

江汉平原耕地资源生态安全状况及空间集聚格局

蔡银莺, 罗 成

(华中农业大学 土地管理学院, 湖北 武汉 430070)



摘要 江汉平原是国家重要的商品粮棉油基地及城市化快速扩张的典型地区, 研究其耕地资源生态安全状况及空间集聚格局可为保障区域粮食安全及促进耕地资源的合理利用提供参考。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源生态安全的时空差异特征及空间集聚格局进行分析。结果表明: 江汉平原耕地资源生态安全整体水平较低, 耕地资源生态安全综合指数为 0.228, 处于不安全状态, 历年耕地资源生态安全综合指数呈波动趋势, 耕地生态系统呈不稳定状态; 江汉平原各市县耕地资源生态安全空间集聚现象不显著, 呈从集聚向离散化扩展的变化趋势, 尚未形成较为稳定的空间格局; 城市化进程加速和非农用地扩张引起的耕地资源大量流失, 是导致目前江汉平原耕地生态安全水平较低的主要原因。

关键词 耕地资源; 生态安全; “隐患—状态—免疫”模型; 空间集聚; 江汉平原

中图分类号: F 323 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-3456(2015)05-0110-11

DOI 编码 10.13300/j.cnki.hnwkxb.2015.05.015

生态文明建设是实现国家社会经济可持续发展的重要战略决策, 党的十八届三中全会《决定》提出: “紧紧围绕建设美丽中国深化生态文明体制改革, 加快建立生态文明制度, 健全国土空间开发、资源节约利用、生态环境保护的体制机制, 推动形成人与自然和谐发展现代化建设新格局。”其中, 土地资源生态安全评价是生态文明建设的前提和基础, 属于生态健康学的重要内容^[1]。耕地资源是我国土地资源中的重要组成部分, 承担着重要复杂的职责及功能, 不仅提供食物、纤维等实物产品, 是国家生存安全的重要保障, 还提供开敞空间、景观、文化服务等非实物型生态服务, 是构建生态良好的土地利用格局的重要组成^[2]。耕地资源的生态安全状况直接关系到国家和地区的粮食安全以及社会稳定, 受到相关部门及学者的广泛关注^[3-8], 相关学者主要强调对耕地资源生态安全评价方法的改进和创新, 以及对评价指标体系的设计^[9-12]。其难点是对耕地资源生态安全内涵进行科学的界定和构建合理的评价指标体系, 其中应用最为广泛的是经济合作与发展组织与联合国环境规划署 20 世纪 80 年代末共同提出 PSR

模型(压力、状态、响应模型)以及改进型 DPSIR 模型(驱动力、压力、状态、影响、响应模型)。王千等曾采用 PSR 模型对河北省 2009 年 138 个县耕地资源生态进行较为全面的评价^[13], 但模型在实际应用中存在着对压力、驱动力、状态等指标内涵界定不清、指标类型判别模糊等问题。在评价方法上, 使用较为成熟的是以熵值法、层次分析法(AHP)和模糊综合评价法等为主导的综合评价法^[14-15], 随着计算机技术的发展, 神经网络、物元模型^[16]、仿真系统等方法 and 模型也逐渐应用于生态安全评价中。例如, 余健等采用物元模型和熵值法对皖江地区 9 个市的生态安全状况进行了评价^[17]。徐美等学者从压力、状态、响应 3 方面构建湖南省土地生态安全预警指标体系, 运用 RBF 模型对 2011—2015 年湖南省土地生态安全演变趋势进行预测, 对湖南省土地生态安全状况进行预警^[18]。张安等在辽宁省凌源市运用 GIS 技术开展了县域尺度的耕地生态环境安全评价研究^[19]。从各种方法使用情况看, 该类方法均存在着参评指标阈值确定难度较大和主观性强等问题, 且单一的综合评价法仅能从时间维度揭示区域耕地

收稿日期: 2014-11-06

基金项目: 国家自然科学基金项目“主体功能区空间规划管制下群体福利均衡与农田生态补偿研究”(40901288); 国家社会科学基金项目“主体功能区划框架下农田生态环境补偿制度设计及效应——‘两型社会’试验区的实证研究”(09CJY021)。

作者简介: 蔡银莺(1979-), 女, 教授, 博士; 研究方向: 土地资源经济与管理。E-mail: caiyinying@mail.hzau.edu.cn

资源生态安全演变规律,无法对耕地资源生态安全状况的空间相关属性进行分析。

江汉平原是我国重要的商品粮棉油基地之一,同时也是城市化快速扩张的典型地区。1996—2008年,耕地资源净减少 498.83 km²,年均减少耕地面积 41.57 km²。城市化进程加速和耕地资源非农化现象突出成为该地区的显著特征之一,分析该时期江汉平原耕地资源的生态安全状况及空间集聚格局具有一定的代表和参考性。本文采用改进型全排列多边形综合图示法和空间自相关分析法,对江汉平原 1996—2008 年各时期耕地资源生态安全时空变

化状况进行评价,并分析其空间集聚格局,为协调江汉平原经济发展与耕地保护关系,保障区域粮食安全及促进耕地资源的合理保护提供参考依据。

一、研究区域概况

江汉平原位于湖北省中南部,是我国重要的商品粮棉油基地和农产品生产基地,主要包括荆州市辖区(荆州区、沙市区、江陵县)、监利县等 16 个市县,如图 1 所示。江汉平原总人口为 1 517.894 5 万人,农业人口 64.6%。江汉平原 GDP 总量为 1 911.78 亿元,年均 GDP 增长速度为 8.1%,城镇化

