能、生态调节-景观休憩功能之间存在显著的权衡关系;安福县耕地各项功能在空间分布上差异明显,其呈现HH协同的区域主要分布在地势较为平缓的安福县东南部平都镇周围,功能分值较低呈现LL协同关系的区域主要分布在安福县西北部地势较高区域。[结论]通过研究耕地多功能时空演变及其协同性,可以有效地促进耕地合理的空间布局以及制定区域耕地利用方针,实现耕地高效可持续利用。

关键词 土地资源;耕地多功能;时空变化;协同与权衡;安福县

中图分类号 F323.211 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)06-0085-07

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.06.024



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on Spatio-temporal Evolution, Synergy and Trade-off Relationship of Multifunctional Cultivated Land Resources in Southern Hilly and Mountainous Areas: Taking Anfu County as an Example

FU Hong-zhao, GUO Xi, ZHOU Bing-juan et al (Key Laboratory of Poyang Lake Watershed Agricultural Resources and Ecology of Jiangxi Province, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045)

Abstract [Objective] To construct a multi-functional evaluation index system for cultivated land, and on this basis, to explore the spatial and temporal evolution of cultivated land and the trade-offs and coordination between various functions and the spatial distribution patterns and changes. [Method] Comprehensive evaluation method was used to evaluate the multi-function of cultivated land, and Spearman correlation analysis and spatial autocorrelation analysis were used. [Result] From 2008 to 2018, the production function of cultivated land, social security, and landscape recreational functions in Anfu County showed an overall downward trend, and the ecological regulation function continued to rise. There was a significant synergistic relationship between the production of arable land-landscape rest function, social security-landscape rest function; there was a significant trade-off relationship between social security-ecological adjustment function, ecological adjustment-landscape rest function. The various functions of cultivated land in Anfu County have obvious differences in spatial distribution. The areas showing HH coordination were mainly distributed around Pingdu Town in the southeast of Anfu County, where the terrain was relatively flat, and the areas with lower function scores showing LL synergy relationship were mainly distributed in the higher-lying area in the northwest of Anfu County. [Conclusion] By studying the multi-functional temporal and spatial evolution of cultivated land and its synergy, it can effectively promote the reasonable spatial layout of cultivated land and formulate regional cultivated land use policies to achieve efficient and sustainable use of cultivated land.

Key words Land resources; Multifunctional cultivated land; Temporal and spatial changes; Synergy and trade-offs; Anfu County

耕地资源是人类生存和发展所必须且不可替代的资源^[1],在新型城镇化背景下,大量耕地被占用,耕地持续非农化、非粮化和粗放利用的问题日益加剧,严重地危害了国家粮食安全^[2]。因此要进一步加强中国耕地保护的关键在于全面认识耕地资源的多功能价值^[3-4]。

当前,国外已经有大量学者对农业多功能性进行了研究^[5],日本、韩国、美国和欧洲发达国家已经完成了耕地以生产为主的商品功能向非商品生产性功能的转变^[6],如耕地的生态调节功能和文娱功能等^[7]。部分学者对农地价值的形成特点、影响因素进行了探究^[8-9]。国内对耕地多功能价值的研究仍在不断的探索中,耕地资源的多功能价值和不同的社会发展阶段也是紧密相关的^[10], Song等^[6]研究发现从2007年开始国内对耕地功能的研究由耕地的单项功能研究转向多功能研究,从字面意思来看,耕地多功能即耕地满足

人类多种需求的功用^[11]。国内学者也对耕地多功能研究做了很多有益的探索,如辛芸娜等^[12]以“指标-过程-功能-需求”为基础将耕地功能分为生产功能、健康功能、缓冲过滤功能和碳固持功能,构建耕地多功能评价指标体系,并对各项功能之间的相关性进行了探索;张利国等^[13]将耕地功能分为生产功能、国民经济贡献功能、社会保障功能和社会安全维护功能进行评价,并运用灰色关联投影法对湖北省耕地多功能分区差异进行分析;罗成等^[14]将耕地功能分为国民经济贡献功能、粮食安全保障功能、社会就业承载功能和生态安全维护功能,运用熵权法和复相关系数法组合赋权构建耕地多功能评价指标体系,并进一步分析各项功能的时空演变;张英男等^[15]将耕地功能分为经济功能、社会功能和生态功能,并在此基础上分析其耦合协调关系及其驱动机制。总体来说,当前国内研究耕地多功能价值计算方法较多,研究其形成机制较少,对耕地多功能整体价值研究较多,对耕地各项功能之间的关系研究较少^[16]。笔者以江西省安福县为例,运用综合评价法对安福县不同时期的耕地生产功能、社会保障功能、生态调节功能、景观休憩功能进行评价,分析其时空演变特征,并进一步运用相关分析和空间计量分析方法

基金项目 江西省赣鄱英才“555”领军人才项目(201295);江西省2019年度研究生创新专项资金(YC2019-S172)。

作者简介 付鸿昭(1997—),男,安徽合肥人,硕士研究生,研究方向:耕地质量、功能评价等。*通信作者,教授,博士,博士生导师,从事土地资源管理研究。

收稿日期 2020-11-13

对耕地各项功能之间的协同性和权衡性进行研究,分析其空间分布格局特征及变化规律,从而为科学高效地规划和利用耕地提供有力的支撑。

1 资料与方法

1.1 研究区域概况 安福县位于江西省中西部、吉安市西北部,地处 114°00'~114°47'E、27°04'~27°36'N,属丘陵山地区。地势上呈西北部较高、东南部较低。辖区总面积为 2 793.15 km²,下辖 19 个乡镇,人口达 42.18 万人。安福县作为全国 13 个粮食主产区的 100 个粮食生产大县之一,除水稻之外,还大量种植油菜、瓜果、烟草等经济作物。2018 年,安福县第一产业生产总值占全县国内生产总值的 12.9%。县域范围内交通状况良好,村村之间柏油(水泥)公路通畅率达 100%。截至 2018 年年底,耕地面积为 45 602 hm²。近年来安福县大力发展休闲农业,形成了一批像鹤峰客栈、梅龙生态休闲山庄等特色精致的乡野民宿。

