

Doi: 10.20062/j.cnki.CN37-1453/N.2023.03.003

烟台市近30年耕地时空演变及粮食安全研究

张西强, 王秋贤, 刘慧玲, 郑子衿

(鲁东大学 资源与环境工程学院, 山东 烟台 264039)

摘要: 本文以烟台市耕地为研究对象, 以其1990、2005和2020年30 m空间分辨率的土地利用数据库为基础, 利用ArcGIS 10.6和土地利用转移矩阵分析了烟台市1990—2020年间耕地的时空演变规律, 运用灰色预测模型GM(1,1)与时间序列模型的ARIMA模型对烟台市2030年的人口、粮食播种面积和粮食产量进行了预测, 从而分析了烟台市未来的粮食安全。结果显示: 1) 烟台市耕地面积不断减少, 30年间耕地减少了94.73 km², 其中2005—2020年减少速度最快, 空间上海阳市和牟平区减少最为迅速; 2) 经济发展、比较经济利益、消费观念和人口老龄化影响是引起粮食播种面积减少的主要因素; 3) 烟台市播种面积持续减少, 2030年将面临区域粮食安全危机。最后提出了烟台市粮食安全保障对策, 为烟台市未来的耕地保护和合理调整提供了参考和依据。

关键词: 耕地; 时空演变; 粮食安全; 烟台市

中图分类号: F301.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2023)03-0209-08

“国以民为本, 民以食为天”。粮食的供给是保证生命活动正常进行的重要因素之一, 是人类生存与发展所必需的物质基础。粮食安全与国家的命脉紧密相连, 是地区乃至国家稳定的关键要素, 国际时局不稳定时期能够实现粮食的自给自足一直是政府和人民最关心的话题, 而耕地的数量与质量直接影响到粮食安全^[1]。1974年, 世界粮食会议认为粮食安全是在任何时间都能够满足每个人获得最基本的粮食供应来保障生命活动的正常进行^[2]。1996年的世界粮食安全首脑会议上将粮食安全定义为所有人可以在任何时间都能够获得营养且充足的粮食来满足其健康的生活^[2]。2007年有机农业和粮食安全国际会议将粮食安全定义为包括充足的粮食供应、获得、其稳定性及利用^[3]。Yu等^[4]认为人口和经济发展会提高土地退化的潜在风险, 从而影响粮食产量, 评估土地退化风险有助于防止和逆转土地退化趋势, 进而达到稳定粮食生产的作用。Liu等^[5]认为耕地非农化、农业人口老龄化与弱化、水土资源空间分布不均衡、气候变化的不稳定性、以及人口、土地和粮食系统耦合空间不均衡是影响中国粮食安全的

潜在威胁, 并提出应该采取差异化、有针对性地措施来保障中国的粮食安全。Paz等^[6]认为人类对农产品的消费推动了农业用地的扩大和集约化, 是环境保护的主要威胁之一, 土地退化最终会通过减少生态系统服务来阻碍农业生产, 土地利用规划、管理和土地利用政策设计是非常重要的。李超等^[7]认为要从耕地的数量、质量和生态三方面加大对土地“非粮化”的监督与管理, 约束“非粮化”行为, 严守基本农田保护红线, 确保粮食供给。孔祥斌^[8]认为作物的播种面积直接影响到粮食安全, 一定数量的耕地安全是粮食安全最直接的保障。刘利花等^[9]从粮食安全内涵出发, 提出了集社会、经济和生态价值为一体的耕地资源价值概念, 设计出中央统筹的区域补偿体系、补偿资金稳定增长机制和生态补偿动态监督体系, 切实保护好耕地资源, 确保粮食安全。粮食安全问题一直是国内外研究学者的研究热点, 以往的研究大多从国家宏观层面以及方法理论方面进行研究, 从分析影响耕地数量与质量的因素入手探讨粮食安全问题, 并提出保证粮食安全的相应举措。

灰色预测模型 GM(1,1) 与时间序列模型

收稿日期: 2022-10-05; 修回日期: 2023-02-23

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(17YJCZH174); 山东省自然科学基金面上项目(ZR2017MD015)

