

曾雨晴,潘洪义,周介铭. 基于灰色马尔科夫模型的四川省耕地面积及耕地压力指数的分析与预测[J]. 江苏农业科学,2016,44(9):447-451.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.125

# 基于灰色马尔科夫模型的四川省耕地面积及耕地压力指数的分析与预测

曾雨晴, 潘洪义, 周介铭

(四川师范大学西南土地资源评价与监测教育部重点实验室/四川师范大学地理与资源科学学院, 四川成都 610066)

**摘要:**基于四川省 36 年的耕地数据,采用改进的灰色马尔科夫预测模型对总耕地面积和耕地压力指数进行分析与预测。结果表明:(1)研究期内,四川省耕地总面积及人均面积均呈现下降趋势,但是由于粮食单产和复种指数的提高,最小人均耕地面积呈波浪式递减趋势;(2)耕地压力指数总体呈上升趋势,说明实际人均耕地面积的减速低于最小人均耕地面积的减速;(3)灰色马尔科夫模型预测比单一灰色预测模型的预测精度提高了 1.14%,可见其对中长期具有波动性的数据预测拟合度更高;(4)随着二胎政策出台,将面临更大的人口压力,未来 10 年四川省耕地面积仍有下降趋势,耕地压力指数呈波动上升趋势。

**关键词:**最少人均耕地面积;耕地压力指数;灰色马尔科夫模型;GM(1,1)模型;四川省;耕地保护;粮食安全

**中图分类号:** S11+9;F323.211

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2016)09-0447-05

耕地是宝贵的自然资源,是人类赖以生存的物质条件,也是调控国民经济的重要手段,在保障国家粮食安全和经济社会持续健康发展方面发挥着重要作用<sup>[1-3]</sup>。有研究表明,每年净减少的耕地数量为 10 万  $\text{hm}^2$ ,这将对国家粮食安全和耕地保护产生巨大影响<sup>[4]</sup>。四川省作为人口大省和粮食主产区,粮食安全和耕地保护一直是各级政府和国家土地管理部门重点关注的问题<sup>[5]</sup>。随着城镇化、工业化的不断推进,四川省的人均耕地面积不断减少,对耕作产生一定影响,为此部分学者通过人均耕地面积研究耕地压力状况,但是该方法很难科学全面地反映耕地压力。李玉平等提出的耕地压力指数模型能更好地揭示“耕地-人口-粮食”系统之间的关系<sup>[6-10]</sup>。目前,耕地压力指数的研究已经在国家、省域范围内越来越多地被用以揭示耕地资源状况<sup>[11-16]</sup>,而在研究四川省耕地压力方面引用此方法甚少。在耕地面积、耕地压力指数预测方面,一般采用回归模型分析法、时间序列预测法、指数平滑法、灰色预测法等<sup>[15-19]</sup>,其中灰色预测 GM(1,1)模型居多,但是 GM(1,1)模型对数据的随机性、波动性拟合性低,仅能对未来总体趋势进行预测,误差较大。而马尔科夫预测具有对波动性较大数据进行预测的优点,因此结合二者优势的灰色马尔科夫模型的预测效果更好,大大降低了单一灰色预测模型的误差。本研究基于四川省 1978—2013 年的耕地相关数据,运用灰色马尔科夫模型对全省耕地面积及耕地压力指数进行分析与预测,以期对四川省制定耕地保护和粮食

安全政策提供决策参考。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

四川省位于我国西南腹地,地理坐标  $97^{\circ}21' \sim 108^{\circ}31'E$ 、 $26^{\circ}03' \sim 34^{\circ}19'N$ ,辖 21 个市(州),幅员面积 48.5 万  $\text{km}^2$ ,耕地面积 401.07 万  $\text{hm}^2$ ,川西为高原,川西南为山地,其余为四川盆地。四川省地域辽阔,土壤类型丰富,平原、丘陵主要为水稻土、冲积土、紫色土等,由于复杂的地形、不同季风环流的交替影响,气候复杂多样,以亚热带季风气候为主,夏季高温多雨,冬季温暖湿润,这些都为四川省经济的发展,特别是为农业生产发展提供了便利<sup>[20-22]</sup>。

