湖北省耕地资源安全时空特征及其障碍因子

冯悦[1] 黄烈佳[1] 张波清[21]

(1.湖北大学 商学院,湖北 武汉 430062;

2.武汉原点勘测设计工程有限公司,湖北 武汉 430070)

【摘 要】:为了识别耕地资源安全的动态变化特征及其障碍因子,促进区域耕地资源可持续利用,本文基于湖北省2008—2017年的4期数据,从耕地资源的数量安全、质量安全、生态安全的视角,运用熵权法、综合指数法及空间分析法系统探讨了湖北省耕地资源安全的时空特征及其障碍因子。研究得出:2008—2017年湖北省耕地资源安全呈上升趋势,其中,质量安全与生态安全呈上升趋势,数量安全呈下降趋势;湖北省耕地资源安全呈现出明显的空间差异性,总体上呈现由西向东递减趋势;数量安全呈现中部高,东部低,西部偏低的空间格局、质量安全呈现中部高、东西低的空间格局、生态安全呈现西高东低的空间格局;影响湖北省耕地资源安全的主要因素为地形、水资源及森林资源状况等自然因素以及城市发展的程度,农业设施完善程度,农药施用情况等人为因素。研究结果可为湖北省耕地资源保护制定有针对性的政策提供理论与实践指导。

【关键词】:耕地资源安全 时空格局 熵权法 障碍度模型

【中图分类号】:TB**【文献标识码】**:A

2020年中央一号文件明确强调:“确保粮食安全始终是治国理政的头等大事”。作为生产粮食的载体,耕地资源的安全是粮食安全的根本。近年来,随着经济社会的发展,城市化的推进,人地矛盾日益突出,出现了耕地数量减少,耕地质量下降以及耕地生态恶化等问题,耕地资源安全问题愈发严重,耕地保护形势仍然严峻。系统分析耕地资源安全时空格局及其障碍因子,了解和掌握耕地资源安全状态,诊断耕地资源安全的影响因素,促进耕地资源的可持续利用是我国政府亟待解决的一项重大课题,也是学术界关注的热点。近年来,国外学者主要通过土地利用变化以及耕地变化的驱动力对耕地资源进行相关研究,侧重于国家或者地区的大尺度研究,研究认为生物物理、社会经济和邻近因素是耕地变化的主要影响因素,并且人口密度与耕地扩张呈负相关。土地利用变化的主要原因是气候,社会经济、制度的变化,同时与人类活动强度的增加有关。国内学者对耕地资源安全的研究主要包括以下四个方面:

一是耕地资源安全内涵研究。一般认为,耕地资源安全是指一个国家或地区可以持续保障生物群落(主要指人类)健康生存的耕地资源状态或能力。

二是耕地资源安全评价研究,可分为耕地资源安全评价指标体系构建和评价方法研究两个方面。任家强等运用压力—状态—响应(PSR)模型,对耕地资源安全评价指标体系进行构建,并采用熵权法计算各评价指标的权重;蔡银莺等运用“隐患—状态—免疫”模型,构建耕地资源生态安全评价指标体系,采用改进型全排列多边形综合图示法和空间自相关法对江汉平原耕地资

[1]**作者简介**:冯悦(1994-),男,浙江兰溪人,硕士研究生,湖北大学商学院,研究方向:土地资源管理;
黄烈佳(1978-),女,苗族,贵州松桃人,管理学博士,湖北大学商学院副教授,研究方向:土地保护、土地资源经济;
张波清(1977-),男,湖北洪湖人,武汉原点勘测设计工程有限公司,研究方向:土地测绘、土地利用规划。

源生态安全的时空差异特征及空间集聚格局进行了分析；耕地资源安全的评价方法比较多，如空间自相关法、综合评价法、熵权法、TOPSIS 模型、灰色系统理论等，其中熵权法在研究中运用的较广泛与成熟。

三是耕地资源安全影响因素及预警与耕地保护研究。朱红波等从数量安全、生态安全角度探讨了我国耕地资源安全的时空差异，得出影响区域耕地资源数量安全的主要因素是人均未利用土地面积、人均补充耕地面积、人均耕地面积和耕地保护意识等，影响耕地资源生态安全障碍因素因不同的经济发展水平具有明显的差异性。徐宪立等研究得出我国耕地资源的耕地减少的直接因素为建设占用、灾毁、生态退耕、农业结构调整，其中生态退耕是耕地减少的主要因素。宋伟等设计和建立中国耕地资源安全预警系统，为耕地资源安全预警技术规范的编制和耕地资源的合理保护利用提供了参考；王盼盼等从压力、状态、响应三个子系统构建耕地资源安全预警指标体系对黑龙江省耕地资源安全进行了预警分析，研究成果为保护耕地资源提供了依据。

四是耕地资源与粮食安全相关性研究。陈先鹏等基于粮食安全和生态安全双重视角，探讨了中国耕地资源利用的安全区间，认为 1.20×10^{8}～$1.44\times10^{8}hm^{2}$ 是相对合理的设定，其为双向识别合理区间范围、科学预警耕地面积异常变动提供了一种尝试。针对粮食生产与耕地资源的变化规律对区域粮食安全等问题，杨奎等采用变异系数法、修正后的耕地压力指数及 GM(1,1)模型，对陕甘宁蒙能源富集区粮食生产与耕地资源的变化情况进行分析与预测。