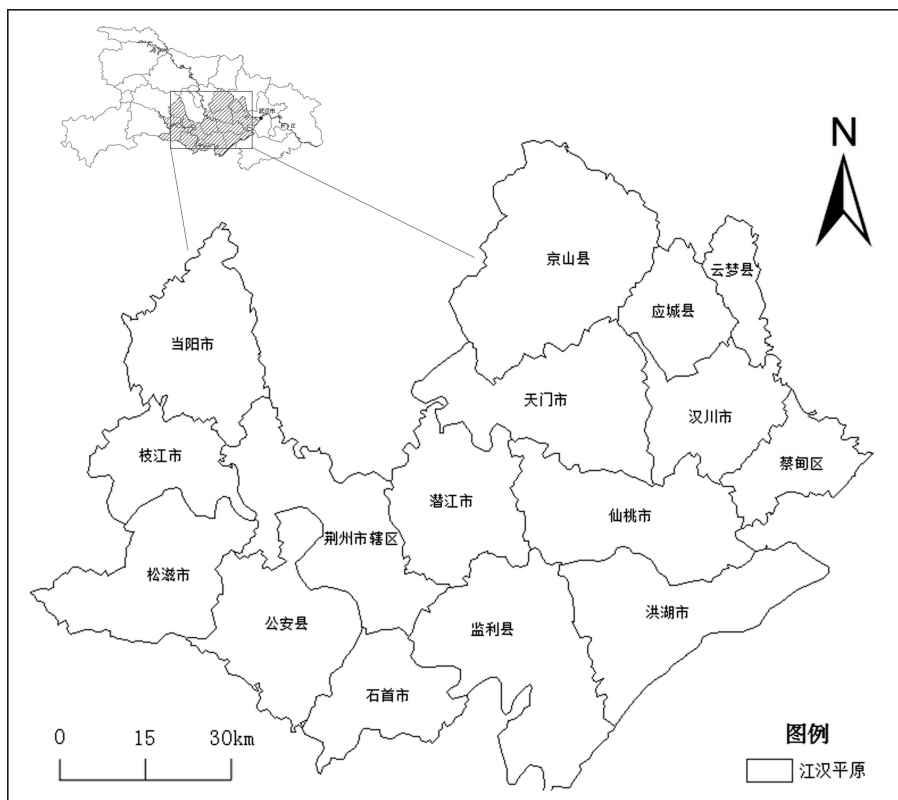


图 1 江汉平原行政区划图

水平为 35.4%。

江汉平原土地总面积为 32.28×10^3 km², 历年耕地总面积及垦殖系数如表 1。江汉平原耕地资源总量较为丰富,但随着经济发展和城市化进程的加快,耕地资源流失现象较为严重。且不同时期,耕地面积流失状况呈现较大的差异,其中耕地总面积减少最多的时期是 2000—2004 年,4 年间耕地面积共计减少 269.81 km²;1996—2000 年和 2004—2008 年耕地面积分别减少 111.97 km² 和 117.05 km²。

耕地资源空间分布也不平衡,耕地最多的是监利县,1996 年末耕地面积为 1 745.66 km²,2008 年末耕地面积为 1 701.2 km²;耕地面积最少的是云梦县,1996 年末耕地面积为 324.23 km²,2008 年末耕地面积为 325.69 km²。1996—2008 年耕地非农化速度最快的是蔡甸区,1996—2008 年耕地面积流失 96.89 km²,耕地非农化速度为 8.07 km²/年;其次是洪湖市,12 年间耕地流失面积共 139.16 km²,耕地非农化速度为 11.6 km²/年。

表 1 1996—2008 年江汉平原耕地面积及垦殖系数

时间	1996 年		2000 年		2004 年		2008 年	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
江汉平原	15.21×10 ³	47.1	15.09×10 ³	46.8	14.83×10 ³	45.9	14.71×10 ³	45.6

二、研究方法 with 数据来源

1. 研究方法

(1)全排列多边形综合图示法。全排列多边形综合图示法是环境质量评价中常用的方法之一。与传统简单加权法相比,全排列多边形图示法不用专家主观评判确定权重的大小,减少主观随意性,计算简洁方便,可操作性强,评价结果可通过图示反映,简洁易懂。全排列多边形图示指标法定义为:设共有 N 个指标,以这些指标的上限值为半径构成一个中心 N 边形,各指标值的连线构成一个不规则的中心 N 边形,其顶点是 N 个指标首尾相接的全排列, N 个指标总共可以构成 $(n-1)! / 2$ 个不同的不规则的中心 N 边形,综合指数定义为所有这些不规则多边形面积的均值与中心多边形面积的比值^[20](图 2)。指标值的标准化处理中,由于原方法采用双曲线函数方法存在着无法识别指标性质,判断指标阈值主观性较大等问题,本文在对指标进行标准化处理时进行了相应的改进,采用极差标准化法对原始数据进行标准化处理,计算公式如下:

$$S_i = (X_i - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin}) \quad (1)$$

$$S_i = (X_{imax} - X_i) / (X_{imax} - X_{imin}) \quad (2)$$

S_i 为标准化后的指标值, X_i 为指标原始值, X_{imin} 为该指标最小值, X_{imax} 为指标最大值。式(1)为正向指标标准化方法,式(2)为负向指标标准化方法,标准化后的指标值在区间 $[0, 1]$ 之间。

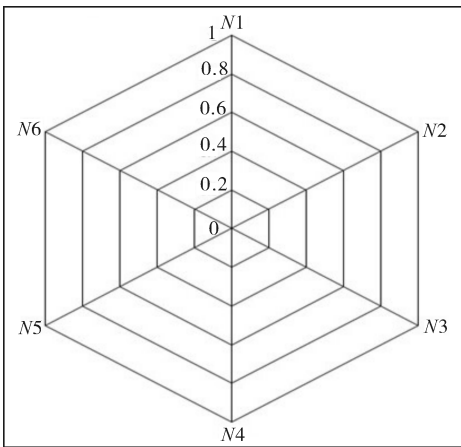


图 2 全排列多边形图示法图示

利用 n 个指标可以做出一个中心正 n 边形, n

边形的 n 个顶点为 $S_i = 1$ 时的值,中心点为 $S_i = 0$ 时的值。全排列多边形综合指数 S 计算公式为:

$$S = \frac{2 \sum_{i \neq j}^{i,j} s_i * s_j}{n(n-1)} \quad (3)$$

式(3)中, S 为评价对象的综合指数; S_i 为第 i 项指标标准化值; S_j 为第 j 项指标标准化值 ($i \neq j$); n 为指标个数。耕地资源生态安全综合指数 S 在 $0 \sim 1$ 之间, S 越接近于 1, 表示耕地资源生态安全水平越高,耕地生态系统和人类社会经济处于理想状态, S 越接近于 0, 表示耕地资源生态安全水平越低,耕地生态系统处于极不稳定状态。

