

长江经济带耕地压力时空演变规律与趋势

王艳 张安录¹

(华中农业大学 公共管理学院, 湖北 武汉 430070)

【摘要】: 长江经济带作为我国经济发展核心区和重要农业生产基地, 在快速城镇化和工业化进程中, 耕地资源承载负荷大、压力显著, 面临巨大风险和挑战。基于标准耕地系数修正的压力指数模型分析长江经济带 1987~2017 年耕地资源情况, 多时空尺度反映变化态势, 并利用预测模型测算耕地压力未来变化趋势。结果表明: (1) 长江经济带耕地压力时间序列呈现倒“V”型分布, 2003 年达到压力峰值后缓慢下降; 空间格局呈现出“整体稳定、局部动荡”基本态势, 压力重心向东迁移; (2) 区域耕地压力异质性明显, 长江上游主要受恶劣的耕种条件和频发的自然灾害影响, 长江下游主要受快速城镇化影响, 分布格局上表现出“下游急速上升, 中游稳步下降, 上游波动起伏”的局面; (3) 未来 5 年(十四五期间)长江经济带耕地压力并未得到缓解, 且有逐年增长的势头, 对大保护战略构成一定挑战, 需要引起有关决策部门重视。

【关键词】: 耕地压力指数 重心转移 分异测度指数 预测模型 长江经济带

【中图分类号】: F590 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)02-0461-11

人均耕地少、高质量耕地少、耕地后备资源少的资源窘境注定我国过去、现在和未来都不可避免要解决耕地资源稀缺问题, 耕地压力的严峻性与保护的紧迫性已引起了各界广泛关注。许多学者从耕地资源态势^[1,2,3]、粮食安全评价^[4,5,6]、耕地保护政策^[7,8,9]、耕地压力变化^[10,11,12]等方面展开了深入研究, 其中 2002 年蔡运龙等^[13]提出的耕地压力指数模型得到学者的认可并广泛应用, 现有研究多基于全国宏观尺度^[14,15,16]和省份市县微观尺度^[17,18,19], 较少关注长江流域中观尺度耕地压力状况。长江经济带作为国家三大发展战略之一, 面临着生态保护与经济发展双重挑战, 随着“大开发一大保护”发展理念转型, 研究上中下游各省份耕地压力状况具有重大现实意义。针对以往多注重耕地数量层面压力分析, 本文基于长江经济带 1987~2017 年耕地资源的数量变化和质量状况, 从流域、城市群和省域尺度描述耕地压力时空特征, 并引入重力模型和总体分异测度指数进行空间直观探讨, 最后根据马尔科夫链修正的灰色预测模型更精准的反映未来变化态势, 对长江经济带大开发到大保护战略提供决策参考。

1 研究区概况

以长江黄金水道为依托建立的长江经济带横跨中国东中西三大区域, 以 21%的国土面积支撑 45%的经济总量, 2019 年生产总值突破 45 万亿元, 已然发展为我国最具发展活力和潜力的区域之一; 以全国 33%的耕地面积承载 50%的农业人口, 拥有得天独厚的农业生产条件, 是我国粮食生产核心区和现代化农业发展优势区。

1.1 发展历程

长江经济带是 20 世纪八九十年代的国家产物, 以期通过与沿海经济带共同构建的“T”型战略布局带动区域发展, 从探索

¹**作者简介:** 王艳(1995~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为土地资源经济与可持续发展. E-mail:769629921@qq.com;张安录 E-mail:zhanganlu@mail.hzau.edu.cn

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(18ZDA054);国家自然科学基金项目(71873053);自然资源部测绘科学与地球空间信息技术重点实验室经费资助项目(2020-3-2)

提出到全面实施, 战略演变大致经历 4 阶段^[20, 21]: (1) 初建阶段 (20 世纪八九十年代), 1984 年陆大道倡导的“T”型开发格局拉开了长江沿岸发展序幕。随着浦东开放开发以及三峡大坝工程建设的相继实施, 长江经济带建设进入实质性启动阶段。(2) 停滞阶段 (2000~2013 年), 优先发展沿海地区向重点发展中西部地区 (西部大开发、中部崛起等) 区域开发政策的转变, 长江经济带并未得到全员动员式整体开发。(3) 重构阶段 (2013~2016 年), 为进一步扩大开放打造新经济增长点和促进区域间合作, 作为东西重要轴线的长江经济带被再次提出。(4) 保护阶段 (2016 年至今), 由“大开发”向“大保护”战略导向的转型推进地区协同与高质量发展。

1.2 耕地资源状况

农业作为长江经济带重要产业载体, 发挥支撑和引领作用, 但人均耕地面积仅占全国的 3/4, 世界的 1/4。耕地面积呈现逐年递减的趋势, 流失速度明显快于全国平均水平, 年递减率为 0.42%, 耕地保护形势严峻。

