

湖北省耕地压力的区域差异及动态演进分析

卢新海^{1,2}, 刘瑞红¹, 匡兵¹

(1. 华中师范大学公共管理学院, 武汉 430079; 2. 华中科技大学公共管理学院, 武汉 430074)

摘要: 为充分认识湖北省耕地压力区域差异、动态演进规律, 以保障湖北省的粮食安全, 该文用修正耕地压力指数测度湖北省及其 17 个城市耕地压力大小, 从时序和空间两方面分析湖北省区域内耕地压力变动差异, 并利用核密度估计方法分析湖北省区域内耕地压力演变规律。结果表明: 1) 2000—2016 年, 湖北省平均耕地压力为警报压力, 区域内人均所需最小耕地面积与实际人均供给面积差距较小, 能够实现湖北省区域内粮食安全有效供给。2) 2000—2016 年, 湖北省区域内耕地压力变化不一, 其中鄂东区域耕地压力最大, 鄂中区域耕地压力最低。3) 耕地压力的总体水平在 2000—2016 年间逐渐减小, 但是地区差距也不断加剧, 极化现象十分明显。4) 分区域看, 鄂东地区的耕地压力总体水平不断减小, 地区差距较大, 两极化现象较突出; 鄂中耕地压力水平低, 地区差距不大, 两极分化不明显; 鄂西耕地压力水平居中, 存在地区差距, 两极分化没有鄂东地区明显。

关键词: 土地利用; 模型; 耕地; 修正耕地压力指数; 核密度估计; 动态演进; 湖北省

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.23.033

中图分类号: F301.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-23-0266-07

卢新海, 刘瑞红, 匡兵. 湖北省耕地压力的区域差异及动态演进分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(23): 266—272.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.23.033 <http://www.tcsae.org>

Lu Xinhai, Liu Ruihong, Kuang Bing. Regional differences and dynamic evolution of cultivated land pressure in Hubei Province [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(23): 266—272. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.23.033 <http://www.tcsae.org>

0 引言

耕地是粮食生产的根本要素, 其数量多少和质量优劣是保障粮食生产和粮食安全的重要影响因素^[1], 也是决定社会长久稳定的物质基础。步入 21 世纪以后, 中国工业化和城镇化快速发展, 城市建设用地不断扩张, 耕地资源呈不断递减状态^[2], 人口数量大幅增加, 人均所需最小耕地面积与实际人均耕地面积之间差距越来越大^[3], 给区域和国家粮食安全带来了一定隐患。由此使得清晰了解区域耕地资源利用和粮食安全状况成为目前乃至未来很长一段时间内社会发展的焦点问题。

学术界通常采用耕地压力来衡量耕地资源使用情况, 其数值大小能在耕地利用与保护方面提供警戒作用^[4], 科学衡量区域粮食安全情况。学者们分别基于不同研究视角, 对耕地压力的测算方法及不同尺度耕地压力的时空变化特征进行了分析。在耕地压力测算方法上, 很多学者都提出了构建耕地压力指数的思路, 冉清红^[5]基于食物消费需求结构建立耕地警戒值模型, 蔡运龙等^[6]应用最小人均耕地面积和耕地压力指数模型, 这是早期研究耕地压力较具代表性的测度方法。然而, 由于所构建的指数比较单一, 无法全面反映耕地压力的真实情况^[7]。由此, 一些学者在传统耕地压力指数上构建新的测度指标和测度模型, 如人工神经网络^[8], 并从利用系统动力学

^[9-10]、生态足迹模型理论^[11]和考虑地形不同^[12]、区域间耕地质量及耕地利用的异质性^[13]、社会经济因素^[14]以及粮食市场供给模式下区域获取粮食的经济能力^[15]等方面对耕地压力指数模型进行改进和完善, 有效提升了耕地压力测算的科学性。在不同区域耕地压力时空差异特征分析方面, 学者们采用空间自相关^[16]、变异系数^[17]、重心模型^[7,18]等方法揭示了中国或不同省份、特定城市耕地压力的时空分布格局, 并对造成这些分布特征的影响因素或驱动机制进行了系统阐释^[19-21]。如自然灾害、气候变化、耕地生产力、粮食价格、粮食贸易以及社会发展因素对耕地压力的影响。总体来看, 已有研究对耕地压力测度及其时空格局演化规律进行了较为系统的刻画, 对于把握耕地资源利用系统的变化特征具有重要作用。然而, 已有研究也存在一定不足, 一是在耕地压力指数测度方法上, 大多数学者关注耕地压力的数量指标, 对耕地压力质量指标体系关注不足, 同时, 已有研究多采取单一的地图可视化方法对耕地压力时空差异和分布特征进行研究, 没有定量刻画出区域间耕地压力差异的动态性与长期演变趋势。基于此, 本文将综合考虑耕地压力的数量和质量约束, 利用修正耕地压力指数对湖北省 2000—2016 年耕地压力进行测度, 并采取核密度估计方法探索湖北省耕地压力差异的变化情况和动态演变规律, 预期成果可以为优化湖北省耕地资源开发及实现农业可持续发展提供一定借鉴价值。

收稿日期: 2019-05-19 修订日期: 2019-10-31

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71673096、41801205); 教育部人文社会科学基金项目 (19YJC790054); 中国博士后科学基金项目 (2018M642882)