(2)空间自相关分析。空间自相关分析主要用于探索地理现象在空间上和周围现象的相关性。根据其相关属性可分为正相关和负相关。正相关表明某单元的属性值变化与其相邻空间单元具有相同变化趋势,代表了空间现象有集聚性的存在,负相关则相反^[21]。在进行空间分析前需要建立空间地理单元的邻接关系, n 个对象之间的空间邻接关系用空间权重矩阵来表示。通常用空间二值邻接矩阵对空间相邻关系做描述,定义为:当 i 和 j 区域具有非零长度的共同边界时,矩阵相应位置上的元素为 1, 否则为 0; 当 i 和 j 相等时,便是自权重,一般权重为 0。建立空间权重主要有两种原则: Rook's 原则和 Queen's 原则, Rook's 原则要求必须有一条边相连接,而 Queen's 原则要求有一点连接即可。

$$w_{ij} = \begin{cases} 1: & \text{当 } i \text{ 和 } j \text{ 相邻时} \\ 0: & \text{当 } i \text{ 和 } j \text{ 不相邻} \end{cases} \quad (4)$$

Moran's I 是最常见的全局相关指数,用于反映区域地理现象的整体空间相关现象; Local Moran's I 是最常见的局部相关指数,用于揭示参考单元和其临近空间单元属性特征值之间的相似性或关联性,常用于探测空间异质性,识别空间集聚和空间孤立。Moran's I 指数和 Local Moran's I 指数 (LISA) 计算公式为:

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x}) / \sum_i \sum_j w_{ij}}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 / n} \quad (5)$$

$$\text{LISA } I = z_i \sum_j w_{ij} z_j \quad (6)$$

其中 n 表示参与空间分析的单元数, X_i 和 X_j

分别为某现象在空间单元 i 和 j 上的观测值, $Z_i = (x_i - \bar{x})/\delta$, δ 为标准差。全局空间自相关结果可用空间滞后向量和观测值组成的坐标轴图反映, 横轴为观测值, 纵轴则对应空间滞后向量的所有取值, 将变量 z 与其空间滞后向量之间的相关关系以散点图的形式加以描述, 则构成 Moran 散点图(图 3)。

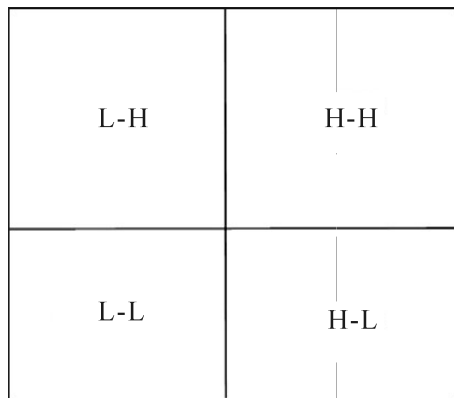


图 3 Moran 散点图

Moran 散点图划分为 4 个象限, 分别对应 4 种不同的区域空间差异类型: 右上象限(HH)表示区域自身和周边地区的属性水平平均较高, 二者的空间差异程度较小; 左上象限(HL)表示区域自身属性水平较低, 周边地区较高, 二者的空间差异程度较大; 左下象限(LL)表示区域自身和周边地区的属性水平平均较低, 二者的空间差异程度较小; 右下象限(LH)表示区域自身属性水平较高, 周边地区较低, 二者的空间差异程度较大。

为了便于对这些统计量的结果进行揭示, 需要对这些统计量的结果进行显著性检验, 通常采用 Z 检验。在 95% 的置信度下, 如果计算 Z 得到的值大于 1.96 或小于 -1.96, 则表示统计性显著。通过 ARCVIEW3.3 和 OPEN Geoda 软件结合可以直接计算 Moran's I 指数和 Local Moran's I 指数, 并能够自主对空间相关属性进行显著性检验。

2. 数据来源

本文所使用的土地数据来源于湖北省土地利用变更调查数据(1996—2008 年)。社会经济数据主要来自于 1996—2008 年《湖北统计年鉴》《湖北农业统计年鉴》《湖北农村统计年鉴》《中国市县人口统计》以及各市州地方统计年鉴。根据研究需要, 文中绿地面积包括林地面积和草地面积, 人口城市化水平为研究时期内城镇人口占总人口的比例。

三、江汉平原耕地资源生态安全状况评价

1. 耕地资源生态安全评价的指标体系构建

耕地生态系统是一个社会—经济—自然高度耦合的半人工社会自然系统, 其稳定性是自然调节、人工直接调节和社会经济间接调节的综合作用结果, 其安全水平不仅包括生态上的安全, 也包括经济上的安全和人类的安全^[1]。

人类社会经济活动给耕地资源生态安全带来隐患的同时, 人类的一系列环保措施也促进了耕地生态系统自身修复能力的提高。本文在“隐患—状态—免疫(Hazard-State-Immune)”模型^[22]的基础上, 结合江汉平原耕地资源利用现状和数据的可得性, 建立了江汉平原耕地资源生态安全评价指标体系(表 2)。表 2 中隐患因素代表了可能对耕地生态系统带来威胁的潜在因素, 主要来自耕地开发利用中不合理的化肥投入和人类社会经济活动对耕地生态承载能力的冲击; 状态因素代表了耕地资源开发利用现状, 该指标在一定程度上反映了耕地生态系统内部的稳定性; 免疫指标反映了耕地生态系统的自我恢复能力, 其恢复能力的提高来自于外部生态系统的补偿和人类对耕地生态系统的合理干预。