### 1.2 数据来源与处理

本研究数据主要来源于《四川省统计年鉴》《中国统计年鉴》,收集 1978—2013 年四川省人口、耕地面积、农作物播种面积、粮食播种面积和粮食单产等数据。

### 1.3 研究方法

本研究主要采用最小人均耕地面积、耕地压力指数模型<sup>[6-8,18,23]</sup>对四川省 1978—2013 年耕地面积和耕地压力指数变化情况进行分析,并运用 DPS 软件中 GM(1,1)模型<sup>[24]</sup>对未来 10 年耕地面积、耕地压力指数进行预测,最后再用马尔可夫链<sup>[25]</sup>对其预测值进行最终修正。

**1.3.1 最小人均耕地面积** 最小人均耕地面积是指在一定的区域范围内、一定的食物自给水平和耕地综合生产力的条件下,为满足每个人正常生活的食物消费所需的耕地面积<sup>[6-8,18,23]</sup>,相关公式:

$$S_{\min} = \frac{\beta \cdot G_r}{p \cdot q \cdot k} \quad (1)$$

式中:  $S_{\min}$  为最小人均耕地面积,  $\text{hm}^2/\text{人}$ ;  $\beta$  为粮食自给率, %;  $G_r$  为人均粮食需求量,  $\text{kg}/\text{人}$ ;  $p$  为粮食单产,  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ;  $q$  为粮食播种面积占总播种面积比例, %;  $k$  为复种指数。

收稿日期:2016-04-13

基金项目:国家自然科学基金(编号:41371120);四川省教育厅项目(编号:13ZB0153、16ZB0061)。

作者简介:曾雨晴(1990—),女,四川绵竹人,硕士研究生,主要从事土地利用与评价研究。E-mail:1170209811@qq.com。

通信作者:潘洪义,博士,副教授,主要从事土地利用与评价研究。E-mail:panhongyi80@163.com。

1.3.2 耕地压力指数 耕地压力指数即最小人均耕地面积与实际人均耕地面积之比<sup>[6-8,18,23]</sup>,相关公式:

$$K = \frac{S_{\min}}{S_a} \quad (2)$$

式中:  $K$  为耕地压力指数;  $S_a$  为实际人均耕地面积,  $\text{hm}^2/\text{人}$ 。

耕地压力指数反映一个区域在一段时间内耕地资源的稀缺程度,可以作为耕地保护和粮食安全调控的参考指标。当  $K < 1$  时,表示研究区域内耕地无明显压力;当  $K = 1$  时,表示耕地压力处于平衡状态,须加大耕地保护以保证正常粮食需求;当  $K > 1$  时,表示耕地压力明显,粮食生产能力已经无法满足人们正常生活所需,可能导致食物危机或者需要依靠粮食进口以满足正常生活需要<sup>[12]</sup>。同时,如果  $K$  值与 1 偏离程度越大,说明耕地压力越大,粮食安全问题越严重。

1.3.3 灰色马尔科夫预测模型 灰色马尔科夫模型是结合灰色预测模型、马尔科夫预测的 1 个综合模型。灰色系统和方法是邓聚龙教授于 20 世纪 80 年代前提出的,GM(1,1)模型是 1 个单序列一阶线性动态模型<sup>[24]</sup>。马尔科夫预测是 1 种预测事件发生概率的方法,是基于马尔科夫链,根据事件目前状况预测其将来各个时刻变动状况的 1 种预测方法,预测过程如下<sup>[25]</sup>。

(1) GM(1,1)模型建立。首先将原始数据进行 1 次累加得到新的有序数列用于建模,这大大弱化了原始数据的随机性和无规律性,并提供了建模的中间信息。再将得到的预测数据进行逆生成,得到可用的预测数据,相关公式:

$$\hat{x}^0(k) = \left( x^{(0)} - \frac{u}{a} \right) e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (3)$$