作者简介: 卢新海, 博士, 教授, 主要从事土地资源管理与粮食安全研究。
Email: xinhailu@163.com

1 研究区概况

湖北省地处中国中部, 是国家重要的粮棉油生产基

地之一^[22]、国家的发展核心区域和中部崛起的核心增长极^[23]。进入 20 世纪以来湖北省社会经济高速增长，发展最快的区域是东部城市^[24]，省内经济发展极不均衡。2018 年全省 GDP 为 3.65 万亿元，第一、二、三产业较上一年均为增长趋势，增速和增量最大的是第三产业，分别为 1.87 亿元，9.9%，固定资产投资为 3.19 万元，增长 11.0%。全省土地面积为 1 859 万 hm^2 ，其中，耕地面积 347.84 万 hm^2 ，占全国耕地面积的 2.58%。本文根据各地级市的地理位置和现有研究^[25]，将研究区湖北省从东至西分为三大区域：鄂东、鄂中和鄂西（图 1）。

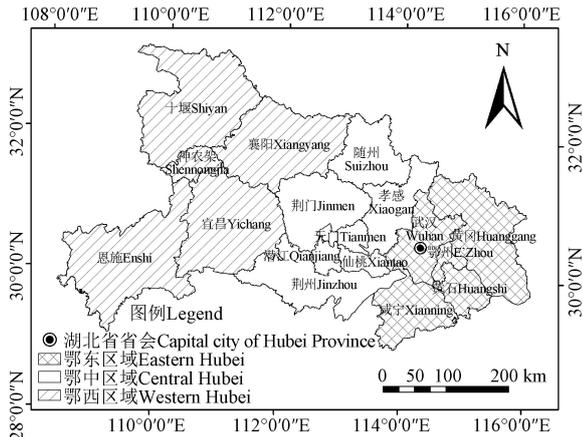


图 1 研究区域
Fig.1 Study area

2 研究方法 with 数据来源

2.1 修正耕地压力指数模型

修正耕地压力指数是在测算耕地压力指数过程中考

虑土地的自然禀赋，即区域耕地质量及耕地利用的异质性，使耕地压力指数拓展为集数量和质量为一体的综合性压力阈值，常采用耕地质量标准系数进行校正^[26]。其中耕地压力指数是人均所需最小耕地面积与实际人均耕地面积的比值，用以反映某时间段某地区的耕地资源面临的压力大小。计算公式如下

$$K = \frac{K_0}{\sigma} = \frac{K_0}{p_i \times k_i / p_n \times k_n} \quad (1)$$

$$K_0 = \frac{S_{\min}}{S_a} = \frac{\beta \times G_r / p \times q \times k}{S_a} \quad (2)$$

式中 K 表示修正耕地压力指数； K_0 表示耕地压力指数； S_{\min} 表示人均所需最小耕地面积， $\text{hm}^2/\text{人}$ ； S_a 为实际人均耕地面积， $\text{hm}^2/\text{人}$ ； σ 表示为耕地质量标准系数； β 表示粮食自给率，%； G_r 为人均粮食需求量， $\text{kg}/\text{人}$ ； k 为复种指数，%； q 为粮作比即粮食作物播种面积与农作物播种面积之比，%； p 为粮食播种面积单产， kg/hm^2 ； p_i 为湖北省各城市粮食单产， kg/hm^2 ； k_i 为湖北省各城市复种指数； p_n 为湖北省粮食单产， kg/hm^2 ； k_n 为湖北省复种指数。湖北省作为中部粮食主产区之一，其生产的粮食除了省内供给外，还承担着向周边粮食产量不足省份（福建、广东省）的粮食供给，因此粮食自给率必须得到保障^[27]，同时，结合目前已有对 2000—2016 年湖北省粮食自给率的测算结果，本文设定 G_r 为 $420\text{kg}/\text{人}$ ^[28]， β 为 96%。根据耕地压力指数模型的内涵，对耕地压力指数值大小进行值域划定，用来表明耕地压力的等级^[29]，具体见表 1。

表 1 耕地压力等级分类表

Table 1 Classification of cultivated land pressure ratings

耕地压力等级 Cultivated land pressure rating	数值范围 Value range	含义 Meaning
无压力 No pressure	$K \leq 0.9$	90%的实际人均耕地面积大于或等于人均所需最小耕地面积，说明实际人均耕地面积过多，完全满足区域对粮食的需求，耕地资源紧张程度为无压力；
警报压力 Alarm pressure	$0.9 < K \leq 1.1$	人均所需最小耕地面积大于 90%的实际人均耕地面积，且小于等于 110%的人均实际耕地面积，说明实际人均耕地面积较多，能够满足区域对粮食的需求，耕地资源紧张程度为警报压力；
低压力 Low pressure	$1.1 < K \leq 1.5$	人均所需最小耕地面积大于 110%的实际人均耕地面积，且小于等于 150%的人均实际耕地面积，说明实际人均耕地面积较少，不能满足区域对粮食的需求，耕地资源紧张程度为低压力；
中压力 Medium pressure	$1.5 < K \leq 2$	人均所需最小耕地面积大于 150%的实际人均耕地面积，且小于等于 200%的人均实际耕地面积，说明实际人均耕地面积很少，不能满足区域对粮食的需求，耕地资源紧张程度为中压力；
高压力 High pressure	$K > 2$	人均所需最小耕地面积大于 200%的实际人均耕地面积，说明实际人均耕地面积非常少，完全不能满足区域对粮食的需求，耕地资源紧张程度为高压力。