表 2 耕地资源生态安全评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标性质
隐患	环境隐患	单位耕地面积化肥使用量变化率(N_1)	负
		GDP 增长速度变化率(N_2)	负
	社会经济隐患	人口密度变化率(N_3)	负
		城市化水平变化率(N_4)	负
		经济密度变化率(N_5)	负
		建设用地扩张速度变化率(N_6)	负
状态	耕地利用状态	农业人口人均耕地面积变化率(N_7)	正
		耕地面积减少速度变化率(N_8)	正
		单位耕地面积粮食产量变化率(N_9)	正
		土地垦殖系数变化率(N_{10})	正
		水土协调度变化率(N_{11})	负
		复种指数变化率(N_{12})	负
		田埂系数变化率(N_{13})	正
免疫	生态用地面积	水域面积比重变化率(N_{14})	正
		绿地面积比重变化率(N_{15})	正
	科学技术投入	单位耕地面积农业科技人员数量变化率(N_{16})	正

2.1996—2008 年江汉平原耕地资源生态安全状况的时间变化特征分析

(1)江汉平原耕地生态安全综合评价。通过改进型全排列多边形综合图示法对江汉平原 16 个市县 1996—2000 年、2000—2004 年和 2004—2008 年 3 个时期的耕地资源生态安全综合指数进行了测算。结合计算结果,参考国内学者的相关研究,采用等间距法将江汉平原耕地资源生态安全水平划分为 5 级评价标准(表 3)。

计算结果显示,1996—2000 年耕地资源生态安全综合指数为 0.24,生态安全级别为 II 级,耕地资源生态安全处于临界安全状态;2000—2004 年耕地资源生态安全综合指数为 0.209,安全级别为 II 级,耕地资源生态安全处于临界安全状态;2004—2008 年生态安全平均值为 0.251,安全级别 II 级,耕地资源生态安全处于临界安全状态;总体来看,1996—2008 年江汉平原耕地资源生态安全综合指数为 0.288,耕地资源生态安全级别为 II 级,耕地资源生态安全处于临界安全状态。其中 2000—2004 年耕地资源生态安全水平最低,2004—2008 年生态安全水平值最高。从耕地资源生态安全综合指数变化趋势分析,1996—2008 年江汉平原生态安全平均水平呈现先下降后上升趋势,最小值和最大值之间差值为 0.042。

表 3 耕地资源生态安全评价标准

耕地资源生态安全综合指数	[0,0.2]	(0.2,0.4]	(0.4,0.6]	(0.6,0.8]	(0.8,1]
安全级别	I	II	III	IV	V
耕地资源生态安全状态	不安全	临界安全	较安全	安全	理想安全

为了进一步反映江汉平原各时期耕地生态安全综合指数变化强度,将江汉平原各时期耕地资源生态安全综合指数与 1996—2008 年耕地生态安全综合指数作对比分析。通过对比分析可见,各时期江汉平原耕地资源生态安全综合指数变化强度较高,相对变化率平均值为 81%,相对变化率最高的时期在 2004—2008 年,耕地资源生态安全综合指数相对变化率为 87%;其次是 1996—2000 年,耕地资源生态安全综合指数相对变化率是 83.3%;最低的是 2000—2004 年,其相对变化率是 72.5%,低于平均水平。结合江汉平原社会经济发展状况可知,2004—2008 年耕地资源生态安全综合指数最高值对应于该区域经济快速发展时期,耕地资源生态安全综合指数变化率反映了江汉平原社会经济对耕地资源生态安全的冲击程度。通过全排列多边形综合图示法可以直观反映各项参评指标的变化趋势和各指标对评价目标的影响程度(图 4)。根据指标的性质可以看出,正向指标的指标值越大,表示其对评价目标有较大的正影响;负向指标值越小,表示其原始值越大,对评价目标的抑制作用越强。从图 4 可以看出,在参评指标中耕地面积减少速度变化率、水域面积比重变化率和绿地面积比重变化率的指标值均较小;指标值保持较高的是单位耕地面积化肥使用量变化率、建设用地扩张速度变化率、土地垦殖系数变化率和田埂系数变化率。从指标值的变化来看,GDP 增长速度变化率、城市化水平变化率和经济密度变化率指标值波动较大,其他指标在 1996—2008

源生态安全综合指数值为 0.209,安全级别为 II 级,耕地资源生态安全处于临界安全状态;2004—2008 年生态安全平均值为 0.251,安全级别 II 级,耕地资源生态安全处于临界安全状态;总体来看,1996—2008 年江汉平原耕地资源生态安全综合指数为 0.288,耕地资源生态安全级别为 II 级,耕地资源生态安全处于临界安全状态。其中 2000—2004 年耕地资源生态安全水平最低,2004—2008 年生态安全水平值最高。从耕地资源生态安全综合指数变化趋势分析,1996—2008 年江汉平原生态安全平均水平呈现先下降后上升趋势,最小值和最大值之间差值为 0.042。

年期间变化相对较为稳定。结合各评价指标的性质分析,GDP 增长速度变化率、城市化水平变化率、经济密度变化率 3 个社会经济隐患是江汉平原耕地资源生态安全的最大隐患,由 GDP 增长速度增长过快和城镇化进程加快带来的耕地流失已成为江汉平原耕地资源生态安全的最大威胁。同时由于江汉平原水域面积比重和绿地面积比重不断下降,水体、绿地等生态用地对耕地生态系统的调节作用不明显,加上耕地生态系统本身修复能力较低,最终导致江汉平原耕地资源生态安全水平偏低,耕地生态系统处于极具不稳定性状态。