式中:  $\hat{x}^0(k)$  为灰色预测值;  $a, \mu$  为待辨识常数;  $k$  为时间序列;  $x^{(0)}$  为原始数据列。

(2) 划分状态区间。根据灰色预测值与原始数据之间误差的划分区间 $[\otimes_{1i}, \otimes_{2i}]$ ,其中 $\otimes_{1i}$ 表示状态区间的下限, $\otimes_{2i}$ 表示状态区间的上限,且状态区间上含下不含。

(3) 确定状态转移概率矩阵。状态概率矩阵:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}(k)}{n_i} \quad (4)$$

由状态  $E_i$  经过  $k$  步转移到状态  $E_j$  的次数为  $n_{ij}(k)$ ,  $E_i$  出

现的次数为  $n_i$ ,从而得到以下状态转移概率矩阵:

$$P_k = \begin{bmatrix} P_{11k} & P_{12k} & \cdots & P_{1mk} \\ P_{21k} & P_{22k} & \cdots & P_{2mk} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{m1k} & P_{m2k} & \cdots & P_{mmk} \end{bmatrix}.$$

(4) 计算灰色马尔科夫预测值。确定状态转移概率矩阵后,可以根据上 1 年所处状态来预测下 1 年所处状态,再由预测的状态区间 $[\otimes_{1i}, \otimes_{2i}]$ 来修正灰色预测值,从而得到灰色马尔科夫预测值  $Y$ :

$$Y = \frac{\hat{x}^0(k)}{1 \pm \left| \frac{1}{2} (\otimes_{1i} + \otimes_{2i}) \right|}.$$

以上公式中,当灰色预测值属于高估状态范围时,分母中正负号取正;当灰色预测值属于基本准确时,则不予以修正;当灰色预测值属于低估范围时,分母中正负号取负。

## 2 结果与分析

### 2.1 四川省耕地压力指数动态变化

2.1.1 耕地动态变化 由图 1 可见,自改革开放以来,随着经济的发展,四川省耕地面积总体呈现下降趋势,1978 年全省耕地面积 490.91 万  $\text{hm}^2$ ,截至 2013 年共减少耕地 91.53 万  $\text{hm}^2$ ,平均每年约减少 2.62 万  $\text{hm}^2$ 。全省耕地变化主要分 3 个阶段:1978—1998 年为缓慢减少阶段,共减少 41.42 万  $\text{hm}^2$ ,年均减少 2.07 万  $\text{hm}^2$ ,低于研究期内平均值;1999—2003 年为快速减少阶段,且在 2003 年降至最低值 390.37 万  $\text{hm}^2$ ,共减少 55.10 万  $\text{hm}^2$ ,年均减少 13.78 万  $\text{hm}^2$ ,是研究期内年均减少量的 5 倍多;2004—2013 年全省耕地面积总体呈缓慢上升趋势并趋于平稳。究其原因,可能是随着经济的发展,耕地被占用为建设用地,这是耕地缓慢减少的主要原因;而快速减少阶段的主要原因是 1999 年全国开始实施退耕还林还草政策,而四川省地处长江上游,是全国退耕还林工程的重要试点;从 2004 年开始,因为各地区加大了对土地整治工作的力度和农业结构的调整,严格落实“占补平衡”政策,所以耕地面积略有上升并趋于平稳。