通信作者简介: 王秋贤(1977—), 女, 副教授, 硕士研究生导师, 博士, 研究方向为土地利用与碳排放。E-mail: qiuxian1@sina.com

ARIMA 模型是国内外研究学者进行趋势预测的重要研究方法,灰色预测模型 GM(1,1) 通过系统内部一部分已知信息进行关联分析,预测未来某个时间点的特征量,目前广泛应用于人口预测、产量预测、物流等方面^[10-14];时间序列模型 ARIMA 模型可以通过差分处理非平稳时间序列数据,适用于医学领域预测、GDP 预测、人口预测、费用预测等^[15-20]。烟台市是典型的温带低山丘陵区,果业发达,过去一段时间曾有大量耕地非粮化,区域粮食是否存在安全隐患有待深入研究。随着科学技术的进步,RS 与 GIS 技术愈加成熟,现代信息技术已然成为众多学者研究土地利用变化的重要手段。因此本文利用遥感影像解译的烟台市土地利用数据库,结合统计年鉴数据对烟台市耕地变化进行时空分析并利用灰色模型 GM(1,1) 和 ARIMA 模型预测区域粮食安全,以为烟台市的耕地保护和粮食安全提供参考和数据支持。

1 研究区概况

烟台市地处山东半岛中部,北临渤海,东西两侧分别为威海市与潍坊市,西南紧邻山东省经济龙头青岛市,与大连市隔海相望,地理位置优越,水陆交通便捷。市域气候属温带半湿润季风气候,并具有明显的海洋性气候特征,较长的无霜期和良好的水热配合为其发展农业、开发旅游等提供了有利的气候条件。烟台市土地总面积 $1.37 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 现辖芝罘区、莱山区、福山区、牟平区、蓬莱区 5 个市辖区,经济技术开发区、高新技术产业开发区、昆嵛山自然保护区、保税港区、金山港区(正在建设) 5 个功能区,长岛县和龙口市、莱阳市、莱州市、招远市、栖霞市、海阳市 6 个县级市^[21]。为了保证行政区域的一致性,本文 2020 年的烟台市土地利用的行政区还是按照之前行政区划,即蓬莱区包括原蓬莱市和长岛县(如图 1)。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

烟台市人口、社会经济数据来源于 1991—2021 年《烟台市统计年鉴》《山东省统计年鉴》。烟台市的行政区划数据来源于中国科学院资源环

境科学与数据中心^[22],烟台全市土地利用栅格数据来源于武汉大学黄昕教授团队制作的 30 m 年度土地覆盖数据^[23],产品整体精度为 79.31%,土地利用分类解译精度高,符合研究要求。烟台市高程数据来源于地理空间数据云网站提供的 GDEM3 30 m 分辨率数字高程数据。

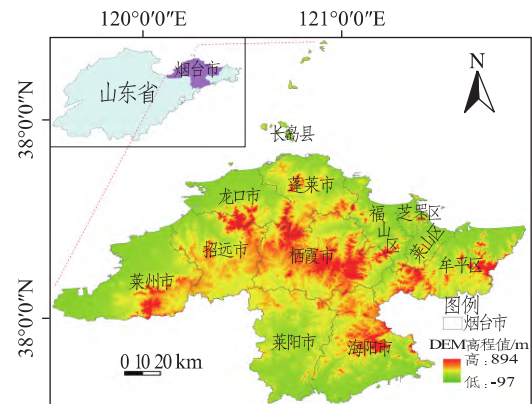


图1 烟台市研究区概况

Fig. 1 Overview of Yantai City

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用变化程度分析

土地利用动态度可定量描述区域土地利用变化的速度,单一土地利用类型动态度描述某研究区一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况^[24],其表达式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 为研究时段内某一土地利用类型动态度; U_a 、 U_b 分别为研究期初及研究期末某一种土地利用类型的数量; T 为研究时段长。

2.2.2 灰色预测模型 GM(1,1)

灰色预算模型是对“既含有部分已知信息,又含有部分未知信息”的系统进行预测的模型,具有不需要大量样本、样本不需要有规律性分布、灰色预测准确度高等特点^[25]。其建模步骤及检验方法如下:

1) 根据原始数列 $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$, 作一次累加生成新数列 $X^{(1)}: X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$, 其中:

$$X^{(1)}(k) = \sum_{n=1}^k X^{(0)}(n) \quad k = (1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

2) 构建数据矩阵 B 和常数项 Y :