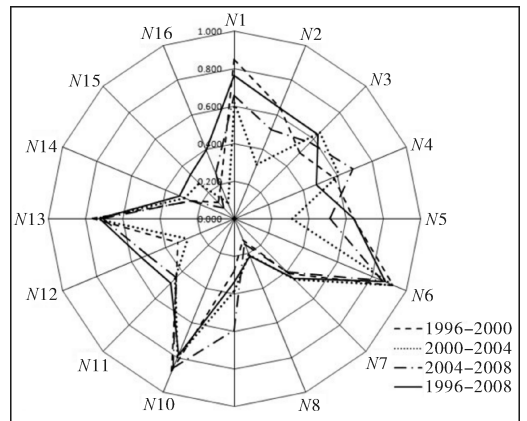


图 4 各评价指标变化示意图

(2)江汉平原耕地资源生态安全隐患和免疫力评价。耕地资源生态安全是外界环境隐患、耕地利用状态和自身免疫能力综合作用的结果。隐患指标反映了外部系统环境对耕地生态系统的冲击和破

坏;现状指标反映了研究区域的耕地资源开发利用现状,是耕地生态系统自我修复能力的体现;免疫指标反映了人类对耕地生态系统的改造和修复水平。通过对江汉平原各时期耕地生态安全隐患、状态和免疫指标进行分析可以看出(图 5),1996—2008 年各时期,耕地安全隐患指标值在 3 项指标中均处于最大,1996—2008 年总体隐患指标值为 0.446,各时期隐患指标值呈现波动变化趋势,1996—2000 年、2000—2004 年和 2004—2008 年标值分别为 0.471、0.317 和 0.407,说明江汉平原耕地生态系统存在较大的隐患,其隐患主要来自社会经济的发展、人口的增加和城市化水平的提高带来的耕地流失。1996—2008 年江汉平原耕地资源总体状态指标值为 0.210,1996—2000 年、2000—2004 年和 2004—2008 年标值分别为 0.152、0.178 和 0.187,各时期耕地生态安全状态值总体指标值较低,但历年耕地资源现状指标值呈现上升趋势,说明耕地生态系统自身恢复能力有不断提高的趋势。耕地免疫指标值最低,1996—2008 年耕地生态系统总体免疫指标值为 0.396,但是各时期耕地生态系统免疫指标值较低,1996—2000 年、2000—2004 年和 2004—2008 年标值分别为 0.188、0.091 和 0.265,耕地生态系统免疫指标值呈现先下降后上升的波动变化趋势,说明政府对耕地保护科技人员的投入较低,且不同时期波动较大,连续性不强。

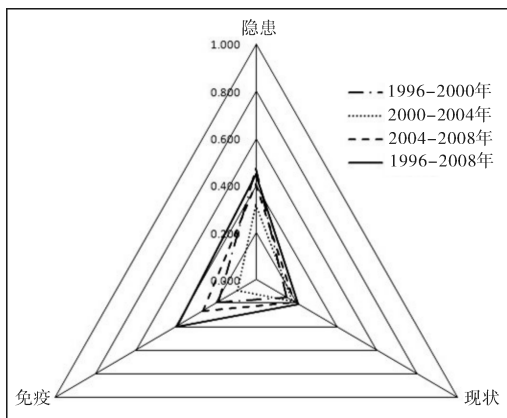


图 5 江汉平原各时期耕地生态安全一级指标值

3. 江汉平原耕地资源生态安全状况的空间分异特征

耕地资源生态安全综合指数平均值从宏观层面反映了江汉平原各个时期耕地资源生态安全状态和整体变化趋势,而各个市县耕地生态安全综合指数变化可以从微观层面反映区域耕地资源生态安全状

态的空间分异特征。表 4 是 1996—2000 年、2000—2004 年和 2004—2008 年江汉平原 16 个市县耕地资源生态安全综合指数变化状况。从中可以看出耕地资源生态安全综合指数呈下降趋势的有公安县和潜江市 2 个市县,耕地资源生态安全综合指数呈上升趋势的是荆州市辖区和仙桃市 2 个市县,除此之外,其他 12 个市县耕地资源生态安全综合指数均呈波动变化趋势。

表 4 江汉平原各市县耕地资源生态安全综合指数

区域名	1996—2000 年	2000—2004 年	2004—2008 年	1996—2008 年
蔡甸区	0.191	0.238	0.165	0.226
当阳市	0.200	0.161	0.305	0.238
公安县	0.283	0.228	0.190	0.300
汉川市	0.220	0.196	0.275	0.274
洪湖市	0.296	0.240	0.386	0.432
监利县	0.305	0.216	0.291	0.354
京山县	0.258	0.200	0.238	0.329
荆州市辖区	0.172	0.177	0.182	0.178
潜江市	0.265	0.239	0.197	0.298
石首市	0.231	0.210	0.263	0.274
松滋市	0.268	0.180	0.248	0.261
天门市	0.249	0.197	0.291	0.297
仙桃市	0.262	0.284	0.299	0.440
应城市	0.208	0.207	0.254	0.270
枝江市	0.226	0.142	0.225	0.218
云梦县	0.201	0.223	0.208	0.211

图 6 显示了 1996—2008 年江汉平原耕地资源生态安全空间分布状况及区域差异特征。1996—2008 年总体水平中,耕地资源生态安全状况最好的是仙桃市,生态安全值是 0.440,安全等级为Ⅲ级,耕地资源生态安全处于较安全状态。耕地资源生态安全综合指数最低的是荆州市辖区,综合指数为 0.178,安全级别为Ⅰ级,耕地资源生态安全处于不安全状态。其他市县耕地资源生态安全综合指数均在(0.2~0.4)之间,生态安全级别均为Ⅱ级,耕地资源生态安全处于临界安全状态。

1996—2000 年耕地资源生态安全综合指数最高的是监利县,耕地资源生态安全综合指数为 0.305,安全水平级别是Ⅱ级,耕地资源生态安全处于临界安全状态。耕地资源生态安全综合指数较低的是蔡甸区和荆州市辖区,耕地资源生态安全指数均为处在 0~0.2 之间,安全级别为Ⅰ级,耕地资源生态安全为不安全状态。其他各市县耕地资源生态安全指数均在 0.2~0.4 之间,安全级别为Ⅱ级,耕地资源生态安全处于临界安全状态。