2.2 核密度估计

核密度估计（kernel density estimation, KDE）是一种用于估计概率密度曲线的非参数方法，其特点是不需要进行任何参数模型假设，能够用连续的密度曲线描述随机变量的分布形态^[30]，已经成为研究空间分布非均衡性的重要工具之一，因而核密度估计曲线图能够揭示湖北省各、市、州耕地压力时序动态演进特征。其函数公式

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (3)$$

式中 $f(x)$ 为密度曲线， n 为样本量； $K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$ 为核函数；

h 为带宽， x_1, x_2, \dots, x_n 为样本观测值。根据 Kernel 密度函数表达形式的差异，可以分为高斯核、Epanechnikov 核、三角核、四次核等类型。结合已有文献^[30]，本研究将选择常用的高斯核函数对湖北省各个城市耕地压力分布动态进行估计。

2.3 数据来源

参考已有研究成果^[7-8]，本文选取耕地面积、人口总数、粮食播种面积、总播种面积、粮食总产量数据为测算耕地压力的指标，数据主要来源于《湖北统计年鉴》（2001—2017 年）、部分数据以《湖北农村统计年鉴》（2001—2017 年）和各个城市国民经济和社会发展统计公报（2000—2016 年）进行补充。

3 结果与分析

3.1 耕地压力的区域差异分析

3.1.1 湖北省耕地压力时序变化特征

如图 2a, 湖北省 2000—2016 年内耕地压力指数和人均所需最小耕地面积变化趋势具有一定相似性, 整体均呈递减趋势, 分别减少了 0.247、0.011 hm^2 , 平均耕地压力为 1.001, 为警报压力。其耕地压力主要变化为: 1) 2000—2003 年, 湖北省耕地压力指数和人均所需最小耕地面积大幅增加, 2003 年达到最高值, 耕地压力由警报压力变为低压力, 说明湖北省耕地供需矛盾较大。由

于 2003 年左右湖北省耕地面积占用增多, 且受到农用机械不发达影响, 农业出现“三减”, 而人口规模不断扩大, 使得 2003 年耕地压力最大; 2) 2004—2006 年期间, 耕地压力指数和人均所需最小耕地面积先递减后递增, 说明湖北省人均所需耕地压力与实际耕地压力之间的差距较小, 耕地情况转好, 由低压力变为警报压力; 3) 2007—2016 年期间, 湖北省耕地压力指数和人均所需最小耕地面积整体呈波动递减趋势, 耕地压力由警报压力变为无压力, 由于政府加强耕地保护力度, 耕地资源利用合理, 粮食产量在农用机械改进下获得大幅增加。