综上，前人从不同的视角对耕地资源安全进行了大量研究，并取得了丰硕的成果，为耕地资源安全的进一步研究提供了基础。但是目前的研究多基于压力—状态—响应(PSR)模型对耕地资源安全进行评价，并且研究选择数量、质量，或生态安全的单因子研究较多；研究尺度包括城市群，省域、市(县)域，但围绕城市群，或省域的较大尺度的研究较多。同时，耕地资源具有明显的空间差异性，有必要从时空的角度探讨耕地资源安全的动态变化，为进一步完善耕地保护政策提供依据。湖北省作为国家重要的商品粮基地，素有“两湖熟，天下足”的美誉，其耕地资源的安全尤为重要。鉴于此，从耕地数量、质量、生态“三位一体”的角度，运用熵权法、综合指数法及空间分析法探讨 2008—2017 年湖北省耕地资源安全的时空特征与障碍性因子，以期为湖北省耕地资源安全、可持续利用及其保护政策制定等提供理论借鉴。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域

湖北省，简称“鄂”,省会武汉。地处中国中部地区，东邻安徽，西连重庆，西北与陕西接壤，南接江西、湖南，北与河南毗邻，介于北纬 29° 01′ 53″-33° 6′ 47″ 、东经 108° 21′ 42″-116° 07′ 50″ 之间，东西长约 740 千米，南北宽约 470 千米，总面积 18.59 万平方千米，占中国总面积的 1.94%。其中，山地占 56%,丘陵占 24%,平原湖区占 20%,地势大致为东、西、北三面环山，中间低平，略呈向南敞开的不完整盆地。目前，全省共辖 13 个地级行政区，包括 12 个地级市、1 个自治州，分别是武汉市、黄石市、十堰市、宜昌市、襄阳市、鄂州市、荆门市、孝感市、荆州市、黄冈市、咸宁市、随州市、恩施土家族苗族自治州；4 个省直辖县级行政单位，包括 3 个县级市、1 个林区，分别是仙桃市、潜江市、天门市、神农架林区。2017 年耕地总面积 5.23 万平方千米，占全国耕地总面积的 3.88%。GDP 总量为 36523 亿元，在全国排名第七。城镇化率达到 59.3%,常住人口为 5902 万人，其中农村人口为 2402 万人。全省除高山地区属高山气候外，大部分地区属亚热带季风性湿润气候。平均日照时数呈现由鄂东北向鄂西南逐渐递减趋势。全省年平均气温 15～17℃,冬冷夏热。各地平均降水量在 800～1600 毫米之间。降水地域分布呈由南向北逐渐递减趋势。湖北省作为产粮大省，是我国十三个粮食主产区之一。2017 年，湖北省粮食产量全国占比为 4.21%,其粮食生产对于保障国家的粮食安全具有重要的作用。

1.2 数据来源及标准化处理

数据主要来源于 2009 年、2012 年、2015 年、2018 年《湖北省统计年鉴》《中国城市统计年鉴》,部分数据由以上数据计算所得。同时，鉴于不同的评价指标具有不同的计量单位，这里利用极差标准化对数据进行无量纲处理，由于直接利用极差标准

化方法将产生零数据，为避免零数据，采取以下调整系数将数据映射到[0,1]内。

$$Y_i^* = \frac{0.9(Y_i - \min)}{(\max - \min)} + 0.1 \quad \text{正指标} \qquad (1)$$

$$Y_i^* = \frac{0.9(\max - Y_i)}{(\max - \min)} + 0.1 \quad \text{负指标} \qquad (2)$$

公式中，Y_i^*为标准化后的数据；Y_i为原始数据；max 为该数据集中的最大值；min 为该数据集中的最小值。如果原始数据的指标值越大越好，则选公式(1);如果原始数据的指标值越小越好，则选公式(2)。

表 1 耕地资源安全评价体系

目标层	系统层	指标层	权重	意义	安全趋向
耕地资源安全	数量安全	X1:人均耕地面积(hm^2/人)	0.044	区域内人均占有的耕地面积	正
		X2:城镇化水平(%)	0.034	区域城镇人口占区域城乡总人口比率	负
		X3:人口自然增长率(%)	0.008	一定时期内人口自然增加数与同期平均总人数之比	负
		X4:人均粮食占有量(kg/人)	0.066	区域内每个人所拥有的粮食数量	正
		X5:人口密度(人/km^2)	0.025	单位土地面积上居民数量	负
		X6:耕地面积减少率(%)	0.055	本年度耕地面积在上年度耕地面积基础上减少的百分比	负
	质量安全	X7:农民人均纯收入(元)	0.077	从各来源得到的总收入相应扣除所发生费用后的收入	正
		X8:耕地粮食单产(kg/hm^2)	0.053	区域内平均每公顷所产生的粮食数量	正
		X9:有效灌溉面积比(%)	0.068	有效灌溉的耕地面积占耕地总面积的比重	正
		X10:农业机械总动力(kW)	0.088	用于农业的各种机械的动力总和	正
		X11:公路密度(km/km^2)	0.028	每平方公里所拥有的公路总里程数	负
		X12:人均 GDP(元/人)	0.098	一定时期内实现的国内生产总值与总人口之比	正
		X13:耕地复种指数(%)	0.021	一定时期内农作物播种面积与耕地面积之比	正
		X14:地均水资源(万 m^3/km^2)	0.105	单位耕地面积所占有的水资源量	正
	生态安全	X15:单位耕地面积化肥负荷(kg/km^2)	0.015	区域化肥施用量与耕地面积之比	负
		X16:单位耕地面积农药负荷	0.038	区域农药施用量与耕地面积之比	负

		(kg/km^2)			
		X17:森林覆盖率(%)	0.076	森林面积占土地总面积的比率	正
		X18:污水集中处理率(%)	0.015	经过处理的生活污水、工业污水占污水排放总量的比重	正
		X19:工业废水排放量(万 t)	0.026	经过企业厂区所有排放口排到企业外部的工业废水量	负
		X20:工业固体废物产生量(万 t)	0.035	企业在生产过程中产生的固体、半固体状废弃物的总量	负
		X21:工业二氧化硫排放量(t)	0.025	燃料燃烧和生产工艺过程中排入大气的二氧化硫数量	负