2000—2004 年江汉平原大部分市县耕地资源

0.424, 说明 2000—2004 年江汉平原耕地资源生态安全综合指数存在较强的空间相关性, 其他研究时段内, 耕地资源的空间相关性有弱化的趋势。

从 2000—2004 年 Moran's *I* 散点图(图 7)中可以看出, 落入 H—H(“高一高”空间关联区)区域的市县数量为 5 个, 分别为蔡甸区、洪湖市、仙桃市、监利县和潜江市; 落入 L—L(“低—低”空间关联区)区域的市县数量为 7 个, 分别为应城市、京山县、石首市、当阳市、松滋市、枝江市和荆州市辖区。除此之外分别有两个市县落入 L—H(“低—高”空间关联区)区域和 H—L(“低—低”空间关联区)区域。说明该时期江汉平原 12 个市县和其周围市县之间的空间异质性较小, 区域内部存在较强的空间相关性。

比率分析显示了江汉平原在各个时段耕地生态安全相对于各研究时段的变化强度的空间自相关性。1966—2000 年, 耕地生态安全变化强度空间系相关系数为 0.282, 显著性检验的 *P* 值为 0.026, 小于 0.05, 通过检验。2000—2004 年和 2004—2008 年耕地资源生态安全变化强度空间相关性均未通过检验, 说明 2000—2008 年, 耕地资源生态安全在空间上有离散化趋势。

从 Moran's *I* 散点图(图 8)可以看出, 落入 H—H(“高一高”空间关联区)区域的市县数量为 6 个, 分别为石首市、公安县、当阳市、松滋市、枝江市和荆州市辖区; 落入 L—L(“低—低”空间关联区)区域的市县数量为 6 个, 分别为洪湖市、应城市、汉川市、仙桃市、京山县和天门市。还有 4 个市县全部落入 H—L(“高一低”关联)区域。说明 1996—2000 年江汉平原耕地生态安全变化强度存在较明显的空间自相关性, 其中有 12 个区域和周围区域的耕地资源生态安全保有相同的变化强度。2000—2004 年和 2004—2008 年两个时期 Moran's *I* 指数均未能通过检验, 说明这两个时期耕地资源生态安全变化强度空间相关性不显著, 耕地资源生态安全变化强度具有离散化趋势。

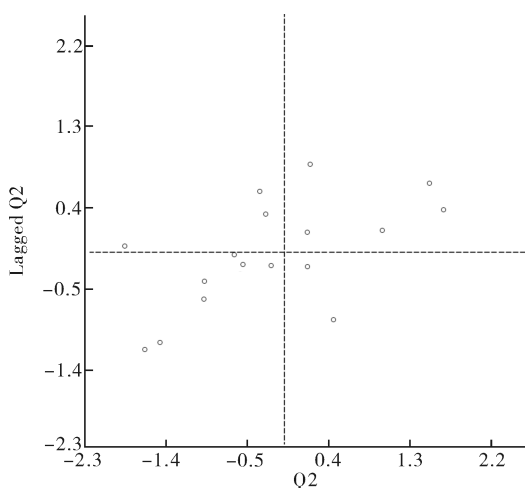


图 7 2000—2004 年 Moran's *I* 散点图

(2)1996—2008 年江汉平原各时期耕地资源生态安全比率分析。耕地资源生态安全综合指数全局自相关分析揭示了江汉平原在 1996—2008 年各时期江汉平原区域内整体的空间相关性, 但简单的全局自相关分析无法揭示该区域内部耕地生态安全变化强度, 通过 GEODA 软件中的比率分析可以反映江汉平原各时期耕地生态安全综合指数在研究时期内的变化强度及其空间相关性。以 1996—2008 年耕地生态安全综合指数为基数, 各时期对应市县的耕地生态安全综合指数为分析事件, 比率分析的结果如表 6。

表 6 耕地资源生态安全比率分析结果

年份	1996—2000 年	2000—2004 年	2004—2008 年
Moran's <i>I</i> 指数	0.282	-0.201	0.073
<i>P</i> 值	0.026	0.197	0.186
检验结果	显著	不显著	不显著

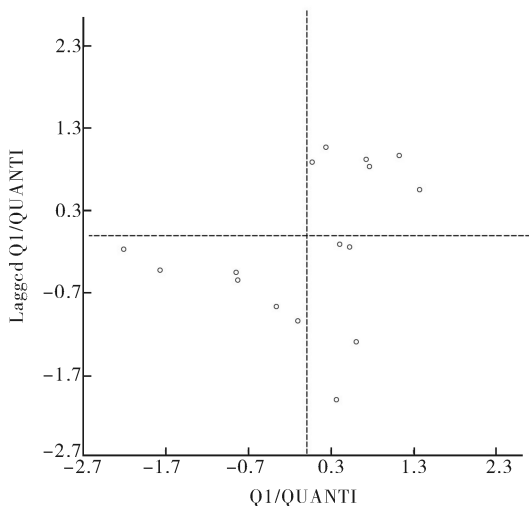


图 8 1996—2000 年 Moran's *I* 散点图

2. 江汉平原耕地资源生态安全局部自相关分析

全局自相关揭示了研究对象在空间上的整体相关特性, 局部自相关分析(LISA)可以探索研究对象在区域内部的具体集聚和分散格局。以江汉平原 1996—2008 年各时期耕地资源生态安全综合指数为分析对象, 并在 95% 显著性水平下绘制各时期耕地生态安全局部自相关图, 从中可以直观反映各时