1.2 数据来源与数据处理

1.2.1 数据来源。研究数据包括空间数据、属性数据和遥感数据 3 部分。空间数据主要包括安福县 2008、2013 和 2018 年 3 期的土地利用数据,并将数据坐标统一转化为 CGCS2000 坐标系。属性数据主要包括《安福县统计年鉴》以及安福县文广局提供的安福县农业产业园等相关信息。以 2008、2013、2018 年为研究时点,安福县辖属的 19 个乡镇中的 244 个村为研究单元;以 ArcGIS 10.7 为数据平台,分别录

入安福县各个村 2008、2013 和 2018 年的耕地多功能的相关数据,建立耕地多功能数据库为该研究的数据源。

1.2.2 数据处理。去除安福县县域范围内的林场、农科所等缺乏社会经济属性数据的区域和部分无耕地的村如平都镇的城南村、西林村等区域。研究中涉及的部分属性数据如农田生态系统多样性指数等无村一级数据,采用乡镇一级计算数据代替。

1.3 研究方法

1.3.1 耕地多功能评价。安福县作为粮食生产大县,耕地不仅在传统的生产功能和社会保障功能上有明显的优势,随着城市化进程的推进,耕地的生态调节功能和景观休憩功能也日益凸显出来,结合现有的耕地多功能研究成果和安福县农业和休闲农业特征,根据耕地在当前社会发展阶段所展现出的功能,结合指标的可获取性和完整性等原则,咨询多名土地规划、景观生态学、休闲农业等领域专家,选取耕地的生产功能、社会保障功能、生态调节功能和景观休憩功能 4 个一级指标,16 个二级指标构建安福县耕地多功能价值评价指标体系^[13,17-22],具体如表 1 所示。

采用改进型极差标准化法对各项指标进行归一化处理以消除指标之间的量纲差异^[23],并使用熵权法和复相关系数法分别计算指标权重^[14],为了体现指标值的差异信息和兼顾指标的独立性^[24],采用拉格朗日乘子法合成形式确定各项指标组合权重^[14,25]。权重计算结果如表 1 所示。

表 1 耕地多功能评价指标体系及权重

Table 1 Multifunctional evaluation index system and weight of cultivated land

功能 Function	指标 Index	内涵 Connotation	性质 Property	熵权法 Entropy method	复相关系数 Multiple correlation coefficient	综合权重 Comprehensive weight
生产功能 Production function	单位面积水稻生产量 ^[20]	粮食产量/耕地总面积	+	0.064	0.074	0.071 0
	单位面积经济作物生产量 ^[20]	经济作物产量/耕地总面积	+	0.064	0.080	0.073 0
	耕地产能 ^[13]	耕地产能=(16-耕地平均利用等级)×耕地面积×15×100	+	0.064	0.038	0.051 0
社会保障功能 Social security function	农业从业率 ^[19]	从事农业人口数/农业人口总数	+	0.063	0.079	0.072 0
	粮食自给率 ^[26]	粮食总产量/(区域总人口×420 kg)	+	0.064	0.085	0.076 0
	第一产业比重 ^[19]	农业总产值/总产值	+	0.063	0.033	0.033 0
生态调节功能 Ecological regulation function	每公顷农药使用量 ^[19]	农药使用量/耕地总面积	-	0.064	0.016	0.047 0
	每公顷化肥施用量 ^[27]	化肥使用量/耕地总面积	-	0.064	0.051	0.059 0
	农用塑料薄膜使用量	塑料薄膜使用量/耕地总面积	+	0.064	0.061	0.064 0
	固碳量 ^[28]	NPP×1.63 kg	+	0.061	0.104	0.082 0
	释氧量 ^[28]	NPP×1.2 kg	+	0.061	0.104	0.082 0
	农田生态系统多样性指数 ^[13]	$-\sum(b_i)(\ln b_i)$, b_i 为各品种作物播种面积与农作物播种面积之比	+	0.064	0.081	0.074 0
景观休憩功能 Landscape rest function	斑块集聚度 ^[20]	Fragstats 软件计算	+	0.064	0.026	0.042 0
	形状指数 ^[20]	Fragstats 软件计算	+	0.062	0.069	0.067 0
	距离通达性 ^[15]	区域交通情况	+	0.062	0.073	0.069 0
	三星级以上农旅结合观光园个数 ^[11]	区域农业生态园个数	+	0.052	0.026	0.038 0

注:“+”代表正向指标,“-”代表负向指标。正向指标指标值越大越好,负向指标指标值越小越好

Note:“+” represents a positive indicator, and “-” represents a negative indicator. The larger the positive indicator value, the better, the smaller the negative indicator value, the better

1.3.2 耕地功能相关性分析。相关性分析可以直接明了地表现不同功能之间的协同与权衡关系^[29],目前大量学者采用偏相关分析^[30]、PPF 分析^[31]等方法对生态系统服务协同

与权衡进行分析,为了量化耕地功能之间空间的协同与权衡关系,该研究先在 SPSS 25 中利用斯皮尔曼相关性分析工具分析耕地各项功能之间的协同与权衡关系。

1.3.3 空间自相关分析。空间自相关分析包括全局空间自相关和局部空间自相关。全局空间自相关用来描述整个研究区域上所有对象之间的平均关联程度、空间分布模式及其显著性^[32];局部空间自相关是对整个区域耕地各项功能的空间自相关程度进行描述,并以图形的形式直观地展现研究区耕地质量的空间集聚状况^[33]。采用局部空间自相关分析,其结果中可分为:相同水平的集聚区域(HH和LL),呈空间协同关系;异质性集聚区域(LH和HL),呈空间权衡关系^[34]。该研究在耕地多功能评价结果的基础上,采用GeoDa软件对耕地单项功能、不同功能之间分别运用全局空间自相关分析和局部空间自相关分析。