2 评价指标体系及研究方法

2.1 评价指标体系

目前，学术界在研究耕地资源安全时普遍把耕地资源安全分为数量安全、质量安全和生态安全三个方面的内容。一是数量安全是指为满足人类社会基本生存和发展需求的数量状态；二是质量安全指耕地生产能力得到有效保护，质量有改善的状态；三是生态安全指耕地开发利用的生态环境负面影响小，利用可持续的状态。关于评价指标的选取，在借鉴相关研究及综合专家建议的基础上，遵循指标的科学性、全面性、数据可得性等原则，从耕地的数量安全、质量安全、生态安全三个维度出发，构建了湖北省耕地资源安全评价体系(表 1),其中指标权重由熵权法确定。

2.2 研究方法

2.2.1 熵权法

熵权法是一种客观赋权法，其根据各指标的变异程度，利用信息熵计算出各指标熵权，再通过熵权对各指标的权重进行修正，从而得出较客观的指标权重。熵是系统无序程度的一个度量。根据信息熵的定义，对于某项指标，可以用熵值来判断某个指标的离散程度，其熵值越小，指标的离散程度越大，则该指标对综合评价的影响(即权重)就越大；反之，则越小。公式如下：

$$H_i = -\frac{1}{\ln m}\sum_{j=1}^{n} Y_{ij}\ln Y_{ij} \qquad (3)$$

$$W_i = \frac{1-H_i}{m-\sum_{i=1}^{m} H_i} \qquad (4)$$

公式中，H_i为第 i 个指标的信息熵；W_i为第 i 个指标的熵权；Y_{ij}为极差标准化的值；m 为指标个数；n 为研究单元个数。

2.2.2 综合指数法

综合指数法是在安全评价研究中运用的最为成熟的一种方法。它根据各项评价指标数值的大小及对应权重来对耕地资源安全进行评价。公式如下：

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} W_j \cdot P_{ij} \qquad (5)$$

公式中，S_i为第 i 市的耕地资源安全水平；W_j为第 j 项指标的熵权；P_{ij}为第 i 市第 j 项标准化的数值。

2.2.3 障碍度模型

障碍度模型可诊断出影响耕地资源安全的障碍因子及其影响程度的大小。公式如下：

$$O_n = \frac{I_n \cdot Y_n}{\sum_{i=1}^{21}(I_i \cdot Y_i)} \cdot 100\% \qquad (6)$$

$$I_n = 1 - X'_n \qquad (7)$$

公式中，O_n为障碍度，表示指标 n 对耕地资源安全的影响大小；Y_n为因子贡献度，表示因子对目标的贡献度(即因子的权重W_n)；I_n为指标偏离度，表示该指标的实际值与最优值的差距，可用 1 与指标的标准化值(X'_n)的差值表示。

2.2.4 耕地资源安全评判标准

根据 2017 年湖北省耕地资源安全综合评价结果，运用 ArcGIS 软件中的自然断点法将评价结果分为五类(安全、较安全、临界安全、较不安全、不安全)，见表 2，同时，运用相同的方法将数量安全、质量安全、生态安全的分析结果从高到低也分为五个安全等级(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ)，见表 3，并将评价标准推广至其他年份。

表 2 综合安全程度评价标准

安全程度	安全区间
安全	>0.578
较安全	0.529-0.578
临界安全	0.454-0.529
较不安全	0.423-0.454
不安全	0.000-0.423

表 3 安全等级评价标准

安全等级	安全区间(数量安全)	安全区间(质量安全)	安全区间(生态安全)

Ⅰ级	>0.123	>0.296	>0.175
Ⅱ级	0.108-0.123	0.251-0.296	0.154-0.175
Ⅲ级	0.083-0.123	0.224-0.251	0.133-0.154
Ⅳ级	0.007-0.083	0.203-0.224	0.114-0.133
Ⅴ级	0.000-0.007	0.000-0.202	0.000-0.114

3 研究结果

3.1 耕地资源安全时间特征分析

2008—2017 年湖北省耕地资源数据表明(图 1),耕地资源安全程度呈上升趋势，综合安全值由 0.418 升至 0.514,其中，质量安全值由 0.163 升至 0.253,生态安全值由 0.135 升至 0.156,均呈上升趋势，但数量安全呈下降趋势，其值由 0.120 降至 0.105。质量安全的上升与湖北省农业机械化的发展，耕地粮食单产的增加密不可分。生态安全的上升由于湖北省逐步推行农作物测土配方施肥技术，使得耕地的化肥农药施用量逐渐减少，同时，工业“三废”的排放量也在政府政策的引导下逐渐减排，耕地的污染进一步减小。但数量安全下降的主要的原因是城镇化水平的增长。总体上，2008—2017 年，湖北省耕地资源安全程度处于安全与较安全程度的城市个数呈上升趋势，处于不安全、较不安全、临界安全程度的城市个数呈下降趋势(图 2)。2008 年处于安全与较安全程度的城市为 0 个，处于较不安全程度的城市为 3 个，处于不安全程度的城市为 4 个，2017 年安全与较安全程度的城市分别达到 2 个与 4 个，较不安全与不安全程度的城市减少为 1 个与 3 个，同时临界安全程度的城市减少为 3 个。虽然 2011 年不安全与较不安全的城市数小幅增加，但总体趋势仍向积极方向发展。