因耕地面积统计口径变化, 以 1996 和 2009 年为时间节点划分为 3 个时间段可更真实反映耕地资源面积变化 (图 1)。(1) 1987~1995 年耕地净减少 75.75 万 hm^2 , 年递减率为 0.30%, 占全国耕地流失总量的 82.80%。1992 年长江经济带开放开发战略的启动导致耕地面积骤减, 较 1991 年净减少量多减少 10 万 hm^2 , 1993 年达到小“高潮”, 耕地净减少 19.2 万 hm^2 。(2) 1996~2008 年是耕地流失高峰期, 虽然耕地流失量占全国比重有所下降, 但耕地面积下降迅速, 净减少 290.87 万 hm^2 , 年递减率为 0.56%。2003 年达到流失高峰, 净减少量高达 83 万 hm^2 , 是 1987 年以来耕地流失速度最快一年。(3) 2009~2017 年是耕地变化稳定期, 耕地数量保持基本稳定, 递减速率明显降低, 年均递减率 0.07%。

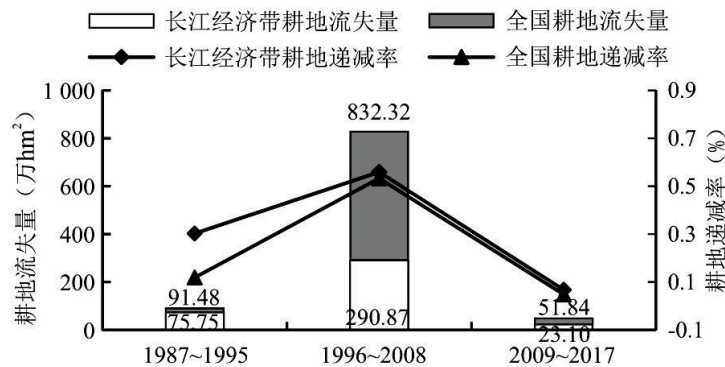


图 1 耕地流失量与耕地递减率

2 模型构建与数据来源

2.1 耕地压力指数

标准耕地压力指数模型表征为最小需求和实际占有人均耕地面积间比值关系, 以此评估区域耕地资源的紧张水平^[13], 常用耕地质量因子进行系数修正以反映耕地数量质量综合压力变化, 表达式如下:

$$K_0 = \frac{S_{\min}}{S} = \frac{\beta \times G_r}{S \times p \times q \times k}$$

$$K = \frac{K_0}{\sigma} = \frac{K_0}{p_i \times k_i / p_n \times k_n}$$

式中：K、K₀为耕地压力指数、标准耕地压力指数；S、S_{min}为实际人均耕地面积、最小人均耕地面积(hm²/人)；G_r为人均粮食需求量(kg/人)；β 为粮食自给率；p 为粮食单产(kg/hm²)；q 为粮作比；k 为复种指数；σ 为标准耕地系数。

耕地压力指数属于动态变量，K 值越大，安全等级越低，保护压力越急迫。基于对耕地压力内涵的剖析和理解，可将值域细分为 5 级^[10,22]：无压力(K≤0.9)、警戒压力(0.9<K≤1.1)、低压力(1.1<K≤1.5)、中压力(1.5<K≤3)、高压(K>3)。

人均粮食需求量是测度区域粮食需求的重要指标，鲁奇^[23]依据发展及消费趋势，将 400kg 划定为温饱和小康水平分界值；贺一梅等^[24]结合相关部门和多数学者意见确定不同粮食消费发展型的人均粮食量。本文参考社会发展实际情况(2000 年基本进入小康社会，到 2020 年全面建成小康社会)，将 2000 年需求量定为 400kg，并以每年 2kg 的比例递增递减。

粮食自给率体现国家粮食自给水平，是测度粮食安全程度的重要指标。大多数学者普遍认为我国基本满足“自给自足”的状态，国家整体粮食自给率达到 100%。基于地区间的耕地资源禀赋差异，若自动赋予各省 100%的粮食自给率会造成结果失真，因此结合地区粮食主产区与经济发达区的差异，本文参考朱红波等^[11]学者文中提及的粮食自给率进行计算。

2.2 重心模型

重心模型用以分析耕地压力空间集聚及位移规律^[25]，基本模型如下：

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i K_i}{\sum_{i=1}^n K_i}, Y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i K_i}{\sum_{i=1}^n K_i}$$

$$D = C \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2}$$

式中：(X, Y)为长江经济带耕地压力指数重心坐标；K_i为 i 省份的耕地压力指数；D 为从 b 时期到 a 时期重心移动距离(km)；C 为地理坐标单位换算平面距离系数(常取 111.111)^[26]。

2.3 总体分异测度指数

总体分异测度指数用于测度长江经济带耕地压力的整体分异和波动离散情况^[27]，计算公式如下：

$$GDI = w_1 CV + w_2 T + w_3 GE + w_4 A$$

$$CV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n} / \mu}$$

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\mu} \ln \frac{x_i}{\mu}$$

$$GE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \frac{\mu}{x_i}$$

$$A = 1 - \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\mu} \right)^{1-\epsilon} \right]^{\frac{1}{1-\epsilon}}$$