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)}{2} & 1 \\ -\frac{x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)}{2} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)}{2} & 1 \end{bmatrix} Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad (3)$$

3) 利用最小二乘法解灰参数

$$\hat{a} = (a \ b), T = (B^T B)^{-1} B^T Y. \quad (4)$$

4) 建立模型 GM(1,1) 模型的白化形式方程为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b. \quad (5)$$

将求得的 a b 带入式 (5) 并求解该方程 得到 GM(1,1) 预测模型:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a}, \quad (k = 1, 2, \dots, n), \quad (6)$$

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k). \quad (7)$$

5) 后验差检验 GM(1,1) 模型

按照精度检验 c (后验差) 和 p (小概率误差) 两个指标进行检验。

记原始数列及残差数列的方差分别是 S_1^2 和 S_2^2 , 即

$$S_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)})^2, \quad (8)$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\varepsilon^{(0)}(k) - \bar{\varepsilon}^{(0)})^2, \quad (9)$$

其中实际序列的均值 $\bar{x}^{(0)}$ 和残差序列的均值 $\bar{\varepsilon}^{(0)}$:

$$\bar{x}^{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k), \quad (10)$$

$$\bar{\varepsilon}^{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon^{(0)}(k). \quad (11)$$

则验差比值 c 与小概率误差 p 为

$$c = \frac{S_1}{S_2}, p = P\{0.6745S_1 > |\varepsilon^{(0)}(k) - \bar{\varepsilon}^{(0)}|\}. \quad (12)$$

模型精度等级划分详见表 1。如果模型满足后验差检验要求, 即认为模型合格。

表 1 灰色预测模型精度等级

Tab. 1 Precision grade of grey prediction model

精度等级	误差概率 p	后验差比值 c
好	$p \geq 0.95$	$c \leq 0.35$
合格	$0.80 \leq p < 0.95$	$0.35 < c \leq 0.50$
勉强合格	$0.70 \leq p < 0.80$	$0.50 < c \leq 0.65$
不合格	$p < 0.70$	$c > 0.65$

2.2.3 ARIMA 模型

ARIMA 模型全称为差分回归移动平均模型, 是一种时间序列预测模型^[20]。ARIMA 模型的建模步骤: 1) 平稳化识别, 对时间序列的平稳化进行判断, 如果不平稳, 那么需要进行差分处理, 直至序列平稳; 2) 参数选择, 根据处理后的自相关和偏相关图进行参数估计, 选择 p 、 d 、 q 值; 3) 模型检验, 通过 R 方、平稳 R 方、杨-博克斯显著性检验不显著、BIC 值进行模型评估; 4) 模型拟合与预测。

2.2.4 粮食自给率

粮食自给率是衡量一个国家或地区粮食自给程度的重要指标, 可以反映一个国家或地区粮食安全水平, 通常而言粮食自给率为粮食产量与粮食需求量的比值。一般认为, 一个国家或地区的粮食自给率在 100% 以上, 就是完全自给; 在 95% ~ 100% 范围内, 属于基本自给; 在 90% ~ 95% 范围内, 是可以接受的粮食安全水平; 一旦小于 90% 粮食供求的风险就会增大。

3 研究结果

3.1 烟台市耕地变化分析

3.1.1 烟台市耕地时空演变分析

烟台市 1990、2005 和 2020 年的土地利用现状分别如图 2、3、4 所示。

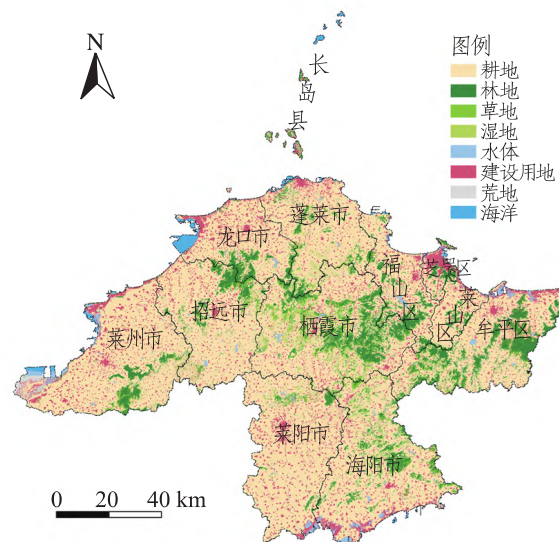


图 2 1990 年烟台市土地利用现状

Fig. 2 Land use status of Yantai City in 1990

表 3 2005—2020 年烟台市土地利用转移矩阵
Tab. 3 Land use transfer matrix of Yantai City from 2005 to 2020