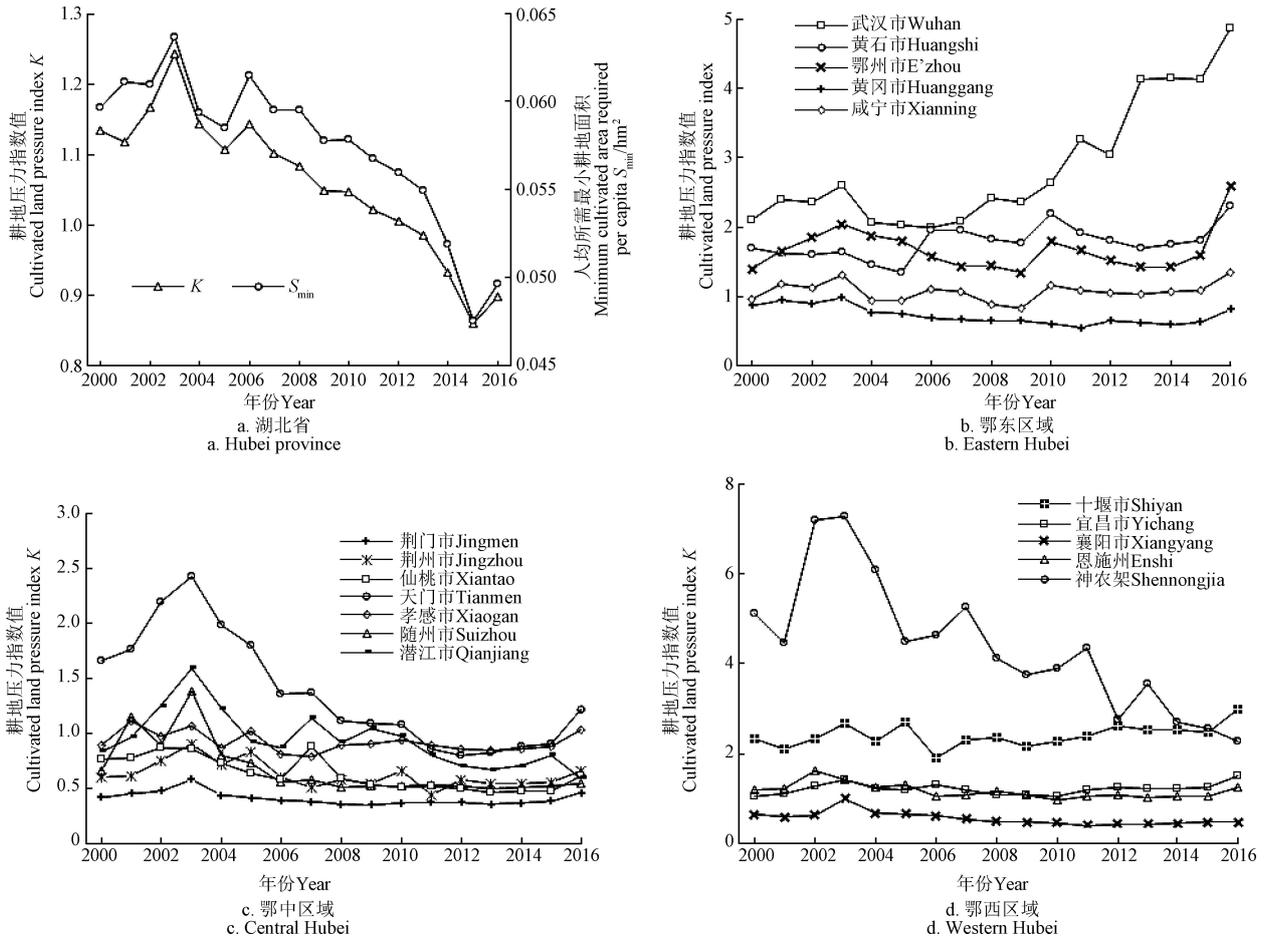


图 2 2000—2016 年湖北省耕地压力指数
Fig.2 Cultivated land pressure index in Hubei Province during 2000 - 2016

3.1.2 分区域耕地压力时序变化特征

鄂东耕地压力变化情况如图 2b 所示, 2000—2016 年内湖北省鄂东区域耕地压力变动情况差异较大, 武汉市是鄂东区域耕地压力指数和变动幅度最大的一个城市, 2016 年耕地压力指数高达 4.854, 增速为 130.04%, 耕地压力为高压, 鄂东区域其他 4 个城市耕地压力均在高压以下, 黄冈市耕地压力最好的一个城市, 耕地压力均在警报压力与无压力之间波动。鄂东区域耕地压力差异较大, 其中武汉市耕地压力最严重, 鄂州市和黄石市耕地压力次之, 耕地压力情况最好的是黄冈市和咸宁市。武汉市人口占湖北省总人口比例较大, 占比为 18.29%, 耕地面积比其他四个城市都小, 人均所需最小耕地面积远大于实际人均耕地面积, 鄂东区域武汉市耕地压力矛

盾最突出。

图 2c 反映了湖北省鄂中区域 2000—2016 年耕地压力时序变化情况, 发现鄂中区域各地级市耕地压力变化趋势为先递增后递减, 天门市耕地压力最大, 荆门市耕地压力最小。鄂中区域作为湖北省农业生产基地, 具有较高耕地资源禀赋和发达的农业技术, 其耕地压力应该处于警报压力以下, 实际测算获得结果也验证鄂中区域耕地压力情况较乐观, 但区域内耕地压力变动存在一定差异性, 需要持续动态观测其耕地压力情况并采取合理的预防方法, 以期湖北省的粮食安全保障和耕地资源提供久远、稳固的保障。

图 2d 反映了湖北省鄂西区域 2000—2016 年耕地压力时序变化情况, 发现鄂西区域宜昌市和神农架林区耕

地压力较大，变动较频繁，鄂西其他 3 个城市耕地压力较稳定，递增幅度较小。鄂西区域各个城市耕地压力情况差异明显，襄阳市耕地压力情况最好，是湖北省最好的农业种植区域和主要粮食生产区域，承担着湖北省主要粮食供给城市之一。而鄂西区域其他 4 个城市耕地压力均在中压力以上，十堰市耕地压力年均在高压以上，区域人均耕地需求矛盾较大，存在一定粮食安全问题。神农架城市战略定位与其他 16 个城市不同，是湖北省林业生态保护区，其耕地压力虽为高压，但能说明林业部门对该区保护力度大，林业生态保护效果显著。

3.1.3 湖北省区域耕地压力空间变化特征

如图 3，鄂中区域耕地压力均在警报压力以下，80% 城市都是无压力，区域耕地情况最乐观，是中国粮食主产区湖北省核心粮食生产区域，承担湖北省以及周边省

份粮食主要供给。因而，对鄂中区域实施严格的耕地保护制度、合理的土地利用规划以及高效利用耕地资源十分重要。相较于鄂中区域，鄂东区域耕地压力较大，都在警报压力以上，尤其是该区域的武汉市和黄石市，耕地压力常为高压和中压力，且变动趋势为递增，耕地压力未来还会增大。这与湖北省城市区域战略布局有极大关系，武汉市和黄石市是湖北省城市圈之一，经济发展的核心区域，武汉市也是湖北省省会城市，人口规模不断增加，区域人均所需最小耕地面积与实际耕地面积差距非常大，导致耕地压力较高。鄂西区域耕地压力情况居中，都在低压力以下（除神农架林区），襄阳市耕地情况最乐观，耕地资源禀赋高，故襄阳市耕地压力情况对鄂西区域粮食安全有保障作用，也对湖北省乃至周边省份粮食正常供给有巨大影响。