式中：GDI 为总体分异测度指数；CV 为变异指数；T 为泰尔指数；GE 为总熵指数；A 为阿特金森指数；w 为各差异指数的权

重,采用熵值法进行赋值; i 为各省份; x_i 为第 i 个省份的耕地压力指数; μ 为耕地压力指数的平均值; ε 为差异灵敏系数,常取 0.5。

2.4 灰色马尔科夫预测模型

GM(1,1) 是邓聚龙学者于 1982 年创设的灰色系统理论核心内容之一,通过“累加”对一组随机序列进行趋势预测。基于耕地压力指数各项指标的“灰性”,利用灰色系统 GM(1,1) 可有效进行特征值的发展变化预测^[28,29],简要表达式如下:

$$\begin{aligned} X_{(i+1)}^{(1)} &= \left(X_{(1)}^{(0)} - \frac{u}{a} \right) e^{-at} + \frac{u}{a} \\ X_{(i+1)}^{(0)} &= X_{(i+1)}^{(1)} - X_{(i)}^{(1)} \end{aligned}$$

式中: $X_{(i+1)}^{(1)}$ 为累和生成数列; $X_{(i+1)}^{(0)}$ 为原始数列; $X_{(1)}^{(0)}$ 为原始数列初始值; a 为发展系数,用于控制系统发展态势大小; u 为灰色作用量,用于反映数据变化特征。

灰色马尔科夫预测模型是 GM(1,1) 模型和马尔科夫链理论的结合体,在 GM(1,1) 模型基础上确定状态区间和转移概率矩阵,由某一年所处状态判断下一年出现的状态,并根据状态区间中值来确定预测值^[30,31]。

$$X(t) = \frac{X^0(t)}{1 \pm \frac{1}{2} |\theta_1 + \theta_2|}$$

式中: $X(t)$ 为灰色马尔科夫预测值; θ_1 和 θ_2 为状态区间的阈值;高估取正,低估取负。

2.5 数据来源

基于统计口径的差异,耕地面积数据 1996 年以前取自《中国农业年鉴》,此后数据来源于《国土资源年鉴》和土地利用变更数据;生产消费性数据(产量、播种面积等)、人口等数据主要来源于《中国统计年鉴》和《中国农村统计年鉴》,对于个别缺失数据由省级统计数据补充。由于重庆市 1997 年设立为直辖市,无法准确获取 1987~1996 年数据,为保证数据真实性,该时段以其他 10 省(市)为研究对象。

3 结果与分析

3.1 耕地压力时空演化特征

3.1.1 流域尺度

在经济建设和耕地保护的制约博弈下,长江经济带整体耕地压力呈倒“V”型分布(图 2),变动幅度较小,长期处于“警戒压力”水平,在安全区域上下浮动。1987~2003 年,长江经济带与全国压力曲线基本重合,耕地压力指数由 1987 年的 0.9307 增加至 2003 年的 1.2571,增幅 35%。改革开放浪潮迅速席卷全国,各地大力发展经济建设,固定资产投资增加加速非农建设用地

大量侵占耕地。与此同时,生态退耕工程无疑“雪上加霜”,各地积极响应退耕还林、还湖、还草的号召,林地草地等大量增加导致耕地大量减少。

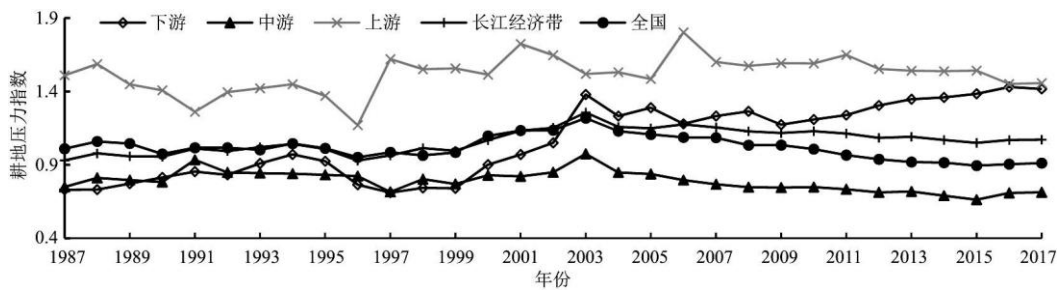


图2 1987~2017年耕地压力变化曲线

经济发展与粮食安全对耕地需求矛盾加剧,“倒逼”国家出台“耕地总量动态平衡”、“土地增减挂钩”等一系列措施,开始实施最严格的耕地保护制度,以扼制耕地资源持续恶化势头。在耕地保护政策驱动效应下,长江经济带耕地压力稳步下降至2017年的1.0712,但在“大开发”背景下,无序利用和过度开发不断升级,“西部大开发”、“中部崛起”区域战略的推进更是加大了长江中上游地区耕地承载负荷,耕地压力整体下降速度滞后于全国平均水平。