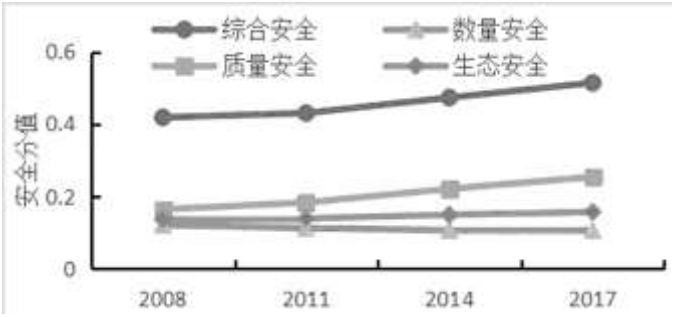

图 1 湖北省耕地资源安全时间变化趋势

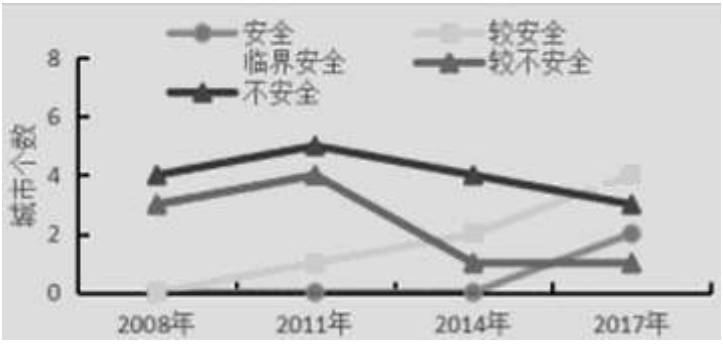

图 2 湖北省耕地资源安全综合评价变化趋势

3.2 耕地资源安全空间特征分析

3.2.1 耕地资源综合安全空间特征

2017 年湖北省耕地资源安全总体上呈现由西向东递减趋势(图 3)。耕地资源安全程度为安全的地区主要集中于鄂中的荆门、襄阳，较安全的地区为随州、荆州、宜昌以及恩施土家族苗族自治州，较不安全的地市为孝感，临界安全的地市为黄冈、咸宁、十堰，除十堰之外，安全程度处于中低水平的地区均以武汉为中心，环武汉分布，不安全的地区主要集中于鄂东的武汉、鄂州、黄石。2008 年，临界安全的地市为鄂西与鄂中的十堰、恩施、襄阳、荆门、随州以及鄂东的咸宁，较不安全的地市为宜昌、荆州以及鄂东的黄冈，鄂东的孝感、武汉、鄂州、黄石处于不安全程度。2008—2017 年湖北省耕地资源综合安全水平显著上升，但在空间分布特征上变化不大，仍是西高东低的分布特征，尤其鄂东的武汉、鄂州、黄石常年处于不安全程度，出现由西向东递减趋势的空间分布特征。主要原因在于城镇化水平的不同，东部城镇化水平与西部相比总体水平要高，人口密度大，并且工业化水平也较高，产生的污染较大，因而，鄂东部耕地资源综合安全水平总体较低。

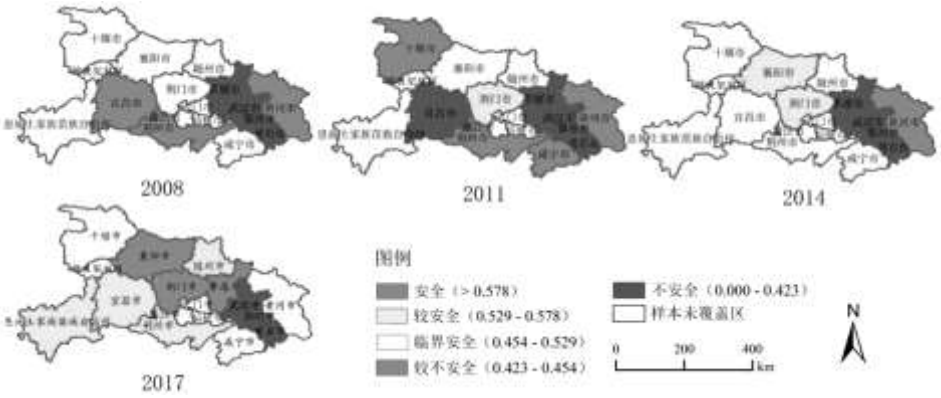

图 3 湖北省耕地资源综合安全时空格局

3.2.2 耕地资源数量安全空间特征

2008—2017 年湖北省耕地资源数量安全水平逐渐降低(图 4),数量安全水平持续保持在高等级(Ⅰ级)的地市为襄阳、荆门、随州，武汉、鄂州两地安全等级一直处于比较低的等级(Ⅴ级、Ⅳ级)。2017 年湖北省耕地资源数量安全程度总体呈现中部高，东部低，西部偏低的空间格局。数量安全等级最高(Ⅰ级)的地市为襄阳、随州、荆门，恩施土家族苗族自治州和荆州的数量安全等级为Ⅱ级，处于较高水平，十堰、宜昌、孝感、黄冈以及咸宁的数量安全等级中等(Ⅲ级),黄石、鄂州的数量安全等级较低(Ⅳ级)等级最低(Ⅴ级)的地市为武汉。2008 年，除了鄂东的孝感、武汉、鄂州、黄石，其余九个地市的安全等级都为安全或较安全程度。黄石在 2011 年耕地资源数量安全等级短暂地变为中等(Ⅲ级),其他年份也一直处于较低(Ⅳ级)的等级。耕地资源数量安全程度中部高的主要原因在于这些地区平原地形较多，比较适宜耕种，人均耕地面积多，人均粮食占有率高，而鄂东耕地资源安全程度较低的主要原因在于鄂东经济发展较好，尤其是武汉第二，第三产业的比重较大，而第一产业的占比较小，人均耕地面积较少，同时城镇化水平，人口自然增长率，人口密度都较高，共同导致武汉的数量安全等级最低。