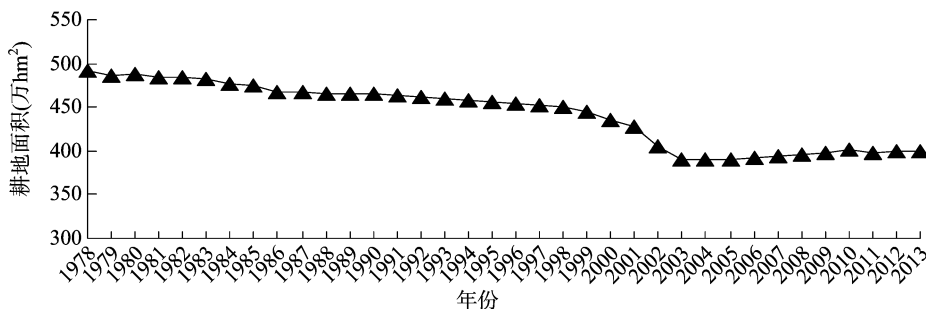


图1 四川省1978—2013年耕地面积变化曲线

2.1.2 人口与人均耕地面积的变化 由图 2 可见,从 1978—2013 年四川省人口呈逐年增长趋势,2013 年已达 9 132.60 万人,共增加 2 060.70 万人,年均增长 58.88 万人。由于人口的快速增长以及总耕地面积的减少,导致人均耕地面积呈逐年下降的趋势,从 1978 年 0.069  $\text{hm}^2/\text{人}$  减少到 2013 年的 0.044  $\text{hm}^2/\text{人}$ ,已低于联合国粮农组织规定的人均耕地

面积警戒线 0.053  $\text{hm}^2/\text{人}$ 。

2.1.3 最小人均耕地面积与耕地压力指数的变化 根据相关资料研究结果<sup>[13-14,26]</sup>及四川省现实经济发展情况,将研究期内人均粮食需求量定为 330 ~ 430  $\text{kg}/(\text{人} \cdot \text{年})$ 。为使其与最终结果之间更具可比性、现实性,统一将粮食自给率低于平均值的修正为 1,根据式(1)、式(2)计算得出最小人均耕

地面积和耕地压力指数变化情况,详见图 3。可以看出,1978—2013 年最小人均耕地面积总体呈波浪式递减趋势,最小人均耕地面积从 1978 年的 0.076 hm<sup>2</sup> 降至 2013 年的 0.051 hm<sup>2</sup>,已低于中国耕地资源安全底线 0.056 hm<sup>2</sup>/人<sup>[27]</sup>。

究其原因,主要是随着农业科学技术水平的提高和耕作制度的日益完善,使得粮食单产、复种指数大大提高。其中粮食单产、复种指数分别从 1978 年的 2 935 kg/hm<sup>2</sup>、1.805 增至 2013 年 5 235 kg/hm<sup>2</sup>、2.424。