类型	耕地	林地	草地	水体	建设用地	荒地	海洋
耕地	875.24	38.53	8.95	1.79	51.93	0.06	0.00
林地	10.11	117.91	0.31	0.00	0.72	0.00	0.00
草地	12.75	5.41	9.40	0.03	0.96	0.24	0.00
湿地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
水体	5.87	0.03	0.01	15.58	5.72	0.18	0.00
建设用地	0.61	0.00	0.00	2.59	196.96	0.02	0.00
荒地	0.18	0.00	0.02	3.24	0.93	1.08	0.00
海洋	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.75

表 4 1990—2020 年烟台市土地利用转移矩阵
Tab. 4 Land use transfer matrix of Yantai City from 1990 to 2020

类型	耕地	林地	草地	水体	建设用地	荒地	海洋
耕地	856.40	28.46	6.12	4.83	103.52	0.16	0.00
林地	14.73	113.44	0.93	0.01	1.43	0.01	0.00
草地	30.24	19.94	11.63	0.46	4.12	0.32	0.00
湿地	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
水体	1.74	0.03	0.00	11.12	5.84	0.24	0.00
建设用地	1.40	0.01	0.00	4.19	141.08	0.03	0.00
荒地	0.25	0.00	0.01	2.63	1.22	0.82	0.00
海洋	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.75

图 5 是 1990—2020 年土地利用转移弦图, 对应着 30 年间烟台市总的土地利用转移矩阵(表 4), 从中可以看出: 林地与建设用地是耕地流出的主要方向, 有 28.46 km² 的耕地转化成了林地, 103.52 km² 的耕地转化成了建设用地, 另外有 6.12 km² 转化成了草地, 有 4.83 km² 转化成了水体; 林地和草地是转入耕地的主要类型, 分别有 14.73 km² 的林地和 30.24 km² 的草地转化为了耕地。耕地整体数量减少了 94.73 km²。

3.2 烟台市未来人口及粮食需求量预测

3.2.1 人口预测

通过查阅 2000—2021 年烟台市统计年鉴, 运用灰色系统预测 GM(1, 1) 模型和时间序列 ARIMA 模型对烟台市 2030 年的人口进行预测。通过 GM(1, 1) 模型预算到 2030 年烟台市户籍人口达 659.572 3 万人。通过计算 $c=0.4275$, $p=0.9545$, 与预测等级精度表进行比较, 证明该模型预测精度较高。通过 ARIMA(3 0 2) 模型对烟台市 2030 年户籍人口进行预测, 到 2030 年烟台市的户籍人口为 658.86 万人; 对该模型进行检

验(表 5), R 方与平稳 R 方均为 0.927, 正态化 BIC 值为 1.062, 杨-博克斯 $Q(18)$ 的显著性为 0.617(大于 0.05), 故接受原假设, 该序列的残差符合随机分布, 没有出现离群值, 该模型能较好地模拟数据。

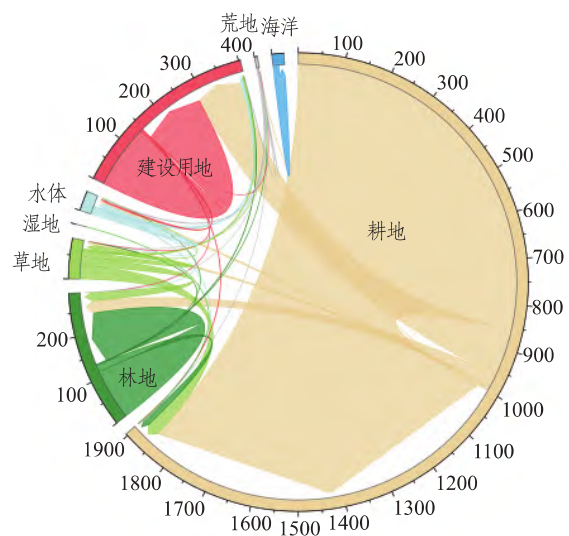


图 5 1990—2020 年土地利用转移弦图
Fig. 5 Chords of land use transfer from 1990 to 2020

表5 ARIMA(3 0 2) 模型统计表
Tab. 5 ARIMA(3 0 2) model statistics table

模型	预测变量数	模型拟合度统计			杨-博克斯 $Q(18)$			离群值数
		平稳 R 方	R 方	正态化 BIC	统计	DF	显著性	
模型	1	0.927	0.927	1.062	10.926	13	0.617	0