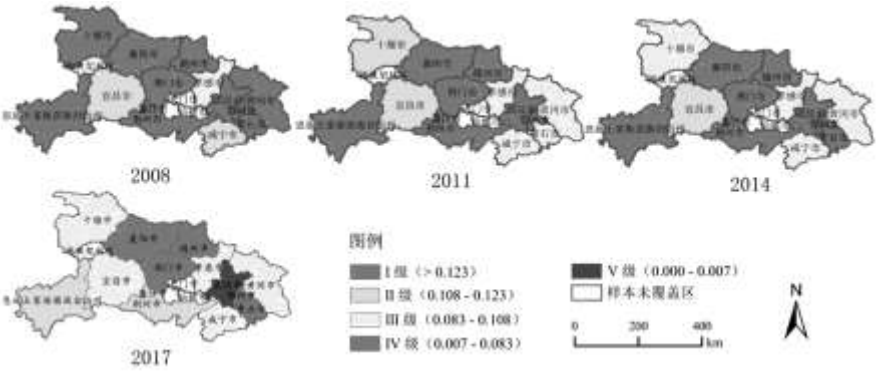

图 4 湖北省耕地资源数量安全时空格局

3.2.3 耕地资源质量安全空间特征

2017 年湖北省耕地资源质量安全程度总体呈现中部高，东西低的空间格局(图 5)。除武汉以外，耕地资源质量安全等级较高(Ⅰ级、Ⅱ级)的地市均在湖北省中部或偏中部的襄阳、荆门、荆州、宜昌，安全等级处于中等(Ⅲ级)水平的地市为恩施土家族苗族自治州、随州、咸宁、黄冈，较低(Ⅳ级)的地市为孝感，质量安全等级最低(Ⅴ级)的地市为鄂州、黄石。2008 年，荆州处于较不安全程度，其余各地市均处于不安全程度。2008—2017 年湖北省耕地资源质量安全水平呈上升趋势，鄂中地区 2008 年大部分地市处于最低等级(Ⅴ级),2017 年耕地资源质量安全处于较高等级(Ⅰ级、Ⅱ级)的地区明显增多，实现了很大的跨越。鄂东与鄂西安全等级虽有提升，但安全等级仍处于中等偏下水平。湖北省中部耕地资源质量安全水平较高主要是由于这些地市农业机械总动力、耕地复种指数、农民人均纯收入总体上都较高，宜昌、襄阳的区域经济发展水平也较好，且地势较平坦，耕地的本底质量较好。荆门和荆州的有效灌溉面积比分别为 80.84%和 90.06%,这也有助于提高耕地资源质量安全程度。鄂西耕地资源质量安全水平较低主要是因为有效灌溉面积与农民纯收入较低，这与鄂东耕地资源质量安全水平低的原因又不相同，鄂东主要是由于公路密度较大，耕地复种指数较低以及地均水资源较少。

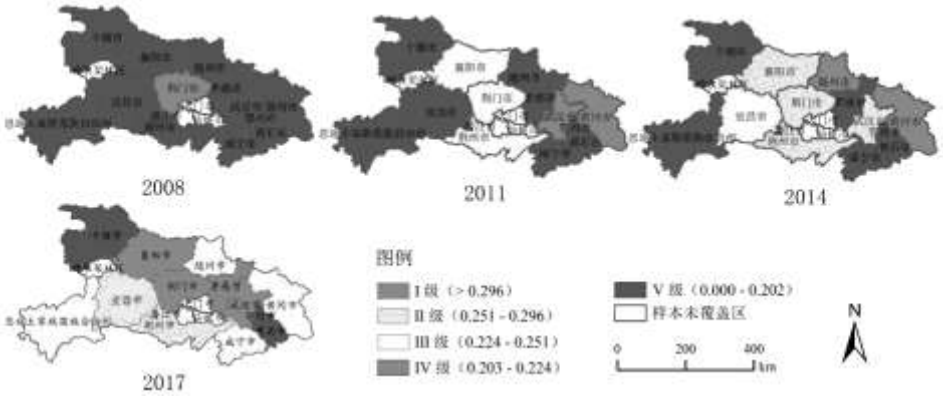

图 5 湖北省耕地资源质量安全时空格局

3.2.4 耕地资源生态安全空间特征

2017 年湖北省耕地资源生态安全程度总体呈现西高东低的空间格局(图 6)。耕地资源生态安全程度最高(Ⅰ级)的地市为鄂西的恩施土家族苗族自治州、十堰以及鄂东的咸宁，安全程度较高(Ⅱ级)的地市为随州、宜昌、黄冈，生态安全程度中等(Ⅲ级)

的地市为襄阳、荆门，安全程度较低(Ⅳ级)的地市主要集中在鄂东的孝感、黄石，以及鄂中的荆州，安全等级最低(Ⅴ级)的地市为武汉、鄂州。2008 年，鄂东与鄂中的武汉、鄂州、孝感、黄石、荆门、荆州安全等级最低(Ⅴ级),鄂西的十堰、恩施及鄂东的咸宁安全等级最高(Ⅰ级)。总的来看，2008—2017 年湖北省耕地资源生态安全水平小幅上升，2008 年生态安全等级较高的地市到 2017 年生态安全等级仍较高，并且鄂中地区生态安全等级较低的地市逐渐减少。十堰、恩施土家族苗族自治州、咸宁在十年中均是生态安全等级高(Ⅰ级)的地市，而武汉的安全等级一直处于最低(Ⅴ级)。鄂西的恩施、十堰山地较多，森林覆盖率较高，同时单位面积农药、化肥的负荷较低，因而农业生产活动对耕地的破坏程度较低，两地的工业废水排放量以及工业固体废弃物产生量也较低，因而耕地资源生态安全水平较高。而鄂东的武汉耕地资源生态安全程度低的主要原因是森林覆盖率低以及工业废水排放量、工业固体废弃物产生量、工业二氧化硫排放量都较高。鄂州由于单位面积化肥施用量较高以及森林覆盖率较低。