2 结果与分析

2.1 耕地多功能时空演变特征 探索耕地不同功能在时间上的变化空间分布差异可以有针对性地对应区域耕地分区保护,提高耕地利用效率。通过对安福县耕地功能的综合评价得到安福县2008、2013和2018年3期各乡镇耕地各项功能的评价结果(图1)。根据评价结果,在ArcGIS 10.7平台上绘制了安福县耕地多功能时空演变图(图2)。

2.1.1 生产功能。安福县耕地生产功能在10年间呈先升高后下降的趋势且整体有明显下降。从空间分布上看(图2A),耕地的生产功能整体呈西部低、中东部高,耕地生产功能较强的区域主要分布在安福县中部,且区域内水稻产量、经济作物产量和耕地利用等普遍处于均衡且优势状态。呈现这种分布主要可能受到安福县地形影响,西北部向东南部地势逐渐平缓。生产功能的空间变化主要是由于单位面积水

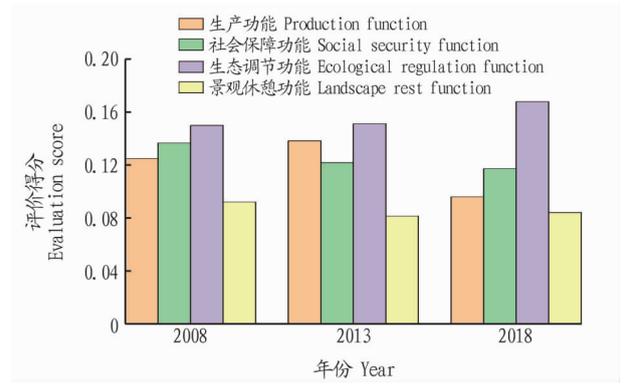


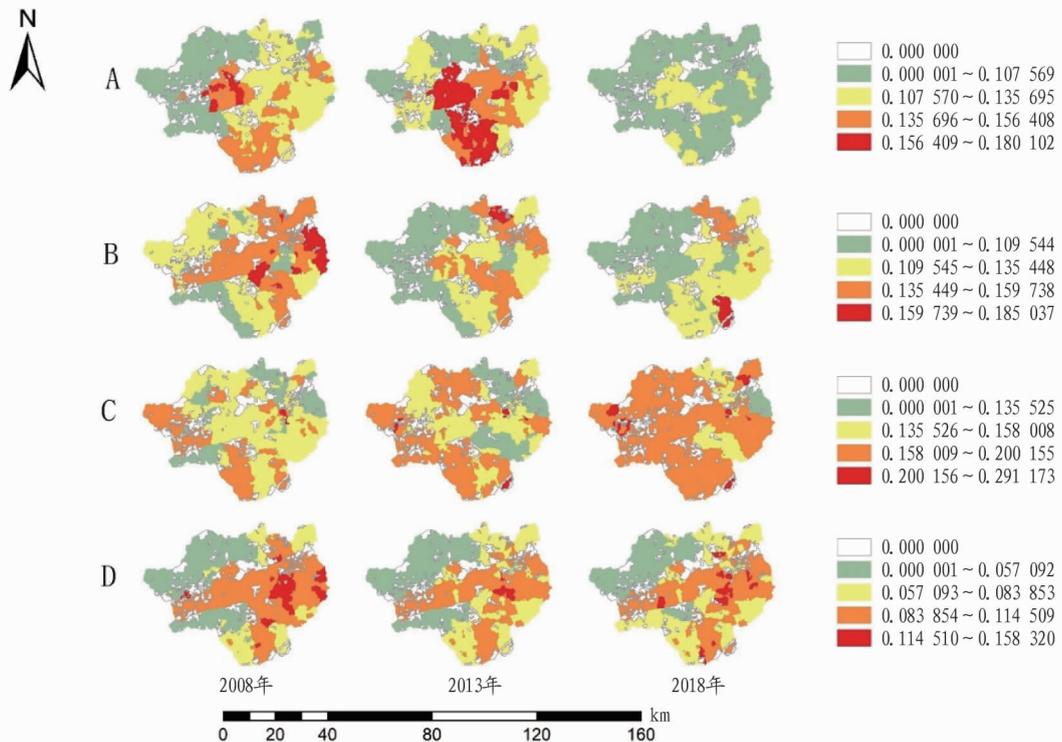
图1 安福县耕地多功能分值

Fig.1 Multifunctional scores of cultivated land in Anfu County

稻产量变化引起的,2008—2013年耕地生产功能有显著提升,虽然耕地面积也有明显增加,但2013—2018年水稻种植面积大幅度下降,直接导致了耕地的生产功能下降。

2.1.2 社会保障功能。耕地的社会保障功能逐渐下降,在空间上整体呈现东部和南部高、西部和北部低的空间格局,东部、北部耕地的社会保障功能不断下降(图2B)。东部区域中平都镇为安福县县政府所在地,由于人口数量众多,耕地面积较少,耕地的社会保障功能明显弱于其周边乡镇。2008—2013年,大量农民外出务工使得农业从业人员大幅度持续下降,10年间安福县农业从业率下降约11.5%。2013—2018年,随着种植技术的进步,粮食总产量的提高,使得安福县在2013—2018年耕地的社会保障功能下降速度放缓。

2.1.3 生态调节功能。耕地的生态调节功能呈上升趋势,



注:A.生产功能;B.社会保障功能;C.生态调节功能;D.景观休憩功能

Note: A. Production function; B. Social security function; C. Ecological regulation function; D. Landscape rest function

图2 安福县耕地多功能时空演变

Fig.2 Spatio-temporal evolution of multifunctional cultivated land in Anfu County

安福县西南部耕地生态调节功能高于西北部(图 2C),随着时间的变化中部和西北部耕地生态调节功能稳步提升,这主要是因为耕地面积的增加和区域耕地固碳量、释氧量的提升,使得耕地的生态调节功能有所提升。到 2018 年,全县耕地的生态调节功能总体都维持在一个较高的水平。