期耕地资源生态安全空间集聚格局。图 9 显示了江汉平原 1996—2000 年、2000—2004 年和 2004—2008 年以及 1996—2008 年整体耕地资源生态安全综合指数空间集聚格局,其中黑色部分表示耕地资源生态安全综合指数高值集聚区域,深灰色部分表示耕地资源生态安全综合指数低值集聚区域,灰色和淡灰色表示该区域耕地资源生态安全指数存在空间负相关现象,白色区域表示该区域耕地资源生态安全空间相关现象不显著。从 1996—2008 年江汉平原耕地资源生态安全总体格局看,耕地资源生态安全综合指数高值集聚区域只有天门市,耕地资源生态安全综合指数为 0.297;低值集聚区域有 3 个市县,分别为当阳市、枝江市和松滋市,耕地资源生态

安全综合指数平均值为 0.239。1996—2000 年,耕地资源生态安全综合指数高值集聚区域为洪湖市,耕地资源生态安全综合指数为 0.296;耕地资源生态安全综合指数低值集聚区有 2 个市县,分别为当阳市和汉川市,耕地资源生态安全综合指数分别为 0.200 和 0.220,其他区域耕地资源生态安全综合指数空间集聚现象不显著。2000—2004 年,耕地资源生态安全综合指数高值集聚区只有仙桃市,耕地资源生态安全综合指数为 0.284;耕地资源生态安全低值集聚区包括 2 个市县,分别为当阳市和枝江市,耕地资源生态安全综合指数均值为 0.152;其他市县耕地资源生态安全综合指数空间集聚现象不显著。2004—2008 年,江汉平原耕地资源生态安全综合指

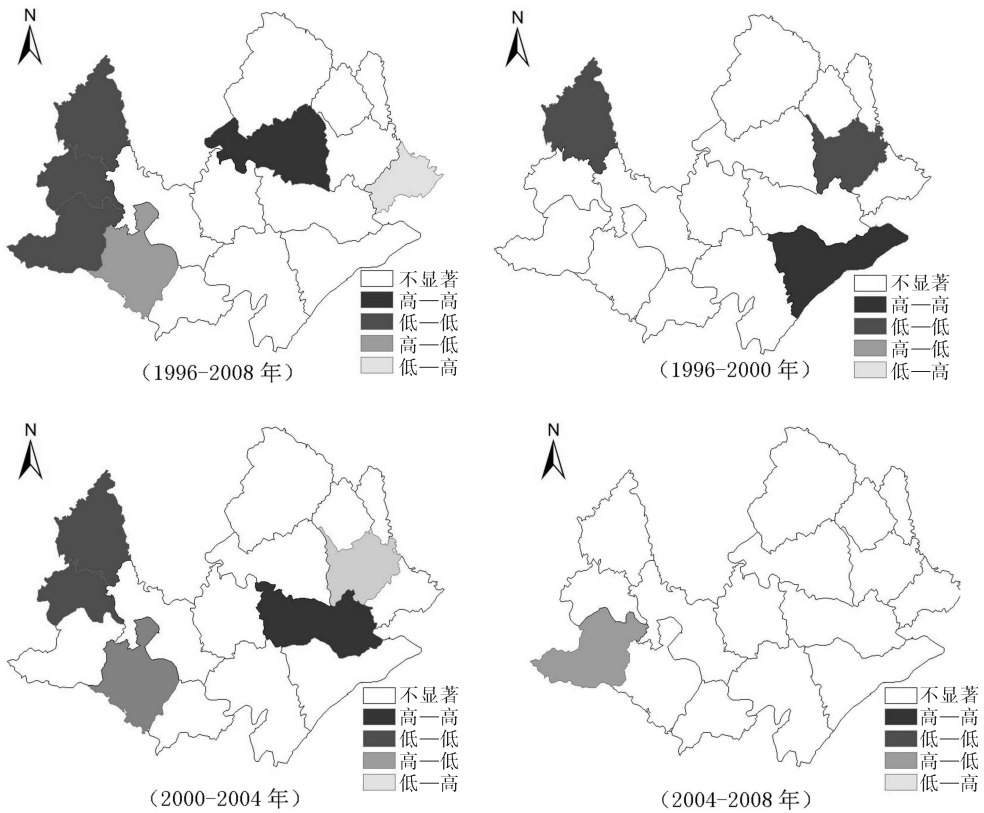


图 9 1996—2008 年江汉平原耕地资源生态安全空间集聚状况

数均没有明显的空间集聚现象。

综上所述结果可见,江汉平原 1996—2008 年耕地资源生态安全集聚区域较小,大部分市县的耕地资源生态安全空间集聚格局不明显,整个区域还没有形成较稳定的空间集聚格局。从其变化趋势看,江汉平原耕地资源生态安全空间分布规律有从集聚

向离散化发展的趋势。在耕地资源生态安全集聚较为明显的时期,低值集聚现象比高值集聚现象明显,说明耕地资源生态安全的恶化具有区域扩散现象,一个地区耕地生态环境的恶化会较容易地扩散到周围其他区域,而耕地生态环境的改善对周边区域的正向影响并不明显。

五、结 论

耕地资源生态安全综合指数反映区域耕地生态系统内部组成部分的协调程度和耕地生态系统与外部社会经济系统的冲突程度。通过分析江汉平原1996—2008年各时期耕地生态安全状态时空变化规律及其空间集聚格局,从时间和空间两个维度反映了江汉平原耕地资源生态安全演变规律,主要研究结论如下:

(1)江汉平原耕地生态安全总体水平偏低,耕地资源生态安全综合指数处于波动变化中,耕地生态系统处于不安全状态。一定数量的耕地面积是保持区域内耕地生态系统稳定及其功能正常发挥的基础。在快速城市化背景下,非农用地快速扩张带来耕地大量流失,导致耕地生态系统自我修复功能降低甚至丧失了自我调节能力。耕地的大量流失破坏了耕地生态系统赖以继的基础,同时人类社会经济活动一方面通过耕地保护等措施减少了对耕地生态系统的破坏,另一方面不合理的土地利用方式等行为给耕地生态系统的稳定带来了巨大的隐患,这些是耕地资源生态系统安全水平下降的主要因素。