2030年烟台市的人口预测值取GM(1,1)与ARIMA(3 0 2)的平均值659.2162万人作为本研究的人口数据。

3.2.2 粮食需求量预测

国际上以人均粮食的占有水平作为核心指标来衡量粮食是否安全,通过经济发展和人民生活水平提高的4个不同阶段将粮食安全划分为4个不同标准:生存标准、温饱标准、小康标准和富裕标准,分别为250、350、400和450 kg。本文从温饱标准对粮食需求量进行预测,通过烟台市与对应标准的乘积得到温饱标准的粮食需求量,到2030年粮食需求总量温饱标准为 23.07×10^8 kg。

3.3 烟台市粮食播种面积及产量预测

3.3.1 粮食播种面积预测

通过查阅《2021年烟台市统计年鉴》得到1978—2020年粮食播种面积数据,并对粮食播种面积进行GM(1,1)灰色模型预测。

经计算, $c=0.29663$, $p=0.9767$,对照灰色

预测模型精度表,精度等级为好,说明GM(1,1)模型模拟效果非常好。通过灰色预算模型GM(1,1)对烟台市2030年播种面积进行预算,到2030年烟台市得播种面积为 271.41 km^2 。

3.3.2 粮食单产预测

通过查阅《2021年烟台市统计年鉴》摘录其中汇总后的1978—2020年粮食播种面积与总产量数据,通过使用IBM SPSS Statistics 26中时间序列分析ARIMA(3 0 1)模型预测2030年粮食单产(粮食总产量与播种面积的比值即为单产),预计到2030年烟台市的粮食单产为 $7170.91 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。ARIMA(3 0 1)预测模型(表6)中平稳 R 方与 R 方均为0.797,杨-博克斯 $Q(18)$ 的显著性为0.096(大于0.05)接受原假设,该序列的残差符合随机分布,没有出现离群值,该模型能较好地模拟数据。另外,近年来烟台市不断加强建设高标准农田和农田水利工程,政府也在不断增加农业科技投入,农田单产呈不断上升的趋势,预测结果可信。

表6 ARIMA(3 0 1) 模型统计表
Tab. 6 ARIMA(3 0 1) model statistics table

模型	预测变量数	模型拟合度统计			杨-博克斯 $Q(18)$			离群值数
		平稳 R 方	R 方	正态化 BIC	统计	DF	显著性	
模型	1	0.797	0.797	12.913	21.225	14	0.096	0

3.4 粮食安全分析

3.4.1 粮食安全状况分析

结合上述预测,2030年烟台市的播种面积为 271.41 km^2 ,粮食单产量为 $7170.91 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,到2030年烟台市本地粮食供给量为 $19.46 \times 10^8 \text{ kg}$,比预测的粮食需求量少 $3.61 \times 10^8 \text{ kg}$,粮食自给率为84.35%,本地生产的粮食已经不能满足户籍人口的需求。

结合全面放开二胎政策以及2021年5月国家放开三胎政策,烟台市人口不断增长,对粮食需求量也是与日俱增,虽然耕地面积由于政府管控和耕地保护管理制度的严格实施,总体上变化不大,但是很多农民因为粮食经济效益低转而种果树,粮食播种面积依旧在逐年缓慢减少。上述2030年的预

测粮食供给量已不能满足粮食的需求量,如果不采取相应措施阻止这种趋势,烟台市的粮食产量将会继续减少,未来烟台市很难实现粮食自给自足;如果没有跨区域粮食交易,或者遇到大旱大涝的灾害年,很容易产生区域粮食危机,影响人民的生活质量,因此保护粮食安全刻不容缓。