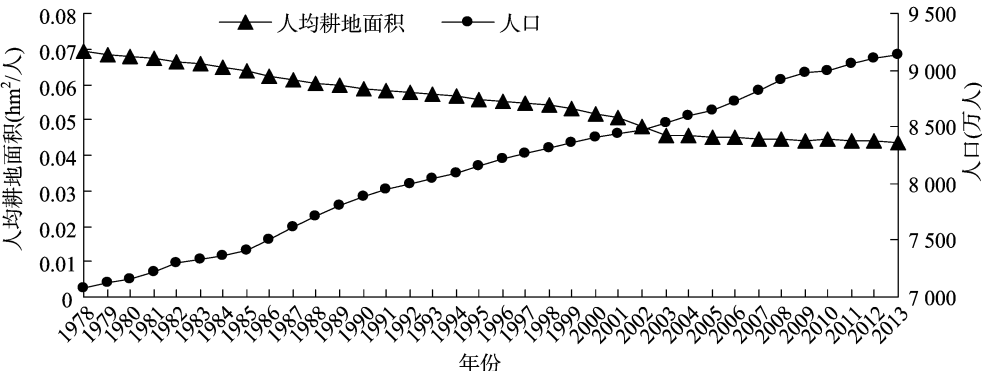


图2 四川省1978—2013 年人均耕地面积和人口变化曲线

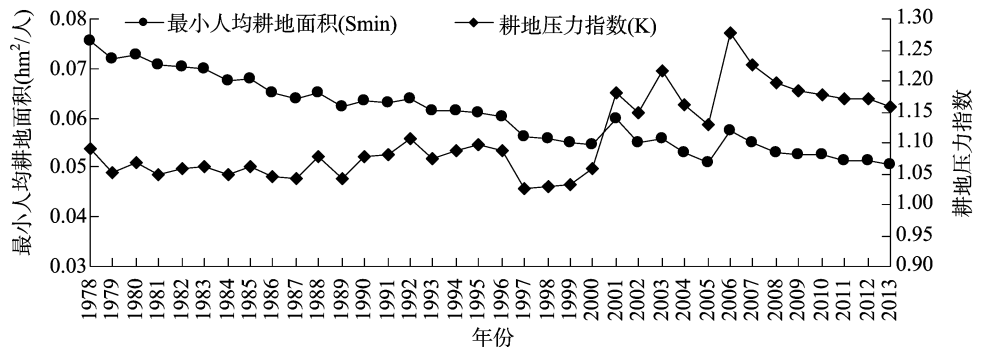


图3 四川省1978—2013 年最小人均耕地面积和耕地压力指数变化情况

由图 3 还可以看出,研究期内耕地压力指数总体呈波浪式递增趋势,可以分为 3 个阶段:1978—1996 年耕地压力指数波动较小,基本稳定在 1.069,并略有上下浮动;1997—2006 年耕地压力指数总体呈剧烈波动上升趋势,并在 2006 年达到整个研究期内的峰值 1.276,这段时间耕地压力指数大幅增长主要受城市化进程速度加快、建设占用大量耕地以及人们日益增长的粮食需求的影响,而在 2006 年压力尤为突出主要是因为 2006 年四川省发生历史性旱灾,单产年降低 461 kg/hm<sup>2</sup>;2007—2013 年耕地压力指数呈逐年下降趋势,这与严格执行耕地保护政策、坚决做到“占补平衡”是紧密相关的,但是耕地压力指数仍大于 1,说明四川省耕地压力虽有下降趋势,但是随着人民生活水平不断提高,人均粮食需求量不断增加,同时二胎政策出台会使人口有明显增加,耕地压力指数可能出现明显的拐点,呈现急速上升的态势。综上所述,虽然科技在不断进步,但是粮食单产和复种指数的提高也是有限的,更应注重对有限耕地资源质量、数量的保护。

2.2 基于灰色马尔科夫模型的耕地面积与耕地压力指数预测

2.2.1 耕地面积预测

2.2.1.1 GM(1,1)模型建立 根据灰色理论,利用 DPS 软件中的 GM(1,1)模型对四川省 1978—2013 年耕地相关数据进行建模并通过检验(后验比  $C = 0.33$ ,小误差概率  $P = 0.94$ ),得出以下耕地面积预测模型:

$$X_{t+1} = -41\,964.322\,6e^{-0.000\,655t} + 41\,991.506\,3。$$

式中: $X_{t+1}$ 为预测耕地面积累加值,万 hm<sup>2</sup>;  $t + 1$  为预测年份数,年。

2.2.1.2 马尔科夫链修正 GM(1,1)模型预测值 (1)划分状态区间。根据马尔科夫预测方法<sup>[25]</sup>,得到实际耕地面积与灰色预测耕地面积的相对误差值(%),以此划分出 6 个状态区间(表 1)。

(2)计算状态转移概率矩阵并对预测值进行修正。通过计算得到状态转移概率矩阵:

表 1 四川省耕地面积状态划分

编号	名称	区间	时间	年份数(年)
F <sub>1</sub>	极度高估	(-7%, -5%)	2003—2005 年	3
F <sub>2</sub>	高估	(-5%, -3%)	2002 年、2006 年	2
F <sub>3</sub>	轻度高估	(-3%, -1%)	1979—1981 年、1986 年、2007—2008 年	6
F <sub>4</sub>	较准确	(-1%, 1%)	1978 年、1982—1985 年、1987—1989 年、2009 年	9
F <sub>5</sub>	轻度低估	(1%, 3%)	1990—1995 年、2000—2001 年、2010—2013 年	12
F <sub>6</sub>	低估	(3%, 5%)	1996—1999 年	4

$$P = \begin{bmatrix} 0.667 & 0.333 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.500 & 0 & 0.500 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.500 & 0.500 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.222 & 0.556 & 0.222 & \\ 0 & 0.091 & 0 & 0 & 0.818 & 0.091 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.250 & 0.750 \end{bmatrix}。$$

利用状态转移矩阵对 GM(1,1) 模型预测值进行修正,得到未来 10 年耕地面积,详见表 2。

(3)实际值、灰色预测值及马尔科夫修正值的对比。根据状态转移概率矩阵,对四川省 1978—2013 年 GM(1,1) 模型预测值进行修正。从表 3 可以看出,灰色马尔科夫模型预测比单一灰色预测模型预测精度提高了 1.14%,可见灰色马尔科夫预测模型的预测精度更高。

表 3 四川省 1978—2013 年 GM(1,1) 模型中灰色预测值、灰色马尔科夫预测值与实际值的误差绝对值的对比

年份	$Q_1$ (%)	$Q_2$ (%)	年份	$Q_1$ (%)	$Q_2$ (%)	年份	$Q_1$ (%)	$Q_2$ (%)	年份	$Q_1$ (%)	$Q_2$ (%)
1978	0	0	1987	0.57	1.4	1996	3.26	1.29	2005	5.30	0.66
1979	2.34	2.34	1988	0.01	0.01	1997	3.48	0.54	2006	4.25	1.65
1980	1.49	0.5	1989	0.59	0.59	1998	3.65	0.36	2007	2.71	3.10
1981	1.17	0.82	1990	1.16	1.16	1999	3.50	0.53	2008	1.61	0.38
1982	0.62	1.35	1991	1.57	0.44	2000	1.81	2.28	2009	0.44	1.53
1983	0.16	0.16	1992	1.86	0.15	2001	1.13	0.89	2010	1.16	1.16
1984	0.89	0.89	1993	2.19	0.20	2002	3.57	5.69	2011	1.21	0.81
1985	0.51	0.51	1994	2.61	0.62	2003	6.93	0.88	2012	2.13	0.14
1986	1.06	1.06	1995	2.92	0.93	2004	6.12	0.12	2013	2.91	0.93

注:  $Q_1$ 、 $Q_2$  分别表示灰色预测值、灰色马尔科夫预测值与实际值的相对误差绝对值,%。

从图 4 可以看出,GM(1,1) 预测值是 1 条平滑的曲线,只能对原始数据的总体变化趋势进行预测,无法预测原始数据在实际中的偶然性、波动性的特点。而利用马尔科夫方法对

表 2 四川省 2014—2023 年的耕地面积

年份	面积 (万 $\text{hm}^2$ )
2014	392.77
2015	389.89
2016	387.02
2017	384.18
2018	381.36
2019	378.55
2020	375.77
2021	373.01
2022	370.27
2023	367.54