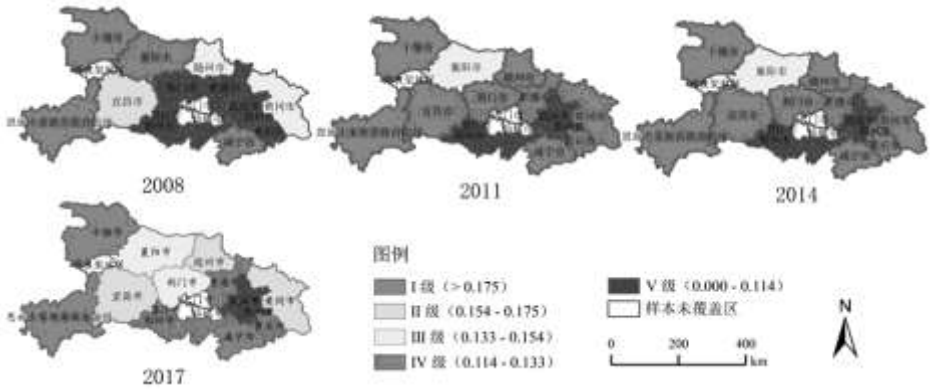

图 6 湖北省耕地资源生态安全时空格局

3.3 耕地资源安全障碍因子

表 4 耕地资源数量安全主要障碍因子

年份	指标	指标排序		
		1	2	3
2008	障碍因子	X4	X6	X1
	频次(次)	13	12	12
	频率(%)	100	92.31	92.31
2011	障碍因子	X6	X4	X1
	频次(次)	13	12	9
	频率(%)	100	92.31	69.23
2014	障碍因子	X6	X4	X1/X2
	频次(次)	13	11	7

	频率(%)	100	84.62	53.85
2017	障碍因子	X6	X4	X2
	频次(次)	13	12	9
	频率(%)	100	92.31	69.23

表 5 耕地资源质量安全主要障碍因子

年份	指标	指标排序		
		1	2	3
2008	障碍因子	X12	X14	X10/X7
	频次(次)	13	10	8
	频率(%)	100	76.92	61.54
2011	障碍因子	X12	X14	X10/X7
	频次(次)	13	11	7
	频率(%)	100	84.62	53.85
2014	障碍因子	X14	X12	X10
	频次(次)	11	11	9
	频率(%)	84.62	84.62	69.23
2017	障碍因子	X10	X12	X14
	频次(次)	11	10	10
	频率(%)	84.62	76.92	76.92

表 6 耕地资源生态安全主要障碍因子

年份	指标	指标排序		
		1	2	3
2008	障碍因子	X17	X16	X21
	频次(次)	12	11	6
	频率(%)	92.31	84.62	46.13

2011	障碍因子	X17	X16	X20
	频次(次)	12	10	7
	频率(%)	92.31	76.92	53.85
2014	障碍因子	X16	X17	X20
	频次(次)	11	10	10
	频率(%)	84.62	76.92	76.92
2017	障碍因子	X17	X16	X20
	频次(次)	12	10	11
	频率(%)	92.31	76.92	84.62

由于所统计的年份、地区较多，文章从系统层(数量、质量、生态)中分别筛选了各地市中障碍度排序进入该系统层前 3 的 4 个频次较高的指标作为影响当年湖北省耕地资源数量安全、质量安全、生态安全的主要障碍因子(表 4、5、6)。从表 4 可以看出，2008—2017 年湖北省耕地资源数量安全主要障碍因子分别为耕地面积减少率、人均粮食占有量、人均耕地面积及城镇化水平，其障碍因子在指标上没有变化，只是在出现的频次上有增减变动。其中影响最广泛的障碍因子为耕地面积减少率，其除了在 2008 年出现的频率为 92.31%之外，其余三个期间出现的频率均为 100%。而耕地面积的变化以及城镇化水平的变化很大程度受地形、城市发展程度的影响，因而，地形、城市发展程度是影响耕地资源数量安全的主要因素。从表 5 可见，2008—2017 年湖北省耕地资源质量安全主要的障碍因子分别为地均水资源、人均 GDP、农业机械总动力及农民人均纯收入。其中 2008 年、2011 年、2014 年主要障碍因子没有较大变化，但 2017 年主要障碍因子在频次上发生了变化，农业机械总动力变为了影响最广泛的障碍因子，说明机械化的影响程度在增加。从质量安全的障碍因子表明，水资源状况以及农业设施完善程度是影响耕地资源质量安全的主要因素。从表 6 可以看出，2008—2017 年湖北省耕地资源生态安全主要的障碍因子为森林覆盖率、单位耕地面积农药负荷、工业固体废物产生量、工业二氧化硫排放量。其中单位耕地面积农药负荷与森林覆盖率这两个主要障碍因子出现的频次最高。因此，从生态安全的障碍因子得出，农药施用情况、森林资源状况是影响耕地资源生态安全的主要因素。