2.1.4 景观休憩功能。耕地的景观休憩功能在 2008—2018 年呈现先减少后增加趋势,从空间上来看(图 2D),安福县耕地景观休憩功能较好的区域主要分布在安福县中部和东部地区,围绕在平都镇周围;交通区位较好的村庄,耕地的景观休憩功能较好。2008—2013 年,安福县耕地斑块聚集度有较为明显的下降,导致耕地景观价值有所下降;2013 年后,安福县县域内交通条件大幅提升,同时依托文化和生态优势打造了特色精致的乡野民宿,有效地提升了耕地景观休憩功能价值。

2.2 耕地多功能协同与权衡的时间格局及其变化 耕地资源的各项功能之间相互影响,参考生态系统服务研究^[35],将不同的耕地功能中存在的此消彼长关系作为耕地功能之间的权衡关系,存在相互增益关系即为耕地功能之间的协同,并把这种关系通过相关系数来判断^[23,29]。将评价结果在 SPSS 25 中进行斯皮尔曼相关性分析,结果如表 2。由表 2 可

知,耕地功能之间的关系主要有 3 类:

第一,呈显著协同关系。耕地的生产-景观休憩功能、社会保障-生态调节功能长期呈显著的协同关系。生产-景观休憩功能之间的协同性不断增强,这是由于耕地的景观休憩功能好的地方斑块聚集度较高、交通较好便于机械化操作,同时良好的农业产业园,往往耕地管理和投入水平较高,耕地产出较好,故二者有很高的协同性。而社会保障-景观休憩功能协同性不断减弱,到了 2018 年,二者之间已经没有显著性相关关系。主要是因为耕地的景观休憩功能受交通区位的影响为主,而社会保障功能受到人口的影响较大,因此二者协同性较弱。

第二,呈显著权衡关系。生态调节功能和社会保障功能、景观休憩功能之间呈现为权衡关系。生态调节-景观休憩功能之间的权衡性不断增强。可能是因为景观功能较好的区域交通较好,增加了耕地的破碎程度,破坏了其生态功能。故生态调节功能和社会保障功能、景观休憩功能之间呈权衡关系。

第三,无显著相关关系。生产-社会保障功能、生产-生态调节功能之间无显著性相关关系。

表 2 耕地多功能相关系数

Table 2 Multifunctional correlation coefficient of cultivated land

年份 Year	生产-社会 保障功能 Production-social security function	生产-生态 调节功能 Production-ecological regulation function	生产-景观 休憩功能 Production-landscape rest function	社会保障-生态 调节功能 Social security-ecological regulation function	社会保障- 景观休憩功能 Social security-landscape rest function	生态调节- 景观休憩功能 Ecological regulation- landscape rest function
2008	0.06	-0.05	0.38**	-0.32**	0.35**	-0.26**
2013	-0.04	-0.03	0.46**	-0.47**	0.21**	-0.39**
2018	0.12	-0.38**	0.49**	-0.30**	0.11	-0.41**

注: ** 为在 0.01 水平(双侧)上显著相关

Note: ** is a significant correlation at the 0.01 level(two-sided)

2.3 耕地资源功能协同与权衡空间格局及其变化

2.3.1 相同耕地功能之间。为探究安福县耕地单项功能协同与权衡空间格局及变化情况,运用 GeoDa 软件对各项功能进行单变量全局空间自相关分析,得到各项功能的 Global Moran's I(表 3)。由表 3 可见,各项功能均呈显著相关协同

关系,但是不同耕地功能之间的协同关系变化不同。生产功能和社会保障功能协同度较好且变化较小,生态调节功能协同度先提高后下降,整体有一定的提高,景观休憩功能协同度呈下降趋势。

表 3 耕地多功能单变量全局空间自相关指数

Table 3 Multifunctional single variable global spatial autocorrelation index of cultivated land

年份 Year	生产功能 Production function	社会保障功能 Social security function	生态调节功能 Ecological regulation function	景观休憩功能 Landscape rest function
2008	0.795(20.323 9)**	0.732(17.624 1)**	0.506(13.452 6)**	0.756(18.513 3)**
2013	0.787(18.660 1)**	0.738(18.769 7)**	0.631(15.430 9)**	0.746(18.363 8)**
2018	0.759(18.839 8)**	0.718(17.956 1)**	0.600(15.107 8)**	0.651(15.705 7)**

注:括号内数值为对应的 Z 值; ** 表示置信度为 0.001

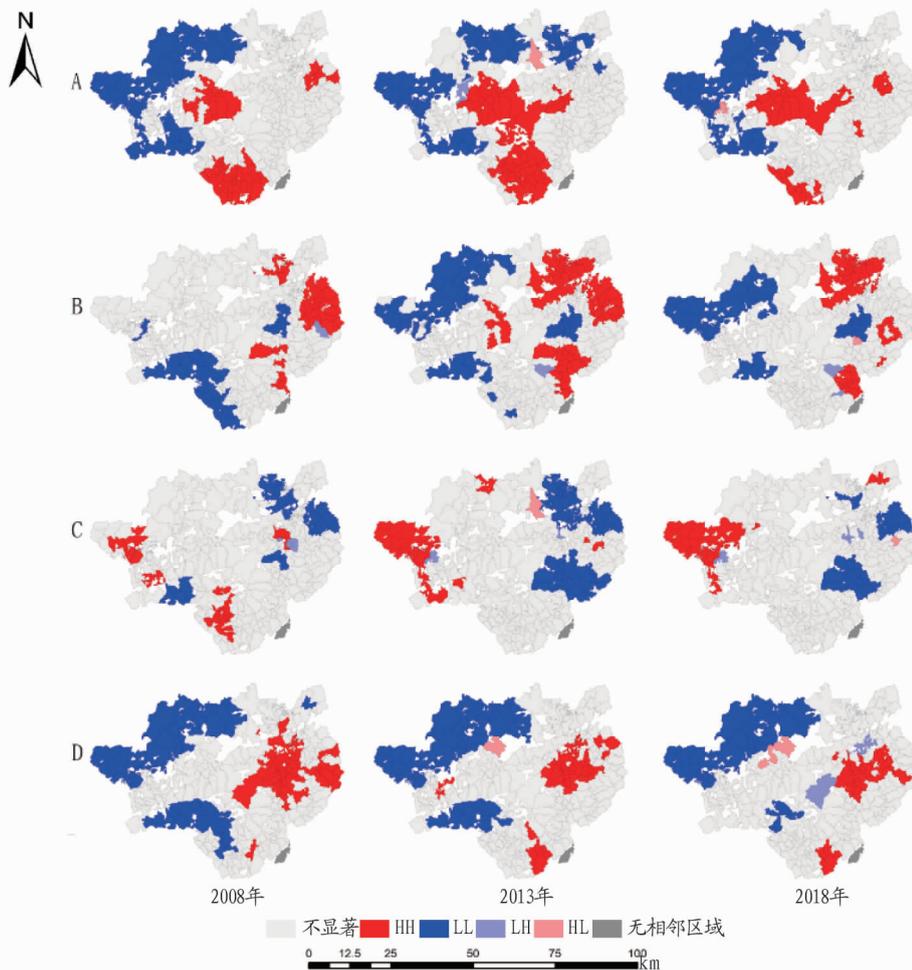
Note: The value in brackets is the corresponding Z value; ** means the confidence level is 0.001