3.1.2 城市群尺度

长江经济带涉及了三大城市群,以上海龙头为代表的长三角城市群(下游),以龙腰武汉为代表的长江中游城市群(中游),以龙尾重庆为代表的成渝城市群(上游)。从整体上看,耕地侵占强度由上游到下游逐渐增强^[32],耕地压力表现出“下游急速上升,中游稳步下降,上游波动起伏”的局面。

长江下游作为重点开发区,呈现出土地垦殖系数高、开发强度大、扩展速度快、集约化利用显著的高强度开发特征^[33],“用地热”和“开发热”表现明显,耕地年递减率达0.46%,全区因非农建设占用耕地和农业结构调整带来的耕地流失居首位,耕地压力急剧增大,压力指数猛升1.94倍,由“无压力”向“中压力”区迈进,是长江经济带耕地压力提速最快的区域,特别是1999~2003年年均增长21.58%,粮食安全水平大幅度下降。

长江中游作为粮食主产区,自然资源丰富,农耕历史悠久,具有良好农业生产基础优势,是现代产业基地和农产品供应地。耕地面积变化与长江下游地区大同小异,但流失强度明显缓解,全区耕地以年均0.33%的速度递减,并于近几年降至0.08%。耕地压力走势与全国基本平行,同升同降,但整体趋势较为平缓,除2003年压力指数达到0.9749,其余年份一直处于“无压力”状态,有效制约了长江上游耕地压力快速增长势头,保障粮食安全。

长江上游作为生态功能区,肩负保障和维护国家生态安全的重大使命。在西部大开发战略、生态退耕工程建设和灾害毁坏三重因素制约下,1996~2008年间共计减少耕地147.85万 hm^2 ,年均递减率高达0.68%,只1999年因非农占用、生态退耕和灾毁减少耕地面积占全国同类耕地减少总面积的33.26%、34.39%和20.70%。虽然上游地区耕地面积体量大,但恶劣的耕种条件、频发的地质灾害和生态退耕压力严重制约着农业发展,耕地生产力难以提高,质量因子仅为长江经济带的一半,区域耕地压力始终处于高位且波动起伏较大,如2006年因特大干旱灾害造成重庆和四川粮食单产骤减,耕地压力指数年增加0.3175。

3.1.3 省域尺度

选取具有代表性年份作为时间断面,进行空间可视化表达(图3)。受制于自然、经济、社会及资源禀赋多方制约,耕地压力

变化呈现显著区域异质性。省份内有限的耕地后备资源难以维持各区域占补平衡，除 2009~2017 年上海、湖南、四川出现些微耕地净增长，其余省份均表现为耕地流失，其中湖北省 1987~1995 年和 2009~2017 两个时间段耕地减少最多，分别为 159.64 和 89.17Khm²；四川省 1996~2008 年耕地减少最大为 710.8Khm²。

耕地压力时间序列整体呈倒“V”型分布，2003 年达到高峰期，表现出中压力集聚的状况，空间格局基本态势为“整体稳定、局部动荡”。主要表现为：(1)江苏、江西、湖南——“无压力”区，耕地质量较高，农业机械化程度高，耕地压力始终处于安全区域；(2)安徽、四川——“警戒压力”和“低压力”随机变动区，主要由于压力指数在 1.1 边界上下浮动，但总体变动幅度较小，该地区耕地面积、农业人口、农业经济占比重，耕地压力表现不明显；(3)重庆、湖北——“低压力”区，在成渝城市群和武汉“1+8”都市圈带动下，重庆和湖北城市发展在中西部突出，耕地压力虽然一直处于“低压力”，但有明显上升趋势，并向“中压力”靠拢；(4)贵州、云南——“中压力”区，云贵地区人均耕地面积大，农业经济比重高，但恶劣的自然条件和落后的农业科技管理手段，造成耕地投入产出效率低、压力较大；(5)上海、浙江——压力飙升区，压力指数由“无压力”向“高压力”区靠拢，主要是由于“四化”建设难以同步，农业现代化滞后性明显，基础薄弱，成为耕地压力急剧增大集中区。

3.2 重心移动规律

长江经济带耕地压力重心在浙江东部沿海地区，且随时间推移一路向东(图4)，其中径向移动 1.5525°，纬向移动 0.0657°。耕地压力重心沿着“东北—西南—东北—东南—东北”轨迹共迁移了 172.66km，1987~1992 年向东北移 34.98km，1992~1996 年向西南移 22.68km，1996~2003 年向东北移 108.95km，2003~2014 年向东南移 48.49km，2014~2017 年向东北移 6.02km。

3.3 空间分异特征

计算长江经济带及流域间耕地压力水平差异指数和分异测度指数(图 5)，GDI 指数呈现“W”型波动，2003 年之前耕地压力空间分异有所缓解，但随着粮食主产区功能的划定，耕地投入和贡献度区域差异显著，粮食生产责任和输出能力不尽相同，耕地资源面临的压力分化格局明显。