灰色预测值进行修正后得到的预测值与实际值的曲线拟合度较高,大大提高了预测的精准度。

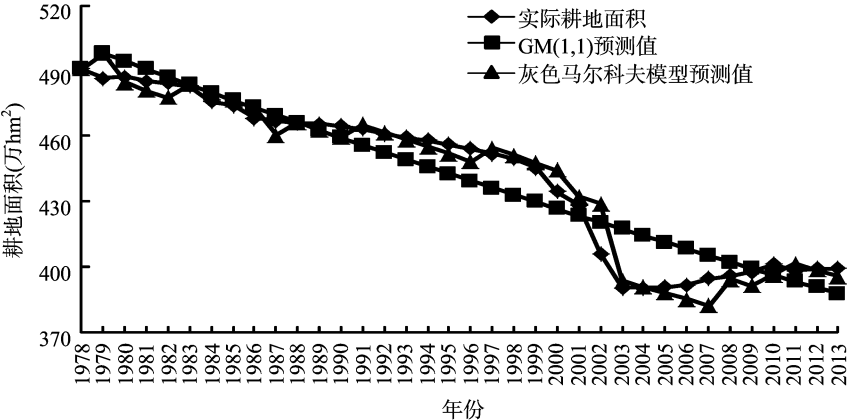


图 4 四川省 1978—2013 年耕地面积实际值、灰色预测值、灰色马尔科夫模型预测值曲线

2.2.2 耕地压力指数预测 同理,根据灰色马尔科夫模型对 1978—2013 年耕地压力指数( $K$  值)进行拟合分析,并对未来 10 年的  $K$  值进行预测。由图 5 可知,1978—2013 年实际  $K$  值和灰色预测  $K$  值曲线拟合度较高;未来 10 年,随着人们生活水平的不断提高,人均粮食需求量不断增加,同时二胎政策出台会使人口有明显增加,耕地压力指数会出现明显的拐点,可能呈现急速上升的态势,四川省的粮食生产能力将无法满足不同生活所需,须大量进口粮食,粮食安全问题将更加严重。由此警示严格执行耕地保护政策的重要性,同时注重保

护耕地综合生产能力以保障粮食数量、质量安全,在坚持“占补平衡”的同时合理发展经济,杜绝“用而未批、批而未用”的非法占地现象。

3 结论

通过对四川省 1978—2013 年的耕地面积变化情况和耕地压力指数的分析与预测,得出以下结论:(1)自改革开放以来,随着经济的快速发展、人口的不断增多,四川省耕地总面积、人均面积呈下降趋势,其中1999—2003年年均减少量约

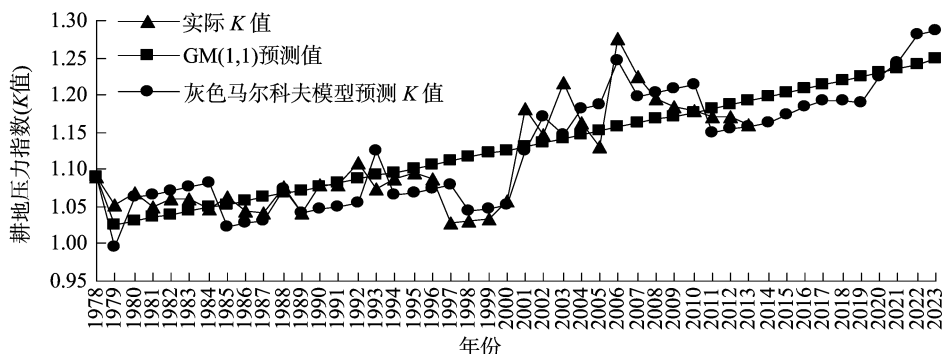


图5 四川省1978—2023年耕地压力指数变化曲线

是研究期内年均减少量的5倍,主要是因为1999年实施退耕还林政策。2013年人均耕地面积已减少到 $0.044 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,低于联合国粮农组织规定的人均耕地面积警戒线 $0.053 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。(2)1978—2013年最小人均耕地面积总体呈递减趋势,主要是由于粮食单产、复种指数提高。全省耕地压力指数总体呈波浪式上升趋势,说明实际人均耕地面积减少速度大于最小人均耕地面积减速,只有保护有限的耕地资源才是保证粮食安全的有利保障。(3)灰色马尔科夫模型预测比单一GM(1,1)预测精度提高了1.14%,可见灰色马尔科夫预测法对中长期具有波动性数据的预测更加准确,将为以后的耕地保护及土地管理提供一定的理论依据。(4)从预测值看出,未来10年四川省耕地面积仍将减少,耕地压力指数将持续上升,粮食安全问题日益严重。仅依靠提高粮食单产和复种指数来保证粮食需求是不可持续的,特别是随着二胎政策出台,可能面临更大的人口压力,更应注重对有限耕地资源的质量和数量的保护,保证粮食安全。