为了进一步探究耕地单项功能的协同关系以及其空间格局分布变化,该研究对耕地各项功能采用单变量局部空间自相关分析,分析结果如图 3 所示。其中 HH 和 LL 反映耕地单项功能为积聚明显区域,HL 和 LH 反映耕地单项功能为分散分布区域。从图 3A 可以看出,耕地的生产功能呈聚集区域变化较为明显,呈现协同关系的村数量不断减少,变动区域主要分布在安福县中西部地区,部分耕地生产功能由不

显著变成协同关系,呈分散分布区域零星分布于钱山乡、横龙镇等,可能是由于耕地耕作面积减少导致。从图 3B 可以看出,耕地的社会保障功能集中区域变化较为明显,主要表现在安福县西北部和东南部协同区域增加,西南部耕地的社会保障功能协同区域不断减少;研究区内社会保障功能呈分散分布的区域较少,零星分布于洲湖镇和寮塘乡,究其原因主要是由于人口的大量外出务工导致农业从业率下降。从

图 3C 可以看出,耕地的生态调节功能研究区内呈现聚集区域不断增加,主要是西南部区域和东部区域增加较为明显,这可能是由于人们生态耕作意识的不断提升所引起的。从图 3D 可以看出,耕地的景观休憩功能呈聚集区域范围有所缩减,主要缩减区域为寮塘乡和彭坊乡,且少数区域呈分散

(LH 和 HL)分布。平都镇为安福县政府所在地,具有良好的交通区位优势,故平都镇及其周边的景观休憩功能整体呈聚集,但其周边部分村耕地较为破碎,导致景观休憩功能较低,使得部分区域呈分散分布。



注:A.生产功能;B.社会保障功能;C.生态调节功能;D.景观休憩功能

Note:A.Production function;B.Social security function;C.Ecological regulation function;D.Landscape rest function

图 3 相同耕地功能局部空间关联

Fig.3 Local spatial correlation of the same cultivated land function

2.3.2 不同耕地功能之间。从耕地多功能的双变量全局空间自相关指数(表 4)可以得出,生产-社会保障功能在 2008 年呈显著的协同关系,之后无显著性相关。生产-生态调节功能在自 2018 年呈显著性权衡关系,权衡关系较弱。生产-景观休憩功能、社会保障-景观休憩功能呈显著协同关系,其中生产-景观休憩功能的协同关系较为稳定,社会保障-景观休憩功能的协同性不断下降。社会保障-生态调节功能、生态调节-景观休憩功能之间呈显著权衡关系。社会保障-生态调节功能权衡度整体呈下降趋势,生态调节-景观休憩权衡度有所提升。

由表 4 可知,耕地的生产-社会保障功能、生产-生态调节功能部分年份无显著相关性,因此文中不做分析。对其他几项功能之间进行双变量局部空间自相关分析,分析结果如图 4 所示,总体来看,无显著相关性的村数量最多。

从图 4A 可以看出,生产-景观休憩功能呈 LL 协同关系的区域主要分布在安福县西部;呈 HH 协同关系的区域主要分布在平都镇及周边村,最终以平都镇为中心收敛。由前文分析可知,安福县西部受地形和交通区位影响耕地生产功能和景观休憩功能较差。从图 4B 可以看出,社会保障-生态调节功能呈现 LH 和 HL 权衡关系的区域主要分布在安福县西南部和东北部区域,并向东南部、西北部区域扩张;少数村呈 HH 和 LL 协同关系零星分布于西南部和东北部区域。这主要是由于在东南部、西北部耕地的景观休憩功能提升引起的。从图 4C 可以看出,社会保障-景观休憩功能呈现 HH 协同关系的区域主要分布在安福县平都镇周围,平都镇周围耕地生产功能和景观休憩功能较好;前文已经分析了安福县西北部耕地生产能力和景观休憩功能较弱的成因,因此在西北部区域主要呈现 LL 协同性;少数呈 LH 权衡关系的区域主

要分布在平都镇,主要是由于平都镇社会保障功能较弱所导致的。从图 4D 可以看出,耕地的生态调节-景观休憩功能呈现 HL、LH 的权衡区域主要分布在西北部区域并且逐步扩张,西南部少量村呈现权衡关系,整体呈收敛趋势,平都镇关