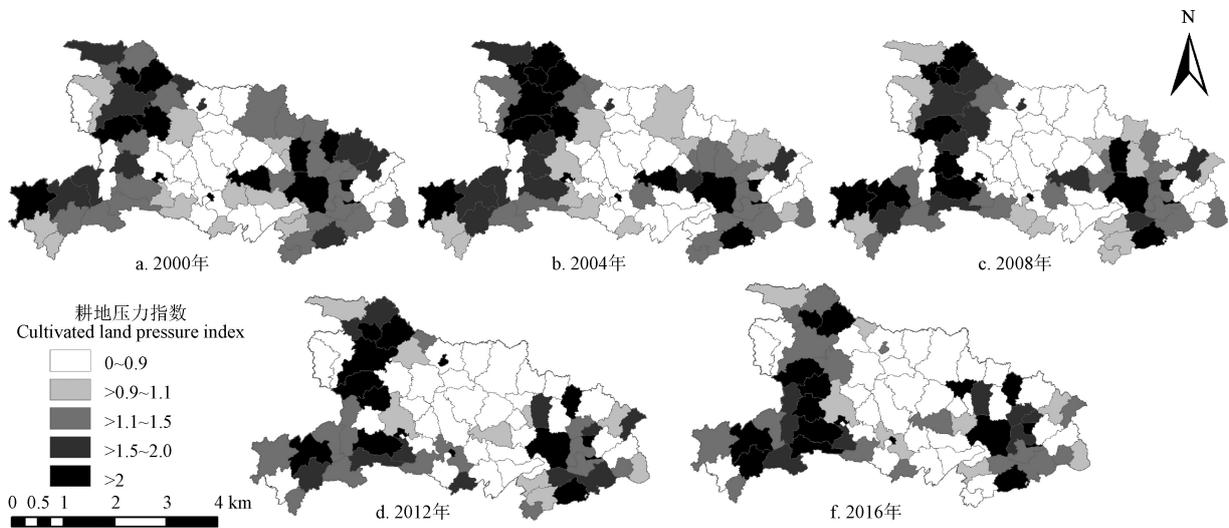


图 3 湖北省耕地压力空间分布图

Fig.3 Spatial distribution map of cultivated land pressure in Hubei Province

3.2 耕地压力动态演进规律

3.2.1 湖北省耕地压力核密度估计

图 4 为不同年份湖北省耕地压力核密度。从全省尺度来看（图 4a）：1）在位置变化上，密度曲线移动趋势不明显，波峰较平缓，波峰变化范围较大，表明湖北省耕地压力区域差异较大。同时，耕地压力核密度曲线右尾移动较小，左尾移动距离大于右尾移动距离，说明耕地压力为警戒压力以下区域比重有所增加，低压力以上区域比重有所减少，呈低值集聚。2）在演变过程中，2000—2005 年，核密度曲线陡峭、波峰数量维持变化不大，密度曲线的区间小幅减小，表明这一阶段耕地压力区域差距呈缩小趋势，主峰峰值达到研究区间最大值，与 2000 年相比，2005 年密度曲线中心位置略微向右移动，波峰数量为 2，且主峰峰值小幅降低，表明区域内耕地压力差距减小，存在两极分化现象，2005 和 2010 年，变量分布小幅左移，波峰数量增加，变化范围区间继续减小，说明该阶段内湖北省耕地压力的地区差距呈缩小趋势，两极分化现象较突出，2016 年，核密度曲线中心位置右移，主峰峰值大幅减小，变量区间最小，次峰形态不明

显，波峰较平缓，变化区间范围较 2010 年是大幅增加，较 2000 年微增，左右拖尾向两边延伸，说明该阶段内湖北省耕地压力地区差距呈大幅增加。可见，全省尺度下，在不同的时间段内耕地压力存在不同水平和变动趋势。

3.2.2 湖北省分区域核密度估计

从区域尺度来看。图 4b 反映了湖北省鄂中区域耕地压力演变情况。1）在位置变化上，密度曲线呈现出“高尖峰形”向“矮宽峰形”转变趋势，变化区间范围大幅增大，表明耕地压力低值区增多，耕地压力总体水平好转，极化现象不明显，各个城市之间耕地压力差异较大。2）在演变过程来上，2000—2005 年，密度曲线陡峭、波峰数量变化较大，峰值为研究区间最大值，变化区间范围较小，耕地压力的总体水平较高，与 2000 年相比，2005 年密度曲线中心位置右移，变化区间微增，主峰值小幅减少，主峰由多个峰波组成，表明鄂东区域各个城市耕地压力极化现象较大，耕地压力的总体水平较高，2005 和 2010 年，密度曲线中心位置向右大幅移动，峰值继续减小，有 3 个峰波，坡度变平缓，变化区间向左右两边扩大，表明耕地情况好转，两极分化现象减小，

但区域内耕地压力差距在进一步扩大, 2016年密度曲线中心位置与往年相比继续向左移动, 主峰值减小, 主峰较明显, 坡度更平缓, 变化区间继续增加, 表明区域内耕地压力差距加剧。

图4c反映了湖北省鄂中区域耕地压力在样本考察期内的演变情况。1) 在位置变化上, 密度曲线位置中心左移, 呈现出“宽峰形”向“尖峰形”转变趋势, 变化区间范围缩小, 表明鄂中区域的耕地压力变化较大, 耕地压力中值区逐步增多, 区域内部两极分化现象明显。2) 在演变过程中, 2000—2005年, 密度曲线为“宽峰形”, 有2个峰波, 密度曲线较平缓, 变化区间范围较小, 表明鄂中区域耕地压力的总体水平较低, 存在一定极化现象, 与2000年相比, 2005年核密度曲线相比, 密度曲线中心位置右移, 主、次峰值均下降, 变化区间扩大, 表明鄂中区域之间耕地压力存在一定差距, 2005和2010年, 密度曲线中心位置大幅左移, 峰值小幅降低, 有多个峰波, 变化区间缩小, 表明区域内耕地压力极化现象变大, 各个城市之间耕地压力差距减小, 2016年密度曲线中心