流域间表现出与耕地压力指数变化同趋势的特征，上游表现“λ”型分布，中游稳中向好，下游呈动态上升趋势。上游地区重庆、四川耕地压力增加的同时贵州、云南呈递减态势，区域间耕地压力逐渐趋同，空间分异趋缓。中游地区肩负粮食主产区的职责，耕地压力较为一致，且无明显变动。下游地区作为耕地减少热点区，由初期低异质性逐增为高异质性，猛增 7.43 倍，空间分异程度明显，主要表现为江苏“无压力”区与上海、浙江“中高压压力”区间的差异。

4 耕地压力趋势预测

4.1 灰色马尔科夫模型预测

对长江经济带耕地压力指数建立灰色预测模型：

$$X_{(t+1)}^1 = 214.45838e^{0.0046t} - 213.5277$$

根据实际值与灰色预测值间的相对误差划分状态区间(10%, 15%)、(6%, 10%)、(2%, 6%)、(-2%, 2%)、(-6%, -2%)、(-10%, -6%)、(-15%, -10%)，并确定状态转移矩阵。

$$P = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.667 & 0.333 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.111 & 0.111 & 0.445 & 0.333 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.571 & 0.143 & 0.143 & 0.143 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.667 & 0.333 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

进行马尔科夫链修正可得预测值, 比较 GM(1, 1) 模型预测值和灰色马尔科夫模型预测值与实际值(图 6), 可以看出灰色预测模型呈一条平滑的直线, 多表现出整体变化的大体趋势走向, 无法反映短期波动状况, 而经过马尔科夫链修正后的预测模型能更准确反映耕地压力起伏波动, 与实际值差距较小, 模型精准度得到明显提高。