系较为复杂,大多数呈现权衡关系,少部分呈现 HH 协同关系。究其原因主要是安福县西北部区域耕地生态调节功能逐渐增强,景观休憩功能却维持在较低水平所致。

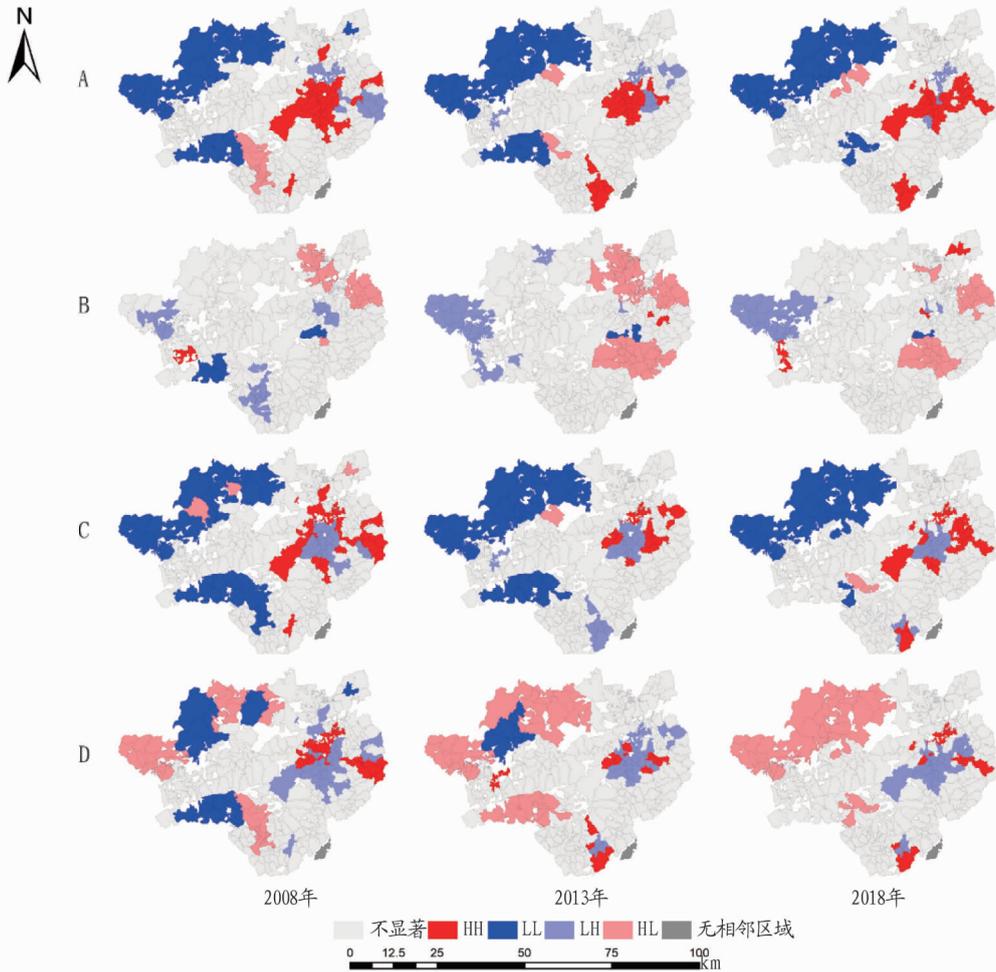
表 4 耕地多功能双变量全局空间自相关指数

Table 4 Multifunctional bivariate global spatial autocorrelation index of cultivated land

年份 Year	生产-社会保障功能 Production-social security function	生产-生态调节功能 Production-ecological regulation function	生产-景观休憩功能 Production-landscape rest function	社会保障-生态调节功能 Social security-ecological regulation function	社会保障-景观休憩功能 Social security-landscape rest function	生态调节- 景观休憩功能 Ecological regulation- landscape rest function
2008	0.209(6.912 0)**	-0.041(-1.431 4)	0.503(15.352 6)**	-0.334(-10.754 9)**	0.227(8.986 8)**	-0.121(-0.418 0)**
2013	-0.002(-0.112 6)	-0.041(-1.229 5)	0.461(13.235 5)**	-0.422(-12.946 4)**	0.218(7.181 6)**	-0.313(-9.597 3)**
2018	0.332(10.660 2)**	-0.315(-10.403 6)**	0.496(14.618 1)**	-0.254(-8.457 4)**	0.164(5.447 6)**	-0.284(-9.328 1)**

注:括号内数值为对应的 Z 值; ** 表示置信度为 0.001

Note: The value in brackets is the corresponding Z value; ** means the confidence level is 0.001



注:A.生产-景观休憩功能;B.社会保障-生态调节功能;C.社会保障-景观休憩功能;D.生态调节-景观休憩功能

Note: A. Production-landscape rest function; B. Social security-ecological regulation function; C. Social security-landscape rest function; D. Ecological regulation-landscape rest function

图 4 不同功能之间局部空间关联

Fig.4 Local spatial correlation between different functions

3 结论与讨论

3.1 结论 该研究在耕地多功能评价的基础上识别各项功能时空变化特征,并分析耕地各项功能以及功能之间在全局和局部的权衡与协同性。结论如下:

(1) 2008—2018 年耕地的生产功能、社会保障、景观休憩

功能整体呈下降趋势,生态调节功能不断提升。从空间上看,耕地资源的生产功能分值较高区域主要分布在安福县中部区域和东部区域,并且东部区域耕地生产功能逐渐减弱;耕地的社会保障功能整体逐渐减弱,社会保障功能较高区域主要分布在平都镇的周边乡镇;生态调节功能较高区域由西

南南部逐渐向东北部扩张,到 2018 年安福县县域内耕地生态调节功能整体趋于均衡;耕地景观休憩功能空间分布整体较为稳定,平都镇周边部分村略有降低。

(2)单一耕地功能在空间上整体呈现协同关系,但是呈现协同的区域有一定的变化。耕地的生产功能维持在一个较高的协同水平,安福县南部呈协同区域整体收缩;呈现 LL 协同的区域主要分布在安福县西北部,并向东北方向扩张。社会保障功能协同性变化较小,呈现 HH 协同的区域主要分布在安福县东南部地区,少量分布在安福县东北部;呈现 LL 协同的区域主要分布在安福县西南部,西北部区域呈现 LL 协同区域明显扩张。生态调节功能呈现协同的区域整体有所增加并趋于均衡。