4 结论与建议

4.1 结论

以 2008—2017 年湖北省 13 个地级市为研究单元，运用空间分析法与障碍度模型等方法，分析了湖北省耕地资源安全的时空特征及其障碍因子，研究得出：

(1)湖北省耕地资源安全呈现出明显的时空差异性。时间上，2008—2017 年湖北省耕地资源安全程度呈上升趋势，安全程度逐渐改善，其中，质量安全、生态安全均呈上升趋势，而数量安全呈下降趋势，数量安全下降的主要的原因是城镇化水平的增长。空间上，耕地资源安全总体呈现由西向东递减趋势，安全程度高的地市主要集中于鄂中的襄阳、荆门，安全程度低的地市主要集中于鄂东的武汉、鄂州、黄石；数量安全总体呈现中部高，东部低，西部偏低的空间格局，且鄂中地区数量安全等级一直较高，这些地区平原地形较多，比较适宜耕种，鄂东地区数量安全等级一直较低，主要原因分为两类：一类是城镇化水平较高，对耕地的占用较大，如武汉、鄂州。另一类是受地形影响，山地、丘陵较多使得耕地面积较少，如黄冈；质量安全总体呈现中部高，东西低的空间格局，质量安全等级在鄂中地区涨幅较大，普遍提升 3 个等级以上，鄂中地区质量安全程度较高的主要原因在于区域经济发展水平总体较好，且地势较平坦，耕地的本底质量较好；生态安全总体呈现西高东低的空间格局，生态

安全等级小幅上涨，安全等级较高的地市仍然保持较高等级，并且安全等级较低的地市逐渐减少。耕地资源生态安全程度较高的地市主要表现为森林覆盖率较高，单位面积耕地的农药、化肥的负荷较低，因而对耕地的污染程度较小。

(2)湖北省耕地资源数量安全主要障碍因子为耕地面积减少率、人均粮食占有量、人均耕地面积及城镇化水平；质量安全主要障碍因子为地均水资源、人均 GDP、农业机械总动力及农民人均纯收入；生态安全主要障碍因子为森林覆盖率、单位耕地面积农药负荷、工业固体废物产生量、工业二氧化硫排放量。从障碍因子得出影响耕地资源安全的主要因素为地形、水资源及森林资源状况等自然因素以及城市发展的程度，农业设施完善程度，农药施用情况等人为因素。

4.2 建议

为确保湖北省耕地资源可持续利用，保障粮食生产安全，政府需要因地制宜，根据耕地资源安全状况及其障碍因子，从耕地数量、质量及其生态安全等方面制定差异化的区域性耕地政策。

(1)鄂西要着力加强数量安全的保护力度。

数量安全是保证粮食安全的基本要素，加强底线思维，实行保护责任制，要严格控制耕地向非耕地的转化，国家要施行占用耕地补偿措施，毫不动摇地实行基本农田保护制度。要严守国土空间规划中的“三条控制线”,降低耕地面积减少率，加强城镇周边优质耕地的保护。可通过土地整理、复垦、开发等手段科学地增加耕地数量。摸清耕地资源数量，对于闲置及低效耕地，制定措施充分挖掘潜能。设置专项基金，按照“谁投入、谁开发、谁受益”的原则，对发掘耕地后备资源的个体进行奖励。在城市发展中，严禁建设用地乱占耕地，积极推进土地的集约利用。

(2)鄂中要重点加强生态安全的保护力度。

在确保发展质量和数量时也兼顾生态安全保护。禁止毁林开荒，降低废气、废物、废水的排放，同时合理引导农药、化肥的施用，掌握农药正确施用量，推广施用有机肥减少土壤污染。合理调整土地利用结构以及农业生产结构，在襄阳等地区可发展“立体农业”。针对土壤污染问题，开展污染物监测，严格执行法律法规，对于排放不达标的工业企业给予整改，将污染控制在一定的范围内，并且严格控制高标准农田周围污染物的排放。同时适度加大生态环境治理的资金投入。

(3)鄂东要着重加强质量与生态安全的保护力度。

制定耕地质量保护措施，开展退化耕地治理修复，对使用的每亩耕地精打细算，借鉴黄冈采取“实地对照研判、村镇交流沟通、入户座谈了解”的方式，结合生态保护战略，合理利用水资源，对土地利用进行适宜性评价，从而给出最优的指导意见。在确保耕地数量的基础上，建设高标准农田，可以通过经济补偿手段保障高标准农田的建设，提高农民的生产积极性以及地方政府保护的动力。采取补贴政策，重点支持耕地地力保护和适度规模经营，提高耕地综合生产力。加强耕地占补平衡的监控，对于占用耕地与补充耕地的质量监控，保障耕地的生产力。推广适合不同地形，不同耕地的农业机械设备，提高农业机械设备的使用率。

参考文献：

[1]封乾，牛志君，袁大鹏，等.河北省耕地资源安全评价及预测[J].土壤通报，2017,48(05):1061-1068.

[2]Arowolo A O,Deng X.Land use/land cover change and statistical modelling of cultivated land change drivers in Nigeria[J].Regional Environmental Change,2018,18(1):247-259.

[3]Biazin B,Sterk G.Drought vulnerability drives land-use and land cover changes in the Rift Valleydry lands of Ethiopia[J].Agriculture Ecosystems & Environment,2013,164(Complete):100-113.

[4]Akinyemi,Felicia O.Land change in the central Albertine rift:Insights from analysis and mapping of land use-land cover change in north-western Rwanda[J].Applied Geography,2017,87:127-138.

[5]QIN Weishan,ZHANG Yifeng,LI Guangdong.Driving mechanism of cultivated land transition in Yantai Proper,Shandong Province,China[J].Chinese GeographicalScience,2015,25(003):337-349.

[6]Xu X,Wang L,Cai H,et al.Theinfluences of spatiotemporal change of cultivated land on food crop production potential in China[J].Food Security,2017,9(3):485-495.

[7]Zhang Y X,Wang Y K,Fu B,et al.Changes in cultivated land patterns and driving forces in the Three Gorges Reservoir area,China,from 1992 to 2015[J].Journal of Mountain Science,2020,17(1):203-215.