位置基本不变, 变为辨识度较高的双峰形状, 主峰值大幅上升, 坡度变陡峭, 表明地区耕地压力总体上升, 存在极化现象。

图4d反映了湖北省鄂西区域耕地压力在样本考察期内的演变情况。1) 在位置变化上, 鄂西地区的耕地压力总体水平波动较小, 极化现象明显, 各个城市之间耕地压力差距逐渐变小。2) 在演变过程中, 2000—2005年, 密度曲线呈偏态“M”形双峰分布, 波峰较陡, 变化区间较大, 表明鄂西区域耕地压力差距较大, 存在两极分化现象, 与2000年相比, 2005年密度曲线中心位置向右移动, 主峰值均减小, 次峰值增大, 变化区间小幅减小, 表明鄂西区域耕地压力差距减小, 极化现象明显, 2005和2010年, 密度曲线中心位置向左微移, 主、次峰值均小幅增大, 变化区间继续减小, 表明鄂西区域耕地压力差距缩小, 耕地压力水平变大, 2016年与往年相比, 密度曲线中心位置向右移动, 峰值均增大, 变化区间变小, 表明鄂西区域耕地压力差距逐渐缩小, 耕地压力水平变大, 存在两极分化现象。

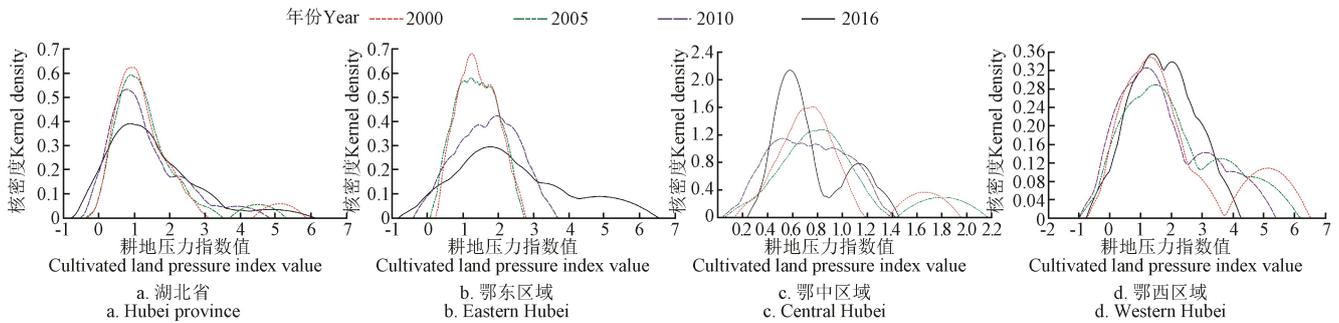


图4 湖北省各区域耕地压力核密度

Fig.4 Kernel density map of cultivated land pressure in various regions of Hubei Province

4 结论与讨论

1) 总体来看, 研究期内, 湖北省耕地压力指数和人均最小耕地面积都表现出降低态势, 平均耕地压力较小, 说明耕地资源利用合理, 区域粮食安全也得到了较好的保障。

2) 湖北省各地区耕地压力状况表现出明显的异质性。研究期内湖北省三个区域耕地压力变动趋势不一, 其中鄂中区域耕地压力时空变化特征明显, 耕地情况严峻, 尤其是武汉市; 鄂西耕地情况次于鄂东, 区域内只有襄阳市耕地情况最好, 其他4个城市耕地压力均在中压力以上; 鄂中区域耕地情况十分乐观, 区域内人均耕地矛盾较小。

3) 湖北省及各区域耕地压力的演进过程伴随着一定程度的极化特征。样本考察期内, 不论是湖北省还是鄂东、鄂中和鄂西耕地压力的密度曲线整体的位置、峰度、形状等方面都存在差异, 湖北省耕地压力情况较好, 两极分化现象不太明显, 呈低值集聚; 密度曲线区间变化情况是鄂东区域>鄂中区域>鄂西区域, 鄂东区域之间耕地压力差距较大, 鄂东鄂西两极分化现象明显, 鄂东区域内耕地压力情况不乐观, 存在一定粮食安全问

题。本文采用修正耕地压力指数模型对湖北省2000—2016年耕地压力状况进行分析, 对于把握湖北省耕地资源利用状况, 探寻乡村振兴战略下的耕地资源高效利用路径具有一定参考价值。但是本文也存在一定不足, 如本文在系统阐释了湖北省耕地压力的区域差异及其演进特征后, 并没有进一步揭示产生这些差异的原因, 特别是针对不同耕地压力状况的城市, 在当前乡村振兴、新旧动能转换、农业现代化等现实背景下, 应该采取何种耕地利用或开发模式等, 这些都是围绕本文研究主题可以深化的主要方向。

[参考文献]

- [1] 王军, 李萍, 詹韵秋, 等. 中国耕地质量保护与提升问题研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(4): 87—93. Wang Jun, Li Ping, Zhan Yunqiu, et al. Study on the protection and improvement of cultivated land quality in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(4): 87—93. (in Chinese with English abstract)
- [2] Kabila A, Selase K, Seth A. Peri-urbanisation and loss of arable land in Kumasi Metropolis in three decades: Evidence from remote sensing image analysis[J]. Land Use Policy, 2018, 72: 470—479.
- [3] 耿艳辉, 闵庆文, 成升魁, 等. 泾河流域耕地—人口—粮食系统与耕地压力指数时空分布[J]. 农业工程学报,