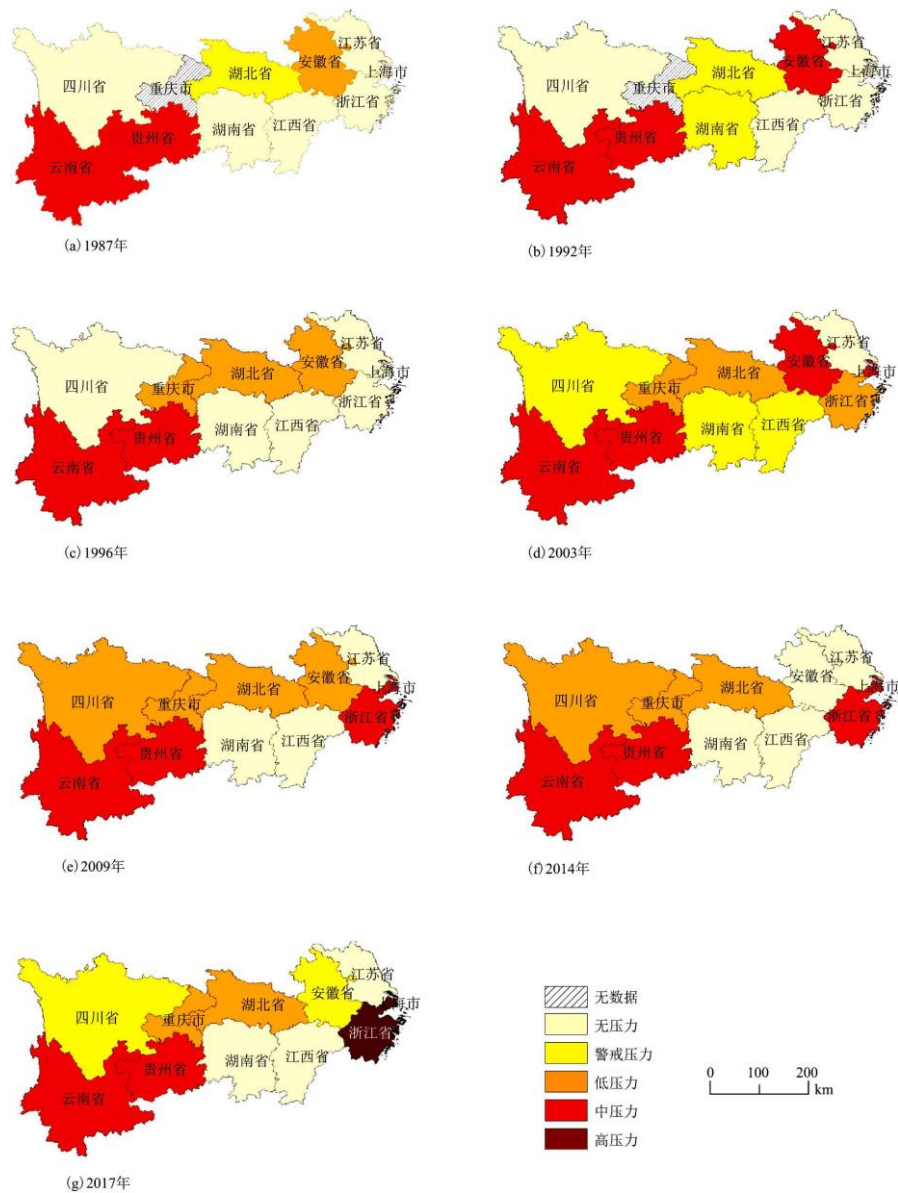


图3 耕地压力时空演变格局

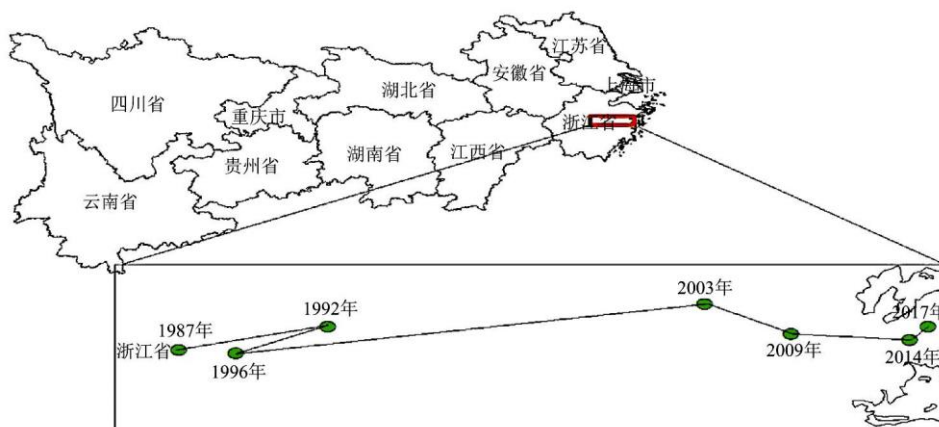


图4 耕地压力重心及迁移轨迹

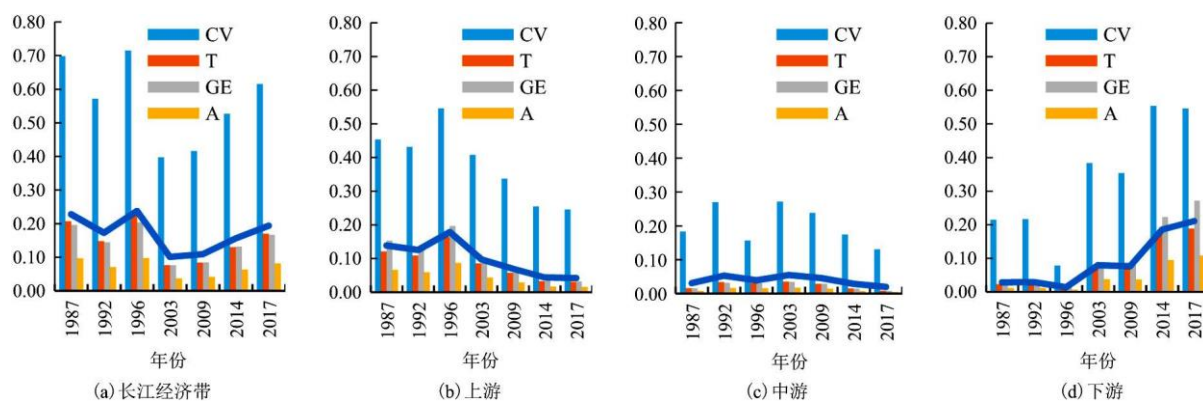


图5 耕地压力分异状况

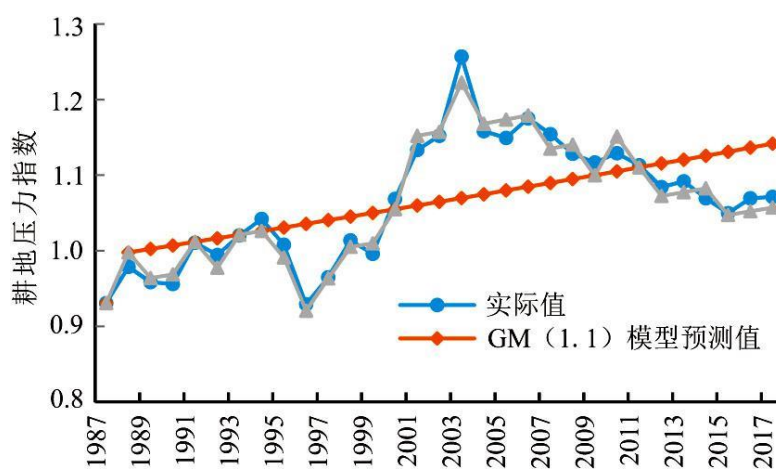


图6 耕地压力实际值与预测值变动曲线

4.2 耕地压力指数趋势预测

根据模型，预测各省份耕地压力指数(图 7)。长江经济带整体耕地压力处于安全区，压力指数在“1”附近浮动，变化幅度较小。农业弱势地位明显，创收能力弱、市场竞争力低，在全国耕地状况转好的趋势下呈现缓慢增长的势头，需引以重视并加以防范。