[8]朱红波.耕地资源安全的内涵与理论基础[J].国土资源科技管理，2008,(03):26-29.

[9]任家强，孙萍，于欢，等.基于PSR和熵值法的县域耕地资源安全评价——以辽宁省辽阳县为例[J].国土资源科技管理，2014,31(03):14-17.

[10]蔡银莺，罗成.江汉平原耕地资源生态安全状况及空间集聚格局[J].华中农业大学学报(社会科学版),2015,(05):110-120.

[11]李丹，刘丹丹，梅晓丹，等.基于栅格的嫩江县耕地资源安全等级划分及地域分异特征[J].水土保持研究，2017,24(04):140-144.

[12]刘圣欢，彭婵.湖北省2005-2014年耕地资源安全研究[J].湖北社会科学，2016,(11):53-58.

[13]匡丽花，叶英聪，赵小敏，等.基于改进 TOPSIS 方法的耕地系统安全评价及障碍因子诊断[J].自然资源学报，2018,33(09):1627-1641.

[14]许月卿，李秀彬.河北省粮食生产灰色关联动态分析[J].地理研究，2002,(03):339-346.

[15]朱红波，张安录.我国耕地资源数量安全的时空差异分析[J].中国人口·资源与环境，2006,(06):113-117.

[16]朱红波，张安录.我国耕地资源生态安全的时空差异分析[J].长江流域资源与环境，2007,(06):754-758.

[17]徐宪立，蔡玉梅，张科利，等.耕地资源动态变化及其影响因素分析[J].中国人口·资源与环境，2005,(03):75-79.

[18]宋伟，陈百明，张英，等.中国耕地资源安全预警系统探讨[J].水土保持研究，2013,20(06):192-196.

[19]王盼盼，宋戈，王越，等.黑龙江省耕地资源安全预警及调控研究[J].土壤通报，2016,47(04):783-789.

[20]陈先鹏，方恺，吴次芳，等.2009-2015 年中国耕地资源利用时空格局变化研究——基于粮食安全与生态安全双重视角[J].水土保持通报，2019,39(03):291-296+306+315.

[21]杨奎，文琦，夏四友，等.陕甘宁蒙粮食生产与耕地资源安全分析[J].测绘科学，2019,44(07):67-73+81.

[22]杨桂山.长江三角洲近 50 年耕地数量变化的过程与驱动机制研究[J].自然资源学报，2001,(02):121-127.

[23]熊鹰，王克林，郭娴，等.湖南省耕地数量动态变化与经济发展关系研究[J].地理与地理信息科学，2003,(05):69-72.

[24]邹健，龙花楼.改革开放以来中国耕地利用与粮食生产安全格局变动研究[J].自然资源学报，2009,24(08):1366-1377.

[25]陈朝，吕昌河.基于综合指数的湖北省耕地质量变化分析[J].自然资源学报，2010,25(12):2018-2029.

[26]陶荣，孔雪松，陈翠芳，等.“二调”以来湖北省耕地变化的时空特征及其驱动因子识别[J].水土保持研究，2019,26(06):290-295.

[27]黄烈佳，杨鹏.长江经济带土地生态安全时空演化特征及影响因素[J].长江流域资源与环境，2019,28(08):1780-1790.

[28]宋伟，陈百明，史文娇，等.2007 年中国耕地资源安全评价[J].地理科学进展，2011,30(11):1449-1455.

[29]吴艳飞，徐羽，徐刚，等.近 14 年安徽省耕地资源安全的时空特征[J].水土保持通报，2017,37(06):236-241+352.

[30]王芳，冯艳芬，卓莉，等.基于改进遗传算法投影寻踪的大城市郊区耕地安全综合评价[J].热带地理，2013,33(04):373-380+406.

[31]刘涛，谢永生，何毅峰，等.陕西省汉台区 1978 年至 2006 年耕地数量变化及驱动力分析[J].资源科学，2009,31(05):816-823.

[32]王国刚，刘彦随，陈秧分，等.中国省域耕地集约利用态势与驱动力分析[J].地理学报，2014,69(07):907-915.

[33]韩书成，李丹，熊建华，等.广州市耕地资源数量变化及其对粮食安全的影响[J].农林经济管理学报，2016,15(06):648-654.

[34]武舜臣，周洲，曹宝明，等.生产区位变迁、耕地资源依赖与区域粮食安全——以江苏为例[J].农业现代化研究，2016,37(06):1061-1067.

[35]杜继丰，袁中友.耕地保护阈值国内研究述评[J].地理与地理信息科学，2013,29(06):45-50.

[36]吴艳飞，徐羽，徐刚，等.2012 年安徽省耕地资源安全综合评价[J].西南师范大学学报(自然科学版),2016,41(01):124-131.

[37]张贵军，赵丽，张蓬涛，等.基于农用地分等的耕地资源安全评价及整治分区[J].农业工程学报，2017,33(16):248-255.

[38]彭文龙，吕晓，辛宗斐，等.国际可持续集约化发展经验及其对中国耕地保护的启示[J].中国土地科学，2020,34(04):18-25.

[39]欧名豪，王坤鹏，郭杰，等.耕地保护生态补偿机制研究进展[J].农业现代化研究，2019,40(03):357-365.

[40]崔悦，张仁慧，赵凯，等.耕地禀赋、非农就业与农户多元耕地保护补偿方式选择[J].农业现代化研究，2020,41(03):511-519.

[41]姜晗，杨皓然，吴群，等.东部沿海经济区耕地利用效率的时空格局分异及影响因素研究[J].农业现代化研究，2020,41(02):321-330.

[42]刘玉，任艳敏，潘瑜春，等.黄淮海地区县域粮食生产空间分异格局及其影响因素探测[J].北京大学学报(自然科学版),2020,56(02):315-323.