- 2008, 24(10): 68—73.
Geng Yanhui, Min Qingwen, Cheng Shengkui, et al. Temporal and spatial distribution of cropland-population-grain system and pressure index on cropland in Jinghe watershed[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(10): 68—73. (in Chinese with English abstract)
- [4] 罗海平, 周静逸, 余兆鹏. 基于耕地压力的我国粮食主产区粮食安全预警及对策研究—1985—2015 年数据比较[J]. 农业经济, 2018(12): 3—5.
- [5] 冉清红. 中国耕地警戒值研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009. Ran Qinghong. Study on the Security of Arable Land in China[D]. Chongqing: Southwest University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [6] 蔡运龙, 傅泽强, 戴尔阜. 区域最小人均耕地面积与耕地资源调控[J]. 地理学报, 2002, 12(2): 127—134. Cai Yunlong, Fu Zeqiang, Dai Erfu. The minimum area per capita of cultivated land and its implication for the optimization of land resource allocation[J]. Acta Geographica Sinica, 2002, 12(2): 127—134. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张雅杰, 闫小爽, 张丰, 等. 1978—2015 年中国多尺度耕地压力时空差异分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(13): 1—7. Zhang Yajie, Yan Xiaoshuang, Zhang Feng, et al. Analysis on temporal-spatial difference of cultivated land pressure at multiple scales in China from 1978 to 2015[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(13): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [8] 李春华, 李宁, 史培军. 我国耕地利用压力区域差异的 RBF 模型判定[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 5(5): 67—71. Li Chunhua, Li Ning, Shi Peijun. Analysis on regional differentiation of cultivated land use pressure in China by radial basis function networks[J]. China Population, Resources and Environment, 2006, 5(5): 67—71. (in Chinese with English abstract)
- [9] Tao J, Fu M C, Zhang D X, et al. System dynamics modeling for the pressure index of cultivated land in China[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2013, 11(2): 1045—1049.
- [10] 韩成吉, 张雪花, 滑永胜. 基于 SD 的耕地与生态用地联合调配策略仿真与优选: 以天津市为例[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(3): 391—404. Han Chengji, Zhang Xuehua, Hua Yongsheng. Development of strategies for joint allocation of cultivated land and ecological land in Tianjin based on system dynamics[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(3): 391—404 (in Chinese with English abstract)
- [11] 张远索, 张占录, 孟斌, 等. 北京市人地关系现状及预测—基于生态足迹和 GM 模型的分析[J]. 城市问题, 2011(5): 34—39. Zhang Yuansuo, Zhang Zhanlu, Meng Bin, et al. The status quo and prediction of human—land relationship in Beijing: Analysis based on ecological footprint and GM model[J]. Urban Issues, 2011(5): 34—39. (in Chinese with English abstract)
- [12] 杨青. 云南省耕地压力测算及其时空差异和影响因素分析[D]. 昆明: 云南财经大学, 2017. Yang Qing. Spatial Differences and Influences of Cultivated Land Pressure in Yunnan Province [D]. Kunming: Yunnan University of Finance and Economics, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [13] 罗翔, 罗静, 张路. 耕地压力与中国城镇化—基于地理差异的实证研究[J]. 中国人口科学, 2015(4): 47—59. Luo Xiang, Luo Jing, Zhang Lu. Effects of labor market regulation on technology innovation: an empirical research based on the World Bank China-Enterprise Survey data[J]. China Population Science, 2015(4): 47—59. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨婧. 水市耕地压力空间分异及影响因素分析[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018. Yang Jing. Analysis on the Spatial Differentiation and Its Influential Factors of Cultivated Land Pressure in Tianshui[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018. (in Chinese with English abstract)
- [15] 朱红波, 吴熙, 孙慧宁. 我国西部地区耕地压力的动态变化与空间差异研究[J]. 广东土地科学, 2018, 17(4): 4—9. Zhu Hongbo, Wu Xi, Sun Huining. Research on dynamic change and spatial differentiation of cultivated land pressure on time and space in Western China[J]. Guangdong Land Science, 2018, 17(4): 4—9. (in Chinese with English abstract)
- [16] 杨人豪, 杨庆媛, 陈伊多, 等. 基于耕地-粮食-人口系统的休耕区域耕地压力时空演变及预测: 以河北省为例[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(3): 270—278. Yang Renhao, Yang Qingyuan, Chen Yiduo, et al. Cultivated area—food—population system in land fallow area and analysis of spatio-temporal evolution and prediction of cultivated land index—A case study of Hebei Province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(3): 270—278. (in Chinese with English abstract)
- [17] 张慧, 王洋. 中国耕地压力的空间分异及社会经济因素影响: 基于 342 个地级行政区的面板数据[J]. 地理研究, 2017, 36(4): 731—742. Zhang Hui, Wang Yang. Spatial differentiation of cropland pressure and its socio-economic factors in China based on panel data of 342 prefectural-level units[J]. Geographical Research, 2017, 36(4): 731—742. (in Chinese with English abstract)
- [18] 杨人豪, 杨庆媛, 陈伊多, 等. 河北省耕地压力与经济发展的时空耦合研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(2): 18—27. Yang Renhao, Yang Qingyuan, Chen Yiduo, et al. Spatial-temporal characteristics of coupling of cultivated land pressure with economic development in Hebei Province[J]. China Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(2): 18—27. (in Chinese with English abstract)
- [19] 宋小青, 欧阳竹. 1999—2007 年中国粮食安全的关键影响因素[J]. 地理学报, 2012, 67(6): 793—803. Song Xiaoqing, Ou yang Zhu. Key influencing factors of food security guarantee in China during 1999-2007 [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(6): 793—803. (in Chinese with English abstract)
- [20] Ye L, Xiong W, Li Z, et al. Climate change impact on China food security in 2050[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2013, 33(2): 363—374.
- [21] 黄雨, 田明华. 虚拟耕地视角下中国粮食贸易对耕地压力的影响[J]. 当代经济研究, 2018(3): 81—87.
- [22] 王亚运. 农户家庭耕地利用功能对土地利用行为的影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018. Wang Yayun. The effect of Cultivated Land Use Function on the Land Use Behavior in Rural Household: An Empirical Study of Different Main Function Zones in Hubei Province[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018. (in Chinese with English abstract)
- [23] 包宗顺, 徐志明, 高珊, 等. 农村土地流转的区域差异与影响因素: 以江苏省为例[J]. 中国农村经济, 2009(4): 23—30.
- [24] 朱巧娴, 梅昀, 陈银蓉, 等. 基于碳排放测算的湖北省土