在土地城镇化和人口城镇化双向引导下各省实际人均最小耕地面积逐年递减，而最小人均耕地面积和耕地质量变化差异性使得耕地压力在数值上表现出“U”型特征，下游地区整体耕地压力明显大于上游地区，上游地区略大于中游地区。在空间分布上表现出上海、浙江快速猛升，重庆、湖南微调，江苏、江西、四川基本持平，安徽、湖北、贵州、云南逐年降低的态势。随着农业技术的不断更新与投入，耕地生产力得到明显提高，退耕还林政策的“时间效应”得以凸显，土地利用环境得到改善，特别上长江上游地区贵州、云南等地耕地压力得以有效缓解。



图 7 2019~2025 年耕地压力指数预测变化

对比 2018 年耕地压力预测值与实际值(图 8), 可以发现预测均达到 90%以上水准, 其中长江经济带及北部地区拟合优度较高, 相对误差在 5%以下。通过预测模型可以较为真实的反映耕地压力未来变化态势, 精确度和可靠性较高。

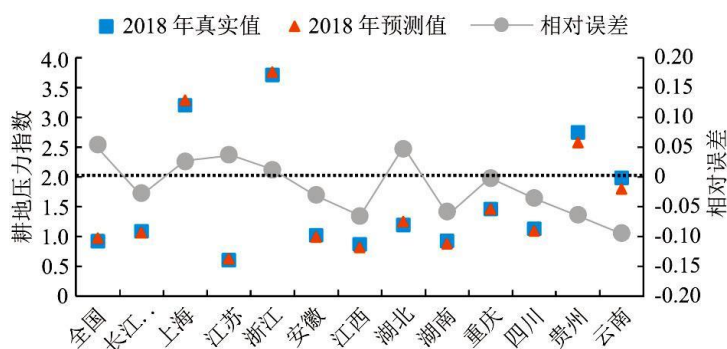


图 8 2018 年耕地压力预测值与实际值对比图

5 结论与讨论

5.1 结论

长江经济带经历了“大开发”向“大保护”发展理念的转变，其特殊功能定位决定了发展与保护的双重压力。本文以耕地

压力指数为模型，分析长江经济带耕地资源承载负荷和紧张情况，并以修正的灰色预测模型模拟未来变化趋势，主要结论如下：

(1) 长江经济带耕地压力呈波动上升趋势，2003 年达到峰值后缓慢下降，耕地压力在安全区域徘徊，时间序列表现出倒“V”型分布特征，空间格局呈现出“整体稳定、局部动荡”基本态势，压力重心随时间一路向东迁移。

(2) 城市群内和城市群间耕地压力具有明显异质性，整体 GDI 指数呈“W”型分布。耕地压力指数流域空间上呈现出“下游急速上升，中游稳步下降，上游波动起伏”的特征，其中下游时空变化特征明显，高速城镇化加速耕地流失，耕地压力情况不容乐观；上游耕地面积基数大，但地质灾害和退耕压力直接影响农业生产，导致较大的耕地压力；中游地大物博，资源禀赋较好，耕地压力盈余处于无压力区，承担起耕地保护主力军。

(3) 在严格的耕地保护制度下，各方用地需求基本处于稳定状态，未来 5 年(十四五期间)长江经济带耕地压力并未得到缓解，且有逐年增长的势头，对长江经济带大保护战略构成一定挑战，需要引起有关决策部门重视。

实现“大开发-大保护”战略转型，从整体变化态势来看，仍需要政府扶持，进行产业引导，优化国土空间，发展区域比较优势，同时建立事权和财权一致性和匹配关系，达到平衡发展与保护的目的。此外，建立跨区域耕地补偿机制，加强上下联动和平行互动。长江下游作为耕地压力重灾区以财政转移支付的方式补偿给中下游地区，突破行政壁垒，以钱换地、以钱换指标，规避“暴利-暴损”困境和“保护强省—发展弱省—财政穷省”的窘境，实现区域健康可持续发展。最后应实行耕地差别化保护政策，因地制宜发展农业。上游地区着力提升农业机械化水平，通过生态保护机制和生态产业扶持政策，充分挖掘耕地资源潜力；中游地区继续发扬农耕传统，优化农业产业结构，加大土地整治力度，开发后备资源，提高规模效应；下游地区着力促进高质量发展，培育新兴产业，控制占地耗能产业的发展，建设“两型”社会。

5.2 讨论

同以往多基于全国或单一省份研究相比，本文使用标准耕地系数修正的耕地压力指数模型更能直观反映出长江经济带耕地数量与质量双重压力状况，经由马尔科夫链修正的预测模型较单一的模型精确度更高，拟合度更强，但也存在一些需要改进的问题：