(3)不同功能之间耕地的权衡与协同关系较为复杂,在空间上相关关系既有呈现协同关系区域也有呈现权衡关系区域。耕地的生产-景观休憩功能、社会保障-生态调节功能之间在空间上呈相互增益的协同关系,且协同性有所下降;其中,呈现 HH 协同的区域主要分布在平都镇周边,呈现 LL 协同的区域主要分布在安福县西北部。社会保障-景观休憩功能、生态调节-景观休憩功能在空间上主要呈现权衡关系,社会保障-景观休憩功能之间的权衡关系有所下降,生态调节-景观休憩功能之间的权衡关系有所提升。社会保障-景观休憩功能呈现 HL 权衡关系的区域主要分布在安福县东部乡镇,呈现 LH 权衡关系的区域主要分布在安福县西部并逐渐收敛于钱山乡;生态调节-景观休憩功能之间呈现 HL 权衡关系的区域主要分布在安福县西北部和西南部,且西北部权衡关系区域逐渐扩大,西南部权衡关系区域逐渐缩小并收敛于平都镇。

3.2 讨论

(1)全面认识耕地资源多功能价值内涵有利于核算耕地多功能价值,合理地保护和利用耕地。

(2)耕地各项功能之间不是相互独立的,而是相互影响的。耕地的生产功能、社会保障功能、生态调节功能和景观休憩功能之间在空间上呈相互增益的协同关系或者此消彼长的权衡关系,这与王成等^[29,36]的研究结论一致。

(3)耕地资源空间上的分布差异受到地形地势的影响较大,海拔较高的地区耕地多功能价值整体较弱,平原地区耕地多功能价值相对较强。从时间序列变化看,耕地多功能的时间变化受农业从业人口数量和实际种植面积等因素影响较大。

(4)该研究中多采用社会统计数据,仅探索村级尺度上耕地资源不同功能之间的协同与权衡性,后续将选取遥感数据、土壤属性数据等在图斑尺度上对耕地资源多功能价值进行评价分析,并分析功能之间的协同与权衡关系的差异性。

(5)综合考虑县域内各乡镇耕地面积、耕地产能。针对安福县西北部地区,重点进行增施绿肥和高标准农田建设,提高耕地产值;鼓励农地流转,加大耕地种植补偿力度,减少耕地抛荒,保证耕地合理的种植;对于耕地不同功能之间呈 HH 协同关系的区域划为“优势区”,呈 LL 协同关系的区域划为“提升区”,对于呈 LH 和 HL 权衡区域重点治理,努力将

其转变为 HH 或 LL 协同区,促进耕地各项功能之间全面协同发展。

参考文献

- [1] 唐秀美,陈百明,刘玉,等.耕地生态价值评估研究进展分析[J].农业机械学报,2016,47(9):256-265.
- [2] 祁欣欣,许实,方斌.基于耕地非经济价值基础的省级耕地保护责任量配置[J].中国土地科学,2015,29(7):89-97.
- [3] 刘彦随,乔陆印.中国新型城镇化背景下耕地保护制度与政策创新[J].经济地理,2014,34(4):1-6.
- [4] 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.
- [5] SHIRATANI E, KIRI H, TANJI H. Economic valuation of the agricultural impact on nitrogen in the water environment by a newly proposed replacement cost method[J]. Japan agricultural research quarterly, 2008, 42(4): 285-289.
- [6] SONG X Q, HUANG Y, WU Z F, et al. Does cultivated land function transition occur in China? [J]. Journal of geographical sciences, 2015, 25(7): 817-835.
- [7] DE GROOT R S, WILSON M A, BOUMANS R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. Ecological economics, 2002, 41(3): 393-408.
- [8] STEWART P A, LIBBY L W. Determinants of farmland value: The case of DeKalb County, Illinois[J]. Review of agricultural economics, 1998, 20(1): 80-95.
- [9] AVRAMCHUK B. Features of the formation of agricultural land value in the European countries [J]. Землеустрій, кадастр і моніторинг земель, 2017(4): 84-89.
- [10] 吴萌,任立,甘臣林,等.城市近郊区农户土地投入行为绩效评价及障碍因子诊断——耕地多功能价值视角下的多群组对比分析[J].中国土地科学,2020,34(2):37-45.
- [11] 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.
- [12] 辛芸娜,孔祥斌,鄢文聚.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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 胡伟艳,魏安奇,赵志尚,等.农地多功能供需错位与协同作用研究进展及趋势[J].中国土地科学,2017,31(3):89-97.
- [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] 朱金峰,周艺,王世新,等.白洋淀湿地生态功能评价及分区[J].生态学报,2020,40(2):459-472.
- [19] 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.
- [20] 靳文娟,边振兴,魏忠义,等.沈阳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.
- [21] 柴铎,林梦柔.基于耕地“全价值”核算的省际横向耕地保护补偿理论与实证[J].当代经济科学,2018,40(2):69-77.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 彭张林.综合评价过程中的相关问题及方法研究[D].合肥:合肥工业大学,2015:163.
- [25] 刘勇,JEFFREY FORREST,刘思峰,等.一种权重未知的多属性多阶段决策方法[J].控制与决策,2013,28(6):940-944.
- [26] 柴铎,林梦柔.基于耕地“全价值”核算的省际横向耕地保护补偿理论与实证[J].当代经济科学,2018,40(2):69-77.
- [27] 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.
- [28] 朱金峰,周艺,王世新,等.白洋淀湿地生态功能评价及分区[J].生态学报,2020,40(2):459-472.
- [29] 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.

成,还可促进成花、座果及果实膨大,从而利于产量提高^[16-17]。“在小区试验及中试推广中,施用纽翠绿”腐殖酸有机液肥的椪柑综合品质及树势明显比施用复合肥效果好,

这与前人的研究结果相似,液肥在促进椪柑果实生长、提高果实可溶性固形物方面具有明显的作用。

表7 “纽翠绿”腐殖酸有机液肥中试数据

Table 7 Pilot-scale data of “New Green” humic acid organic liquid fertilizer

年份 Year	施用“纽翠绿”有机液肥椪柑园 Applying “Nuculu” organic liquid fertilizer mandar orchard			施用45%硫酸钾复合肥椪柑园 Applying 45% potassium sulphate compound fertilizer mandar garden		
	产量 Yield t/hm ²	优质果率 High quality fruit rate//%	可溶性固形物含量 Soluble solid content//%	产量 Yield t/hm ²	优质果率 High quality fruit rate//%	可溶性固形物含量 Soluble solid content//%
2016	31.50	78.5	12.58	29.65	75.3	12.10
2017	31.26	76.2	12.61	29.54	72.5	11.67
2018	31.17	75.8	12.35	29.18	73.4	11.75
2019	31.22	76.4	12.46	29.58	76.0	12.24
平均 Average	31.29	76.7	12.50	29.49	74.3	11.94