- 地利用结构效率的 DEA 模型分析与空间分异研究[J]. 经济地理, 2015, 35(12): 176—184.
- Zhu Qiaoxian, Mei Yan, Chen Yinrong, et al. Regional differentiation characteristics and optimization of the structural efficiency of land use in Hubei Province based on the carbon emissions[J]. *Economic Geography*, 2015, 35(12): 176—184. (in Chinese with English abstract)
- [25] 赵沅君. 湖北省区域经济差异的界定与 Theil 指数分析[J]. 农村经济与科技, 2018, 29(12): 150—152.
- [26] 罗翔, 曾菊新, 朱媛媛, 等. 谁来养活中国: 耕地压力在粮食安全中的作用及解释[J]. 地理研究, 2016, 35(12): 2216—2226.
- Luo Xiang, Zeng Juxin, Zhu Yuanyuan, et al. Who will feed China: The role and explanation of China's farmland pressure in food security[J]. *Geography Research*, 2016, 35(12): 2216—2226. (in Chinese with English abstract)
- [27] 江天河. 基于主成分分析法的湖北省粮食自给率预测分析[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(23): 4676—4680.
- Jiang Tianhe. The prediction and analysis of food self-sufficiency of Hubei Province based on principal component analysis[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2017, 56(23): 4676—4680. (in Chinese with English abstract)
- [28] 张利国, 陈苏. 中国人均粮食占有量时空演变及驱动因素[J]. 经济地理, 2015, 35(3): 171—177.
- Zhang Ligu, Chen Su. Empirical analysis on spatio-temporal evolution and driving forces of per capita grain possession in China [J]. *Economic Geography*, 2015, 35(3): 171—177. (in Chinese with English abstract)
- [29] Yang Q, Yang Z S. The measurement and grading of pressure on cultivated land in city-level in Yunnan province[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2015, 16(7): 1562—1564.
- [30] 匡兵, 卢新海, 周敏. 中国城市土地经济密度的分布动态演进[J]. 中国土地科学, 2016, 30(10): 47—54.
- Kuang Bing, Lu Xinhai, Zhou Min. Dynamic evolution of urban land economic density distribution in China [J]. *China Land Sciences*, 2016, 30(10): 47—54. (in Chinese with English abstract)

Regional differences and dynamic evolution of cultivated land pressure in Hubei Province

Lu Xinhai^{1,2}, Liu Ruihong¹, Kuang Bing^{1*}

(1. College of Public Administration, Central China Normal University, Wuhan 430079, China;

2. College of Public Administration, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to fully research the regional differences and dynamic evolution of cultivated land pressure to ensure food security in Hubei Province, the revised cultivated land pressure index was used to measure the pressure of cultivated land in Hubei Province and its 17 cities. The difference of cultivated land pressure variation in Hubei Province from time series and spatial level was analyzed. The kernel density estimation method was used to describe the dynamic evolution of cultivated land pressure. The results showed that: 1) During the period 2000-2016, the cultivated land pressure index and the minimum cultivated land area per capita showed a decrease trend. The average cultivated land pressure index was 1.011 in Hubei Province; the cultivated land pressure was warning pressure. The minimum per capita arable land area and per capita actual supply area were small. 2) During the period 2000-2016, the change of cultivated land pressure in Hubei Province is inconsistent. The temporal and spatial changes of cultivated land pressure were obvious, and the situation of cultivated land pressure was severe in the central area of Hubei Province, Wuhan in particular. The cultivated land pressure in western area was weaker than that of eastern area of Hubei Province, and the situation of cultivated land pressure in Xiangyang city was the best. The trend of cultivated land pressure in 17 urban areas was different, but the current situation of cultivated land pressure in Hubei was optimistic and the change was small. At the same time, the pressure of cultivated land in western and eastern Hubei provinces was different. In the eastern region, such as Wuhan, E'zhou and Huangshi, they had higher pressures on cultivated land, but Huanggang and Xianning had better pressure of cultivated land. Only the pressure of cultivated land in Xiangyang City reached the best. The pressure on cultivated land in the other four cities was higher than medium pressure; the annual pressure of cultivated land in Shiyan City was higher than high pressure. 3) The overall level of cultivated land pressure gradually decreased during the sample survey period, but the regional gap increased, and the polarization phenomenon was quite obvious. 4) From the perspective of different regions, the overall level of cultivated land pressure in the eastern Hubei was continuously decreasing, the regional gap was large, and the polarization phenomenon was more prominent; the pressure level of cultivated land in central Hubei was low, the regional gap was not large, and the polarization was not obvious; the pressure of cultivated land in western Hubei horizontally centered, there was a regional gap, and polarization was not obvious as the eastern region.

Keywords: land use; models; cultivated land; modified cultivated land pressure index; kernel density estimation; dynamic evolution; Hubei Province