(1) 数据可比性和实践性。

基于全国土地一调、二调技术方法、地类界定、统计口径、坐标系等差异，以此为时间分段依据，但无法和关键法规出台、机构改革、经济节点吻合，且时段时长对等性无法满足，下一步可对二者衔接数据进行修正及技术转换后深入分析。此外，目前三调工作正处于数据汇总验收阶段，基于数据保密性，未来可针对三调数据展开进一步研究。

(2) 研究尺度细化。

县级作为基本行政单元，以此研究尺度展开分析更能反映出地域演变特征，但限于数据可获得性，目前仅获取部分数据，有待下一步研究。同时，因行政体制改革，1997 年之前未将重庆市纳入研究对象，可依据方法修正补充数据，更精准反映出变化态势。

(3) 统筹耕地多属性。

耕地除生产供给功能外，还富有调节、文化、支持等服务功能，但本文忽略了耕地生态因素对耕地压力的影响，可将其作为修正因子纳入模型中探究耕地数量—质量—生态综合压力。

参考文献:

- [1]王鑫. 基于 GIS 湖北省县域耕地资源的时空变化研究[D]. 华中师范大学, 2012.
- [2]陈百明, 周小萍. 中国近期耕地资源与粮食综合生产能力的变化态势[J]. 资源科学, 2004(5):38-45.
- [3]董元华, 杨林章. 长江三角洲耕地资源态势与保护对策[J]. 长江流域资源与环境, 1998(2):53-59.
- [4]高延雷, 张正岩, 王志刚. 基于熵权 TOPSIS 方法的粮食安全评价: 从粮食主产区切入[J]. 农林经济管理学报, 2019, 18(2):135-142.
- [5]张元红, 刘长全, 国鲁来. 中国粮食安全状况评价与战略思考[J]. 中国农村观察, 2015(1):2-14+29+93.
- [6]刘晓梅. 关于我国粮食安全评价指标体系的探讨[J]. 财贸经济, 2004(9):56-61, 96.
- [7]刘丹, 巩前文, 杨文杰. 改革开放 40 年来中国耕地保护政策演变及优化路径[J]. 中国农村经济, 2018(12):37-51.
- [8]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.
- [9]谭术魁, 张红霞. 基于数量视角的耕地保护政策绩效评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(4):153-158.
- [10]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.
- [11]朱红波, 张安录. 中国耕地压力指数时空规律分析[J]. 资源科学, 2007(2):104-108.
- [12]李玉平, 蔡运龙. 浙江省耕地变化与粮食安全的分析及预测[J]. 长江流域资源与环境, 2007(4):466-470.
- [13]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(2):127-134.
- [14]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.
- [15]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.
- [16]朱红波, 孙慧宁. 我国耕地压力指数时空变化测度研究[J]. 价格理论与实践, 2015(8):41-43.
- [17]杨肖杰, 秦明周, 张鹏岩, 等. 河南省耕地压力与经济发展耦合特征的时空分析[J]. 地域研究与开发, 2020, 39(3):144-149.
- [18]聂艳, 罗毅, 于婧, 等. 基于空间自相关的湖北省耕地压力时空演变特征[J]. 地域研究与开发, 2013, 32(1):112-116, 151.
- [19]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(6):648-

- [20]王丰龙, 曾刚. 长江经济带研究综述与展望[J]. 世界地理研究, 2017, 26(2):62-71+81.
- [21]武菲, 张昕川. 长江经济带发展战略定位的历史演进及思考[J]. 人民长江, 2019, 50(S1):6-8.
- [22]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]. 云南财经大学, 2017.
- [23]鲁奇. 中国耕地资源开发、保护与粮食安全保障问题[J]. 资源科学, 1999(6):5-8.
- [24]贺一梅, 杨子生. 基于粮食安全的区域人均粮食需求量分析[J]. 全国商情(经济理论研究), 2008(7):6-8.
- [25]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.
- [26]张兴榆, 黄贤金, 赵雲泰, 等. 近 10 年江苏省土地利用重心与经济重心迁移轨迹对比分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(1):14-20.
- [27]王洋, 方创琳, 盛长元. 扬州市住宅价格的空间分异与模式演变[J]. 地理学报, 2013, 68(8):1082-1096.
- [28]李凯. 灰色预测模型及其应用[D]. 长江大学, 2012.
- [29]陈薇, 张跃. 安徽省耕地压力分析及趋势预测[J]. 干旱区地理, 2010, 33(5):831-836.
- [30]赵素霞, 牛海鹏. 基于灰色马尔科夫模型的河南省耕地压力状况研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(8):46-51.
- [31]杨华龙, 刘金霞, 郑斌. 灰色预测 GM(1, 1) 模型的改进及应用[J]. 数学的实践与认识, 2011, 41(23):39-46.
- [32]何亮, 李伟峰, 田淑芳, 等. 长江经济带快速城镇化对耕地保护的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(21):7782-7789.
- [33]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(2):121-127.