(2)江汉平原耕地生态安全空间集聚现象不明显,全局空间自相关指数较低,区域耕地资源生态安全有从空间集聚向无序状态转化的趋势,耕地资源生态安全有恶化迹象。一方面主要是随着经济的快速发展,江汉平原原有的耕地生态系统结构正处于调整时期,而新的生态系统机构还未形成,这是导致该区域耕地生态系统处于波动变化的不稳定状态的主要原因。另一方面,研究区域地形均已以平原地区为主,地形类型较为单一,因而耕地生态安全在该区域内部空间集聚现象并不明显。

(3)耕地生态系统是一个受人为干扰程度较强的半自然生态系统,其稳定性主要来自于系统内部的自我调节、自我修复和自我延续。人类不合理的经济活动,尤其是经济与生态的分离,改变了耕地生态系统的内部结构,最终导致了原有耕地生态系统的破坏。为提高江汉平原耕地生态安全水平,保有一定量的耕地面积、减缓耕地流失速度是关键。应在现有基本农田规划管制的框架下,协调处理耕地保护和建设用地扩张问题。

参 考 文 献

- [1] 曹湊贵.生态学概论[M].2版.北京:高等教育出版社,2006:49,257-262.
- [2] 蔡银莺,张安录.规划管制下农田生态补偿的研究进展分析[J].自然资源学报,2010,25(5):868-879.
- [3] 付红娜,谭木魁.湖北省近十年耕地生态安全问题及对策研究[J].国土资源科技管理,2008,25(1):155-158.
- [4] 朱红波,张安录.我国耕地资生态安全的时空差异分析[J].长江流域资源与环境,2007,16(6):754-758.
- [5] 徐辉,雷国平,崔登攀,等.耕地生态安全评价研究——以黑龙江省宁安市为例[J].水土保持研究,2011,18(6):180-189.
- [6] 李超,张祥义,张海涛,等.河北省近20年耕地资源安全动态变化及驱动力分析[J].中国农业科技导报,2014(1):131-138.
- [7] 赵宏波,马延吉.东北粮食主产区耕地生态安全的时空格局及障碍因子——以吉林省为例[J].应用生态学报,2014(2):515-524.
- [8] 裴欢,魏勇,王晓娟,等.耕地景观生态安全评价方法及其应用[J].农业工程学报,2014(9):212-219.
- [9] 林佳,宋戈,宋思铭.景观结构动态变化及其土地利用生态安全研究——以建三江垦区为例[J].生态学报,2011,31(20):5918-5927.
- [10] 刘勇,张红,尹京苑.基于土地利用变化的太原市生态风险研究[J].中国土地科学,2009,23(1):52-61.
- [11] 孙洪波,杨桂山,苏忠伟,等.沿江地区土地利用生态风险评价——以长江三角洲南京地区为例[J].生态学报,2010,30(20):5616-5625.
- [12] 孙丕苓,杨海娟,刘庆果.南水北调重要水源地的土地生态安全动态研究——以陕西省商洛市为[J].自然资源学报,2012,27(9):1520-1529.
- [13] 王千,金晓斌,周寅康.河北省耕地生态安全及空间集聚格局[J].农业工程学报,2011,27(8):338-344.
- [14] 杨塞明,徐跃通,张邦花.区域土地资源可持续利用的生态安全评价[J].中国人口·资源与环境,2010,20(3):325-328.
- [15] 吴琼,王如松.生态城市评价指标体系于评价方法[J].生态学报,2005,25(8):2090-2095.
- [16] 吴涛,任平.基于物元模型的四川省土地生态安全评价[J].河南农业科学,2014(6):53-58,70.
- [17] 余健,房莉,仓定帮,等.熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用[J].农业工程学报,2012,28(5):260-266.
- [18] 徐美,朱翔,刘春腊.基于RBF的湖南省土地生态安全动态预警[J].地理学报,2012,67(10):1411-1422.
- [19] 张安,孙福军,贾树海,等.GIS在县域耕地生态环境安全评价中的应用研究——以凌源市为例[J].土壤通报,2013(2):292-295.
- [20] 龚艳冰,张继国,梁雪春.基于全排列多边形综合图示法的水质评价[J].中国人口·资源与环境,2011,21(9):26-31.
- [21] 高凯,周志翔,杨玉萍.长江流域土地利用结构及其空间自相关分析[J].长江流域资源与环境,2010,19(Z1):13-20.

[22] 吕建树,吴泉源,张祖陆,等.基于 RS 和 GIS 的济宁市土地利用

变化及生态安全研究[J].地理科学,2012,32(8):928-935.

Ecological Security Condition of Cultivated Land Resources and Spatial Agglomeration Pattern in Jiangnan Plain

CAI Yin-ying, LUO Cheng

(College of Land Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei, 430070)

Abstract Jiangnan plain is the important production base of grain, cotton and oil and also the typical region of rapid expansion of urbanization in China. Study on ecological security condition of cultivated land resources and spatial agglomeration pattern in Jiangnan plain will give the reference to the guarantee of regional grain security and promotion of reasonable use of land resources. Based on the “hidden dangers-state-immune” model and basic theory of ecology, ecological security evaluation index system of cultivated land resources, this paper analyzes the characteristics and spatial agglomeration with different time and space of ecological security of cultivated land resources in Jiangnan plain by using modified permutations polygon comprehensive graphic method and spatial autocorrelation method. The result shows that the overall level of ecological security of cultivated land resources in Jiangnan plain is very low and its security composite index is only 0.228, which shows that it is in the unsafe condition. The composite index showed a trend of fluctuations over the years and ecological system of cultivated land is in the unstable state. Spatial agglomeration in all cities and counties of Jiangnan plain is not significant, the ecological security of cultivated land has come to a tendency of changing from agglomeration to discretization and a relatively stable space structure is still not formed. This paper finally points out that huge loss of cultivated land resources caused by rapid expansion of urbanization is the main reason for the low level of ecological security of cultivated land in Jiangnan plain.

Key words cultivated land resource; ecological security; “hidden-danger-state-immune” model; spatial agglomeration; Jiangnan plain

(责任编辑:陈万红)