#### 参考文献:

- [1] 任桂镇,赵先贵,巢世军,等. 基于耕地生态压力指数的中国耕地压力时空差异分析[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(10):37-41.
- [2] 彭文甫,周介铭. 近50年四川省耕地变化分析[J]. 资源科学,2005,27(3):79-85.
- [3] 宋永永,米文宝,仲俊涛,等. 宁夏耕地集约利用的时空格局演化[J]. 经济地理,2015,35(9):172-181.
- [4] 赵永华,刘晓静,奥勇. 陕西省耕地资源变化及耕地压力指数分析与预测[J]. 农业工程学报,2013,29(11):217-223.
- [5] 高雪松,邓良基,凌静,等. 基于系统平衡的四川省耕地面积预测研究[J]. 四川农业大学学报,2007,25(4):436-440,446.
- [6] 李玉平,蔡运龙. 区域耕地-人口-粮食系统动态分析与耕地压力预测——以河北省邢台市为例[J]. 北京大学学报:自然科学版,2007,43(2):230-234.
- [7] 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,2002,57(2):127-134.
- [8] 李玉平,蔡运龙. 河北省耕地压力动态分析与预测[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(4):1-5.
- [9] 蔡运龙,汪涌,李玉平. 中国耕地供需变化规律研究[J]. 中国土地科学,2009,23(3):11-18.

- [10] 赵永敢,李玉义,逢焕成,等. 四川省粮食单产时空变化及其动因分析[J]. 中国农学通报,2010,26(23):370-374.
- [11] 汤进华. 湖北省耕地变化与粮食生产的特征分析[J]. 水土保持通报,2010,30(2):79-82.
- [12] 胡守庚,刘越岩,吴新群,等. 鄂西北山区耕地压力动态变化特征及成因分析[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(7):765-769.
- [13] 贾科利,马欣,张俊华. 宁夏耕地压力与社会经济发展耦合时空特征分析[J]. 干旱区地理,2014,37(4):812-819.
- [14] 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,2007,29(2):104-108.
- [15] 李晓青,谢炳庚,戴爱德,等. 湖南省耕地压力现状分析及趋势预测[J]. 经济地理,2013,23(4):513-515.
- [16] 杨丽霞. 基于耕地压力指数的杭州市粮食安全评价[J]. 农业现代化研究,2014,35(1):93-96.
- [17] 党国锋,尚雯,洪媛. 甘肃省耕地数量变化特征及其对粮食安全的影响[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(2):44-49.
- [18] 李玉平. 河南省粮食生产与耕地变化的分析及预测[J]. 地域研究与开发,2007,26(3):95-98.
- [19] 杨忍,任志远,徐茜. 宁夏粮食生产与耕地压力变化的分析与预测[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(12):47-50.
- [20] 四川省商务厅. 四川概况[EB/OL]. (2014-04-10)[2016-04-01]. <http://www.sccom.gov.cn/xxfb/page/scgk/index.htm>.
- [21] 林正雨,何鹏,李晓,等. 基于GIS的区域农业经济空间特征研究——以四川省为例[J]. 江苏农业科学,2014,42(8):433-436.
- [22] 伍恒雨,刘勇,刘秀华. 四川省广安市广安区低丘缓坡资源建设用地的适宜性评价[J]. 江苏农业科学,2015,43(3):293-298.
- [23] 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.
- [24] 唐启义,冯明光. DPS数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2007:1261-1281.
- [25] 徐建华. 计量地理学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:107-113.
- [26] 唐华俊,李哲敏. 基于中国居民平衡膳食模式的人均粮食需求量研究[J]. 中国农业科学,2012,45(11):2315-2327.
- [27] 陈百明,周小萍. 中国粮食自给率与耕地资源安全底线的探讨[J]. 经济地理,2005,25(2):145-148.