磷是作物生长发育中必需的三大营养元素之一,并能提高作物的抗旱、抗寒和抗病能力^[17-18];土壤是作物所需钾素的重要来源^[17,19]。过度施用复合肥等化学肥料,加重土壤的酸化。土壤酸化会加速矿质元素的淋失,使土壤贫瘠化^[20]。研究表明,磷、钾肥对柠檬酸合成起重要作用,呈显著负相关^[21]。同时,果实糖酸含量与果实风味特性具有重要关系,总体而言,人们对糖酸含量都高、但糖酸比更低的果实更为喜爱^[20]。因此减少化学肥料、加大有机肥使用量,能够明显提高椪柑果实品质,这与该研究结果基本一致。液肥为椪柑果树提供了需要的营养物质和微量元素,充分发挥了腐殖酸有机肥自身的长处,有利于果实的生长,产量也得到进一步提高。水肥一体化是现代柑橘生产施肥技术发展的趋势,“纽翠绿”腐殖酸有机液肥肥效高、吸收快、营养元素全面,是当前果园推广水肥一体化的首选肥料。

施用“纽翠绿”腐殖酸有机液肥,椪柑叶片深绿,产量增加,优质大果率提高,果实品质也得到改善,且不会引起浮皮现象。然而,要扩大应用有机液肥,特别是全年在椪柑种植上使用有机液肥,合理搭配施肥及根部浇施方法,以及对改善椪柑成年园的土壤结构等方面,最终实现理想的设计目标还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 鲍江峰,夏仁学,彭抒昂,等.三峡库区纽高尔脐橙园土壤营养状况及其对果实品质的影响[J].中国土壤与肥料,2006(3):16-20.
- [2] 鲁剑巍,陈防,王富华,等.湖北省柑橘园土壤养分分级研究[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):390-394.
- [3] 刘云,黎纯斌,杨青,等.宜昌市窑湾乡柑橘园施肥现状及土壤肥力调查

- 研究[J].现代农业科技,2012(6):286-287,292.
- [4] 廖平伟,彭顺田,田茂林,等.泸溪县柑橘产业分析[J].中国农业信息,2012(20):59-60.
- [5] 彭际森,周海生,杨雪华,等.牦牛粪专用肥对椪柑综合品质的影响[J].浙江柑橘,2018,35(1):10-14.
- [6] 杨胜陶,向德明.椪柑丰产栽培技术[M].长沙:湖南科学技术出版社,1993:61-82.
- [7] 李文涛,杨江波,余倩倩,等.柑橘施肥养分推荐方法研究进展[J].安徽农业科学,2017,45(28):7-10.
- [8] 罗尊长,余崇祥,唐瑞宝.丘陵红壤低产桔园的培肥及效应[J].湖南农业科学,1990(3):41-43,47.
- [9] 何天富.柑橘学[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [10] 李三玉,程绍南,王元裕,等.当代柑桔[M].成都:四川科学技术出版社,1990.
- [11] 曹明,杨小锋.有机液肥在果树上的应用效果研究进展[J].现代农业科技,2017(17):86,88.
- [12] 孙婷,杨晓军,王小宇,等.腐植酸类有机液肥对柑橘产量的影响[J].腐植酸,2017(1):49-52.
- [13] 李振轮,谢德体,魏朝富,等.柑桔生长与土壤环境[J].中国南方果树,2001,30(3):17-19,21.
- [14] 褚长彬,吴淑杭,张学英,等.有机肥施用方式对柑橘园土壤肥力和柑橘养分、品质的影响[J].上海农业学报,2012,28(1):65-68.
- [15] 邓孝祺.有机肥与化肥配施对柑橘园土壤理化性状的影响[J].浙江柑橘,2002,19(2):19-20.
- [16] 王秀英.重庆地区柑橘园土壤养分现状及优化施肥研究[D].重庆:西南大学,2011.
- [17] 陈家龙,张兴元,解文贵,等.贵州山地柑桔园营养特性研究[J].西南农业学报,1995,8(2):75-82.
- [18] 李贵美.山东桃园土壤养分状况评价与需肥特性研究[D].泰安:山东农业大学,2011.
- [19] 何懿平,伍存志,伍兴甲.江永县柑橘园肥力状况及施肥建议[J].湖南农业科学,2015(8):79-82.
- [20] 王男麒,彭良志,淳长品,等.赣南柑桔园背景土壤营养状况分析[J].中国南方果树,2012,41(5):1-4.
- [21] 刘运武.施用氮肥对温州蜜柑产量和品质的影响[J].土壤学报,1998,35(1):124-128.

(上接第91页)

- [30] 孙艺杰,任志远,郝梦雅,等.黄土高原生态系统服务权衡与协同时空变化及影响因素:以延安市为例[J].生态学报,2019,39(10):3443-3454.
- [31] 杨晓楠,李晶,秦克玉,等.关中一天水经济区生态系统服务的权衡关系[J].地理学报,2015,70(11):1762-1773.
- [32] 姚小薇,曾杰,李旺君.武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J].农业工程学报,2015,31(9):249-256.

- [33] 张晗,赵小敏,欧阳真程,等.多尺度下的南方山地丘陵区耕地质量空间自相关分析:以江西省黎川县为例[J].中国生态农业学报,2018,26(2):263-273.
- [34] 李欣,方斌,殷如梦,等.江苏省县域“三生”功能时空变化及协同/权衡关系[J].自然资源学报,2019,34(11):2363-2377.
- [35] 孙艺杰,任志远,赵胜男,等.陕西河谷盆地生态系统服务协同与权衡时空差异分析[J].地理学报,2017,72(3):521-532.
- [36] 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.