3.4.2 烟台市未来粮食安全对策

1) 保证耕地数量,坚决杜绝耕地非农化、非粮化。耕地数量、播种面积和种植结构是影响粮食产量的主要因素,因此需要保证有充足的耕地资源,加大科学技术在农业发展中的投入,实行积极稳定的农业政策^[26]。实施最严格的耕地保护制度,严禁农业用地转化为非农业用地、城市扩张侵占耕地以及不合理地使用、污染和毁坏耕地,严守烟台市 386.418 km^2 永久基本农田保护面积,

保证耕地资源总量不减,这关乎着烟台市耕地资源的长远安全。

2) 增加粮食播种面积。烟台市的棕壤土土壤肥力较高,气候上冬季无严寒,降水充沛,全年无霜期与日照时间长,为较高的复种指数奠定了基础,不断发展的科技水平和不断完善的农业机械自动化增加了集约经营的可能性,减少耕地撂荒,尽可能增加粮食播种面积是烟台市粮食安全的保障。

3) 提高粮食单产。烟台市作为登海种业的发源地,应充分发挥利用其技术要素,培育优质、高产的农作物种子,增加单位面积产量;进一步升级农业装备,减少在收割时的损耗;推动农业朝着大数据、智能化方向发展,是未来提高农业单产的一条重要路径。另外,积极建设高标准农田,加大农田基本设施、农田水利灌溉设施的建设,改建高效节水农田,增加农民抵御自然灾害的能力,从而提高区域粮食单产。

4) 规模经营。近些年一些农民因为进城打工将土地撂荒,造成了土地资源的浪费,影响了粮食的产量。国家为了改善这一局面,出台了一系列土地流转政策促进土地流转,促进了规模化、机械化经营。通过规模化、机械化经营,促进了农业结构的调整,将先进的机械设备、管理经验以及良种应用到规模经营上,农民不仅可以节省生产资料的开支,还能实现粮食的增产增收,通过规模经营获得规模效益。

5) 节约粮食,杜绝浪费。习近平总书记高度重视粮食安全,提倡“厉行节约,反对浪费”的社会风尚。当前烟台部分地区粮食浪费现象严重,在学校食堂、职工餐厅、小酒馆、大酒店、烧烤地点浪费现象尤为突出,并且在粮食的收集、存储、运输、加工环节存在很大的粮食损耗,因此减少粮食浪费刻不容缓。公民应当身体力行,公民是粮食消费的主体,在日常生活中节约每一粒粮食,从身边的小事做起。此外,还需要加强科技创新,推广节粮技术,减少粮食在存储、运输、加工等环节的损耗^[27]。

4 结语

烟台市1990—2020年耕地面积总体上不断减少,原因主要是由于城镇化过程的扩张和受比较经济效益影响农业结构发生调整;耕地“非农化”与“非粮化”比较突出,粮食播种面积大量减少,与烟台市不断增长的粮食需求之间出现供需

矛盾。尽管国家在2020年底印发了《关于防止耕地“非粮化”稳定粮食生产的意见》文件,但地方仍需加强监督与监管,坚决落实“制止耕地‘非农化’、防止耕地‘非粮化’政策”,坚决保证耕地数量,严守基本农田保护红线。此外,可通过增加播种面积、提高单产、规模经营等途径增收增产;通过提升公民节约粮食意识、减少粮食存储、运输、加工等环节中的损耗来减少粮食浪费。

粮食安全研究内容包括很多方面,本文仅从区域土地利用角度出发探讨了其数量安全研究。在计算保证粮食安全耕地时,采用的灰色预测模型GM(1,1)预测2020—2030年人口数量、粮食播种面积与粮食单产。后验差检验 c 与小概率误差 p 均通过检验,结合当前相关政策与实际情况,GM(1,1)模型预测精度较高;用时间序列分析法的ARIMA模型预测粮食单产,平稳 R 方与 R 方的值均较高,杨-博克斯显著性水平超过了0.05,并且BIC值很低,所以预测可信度比较高。烟台市的复种指数高于1,说明粮食播种面积应高于耕地面积,但实际情况正好相反,所以下一步还需继续实地考察耕地的其他用途。

参考文献:

- [1] 王国敏,侯守杰.新冠肺炎疫情背景下中国粮食安全:矛盾诊断及破解路径[J].新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2021,42(1):120-133.
- [2] 肖春阳.新中国粮食安全主要指标回顾与展望[J].中国粮食经济,2019,32(10):18-23.
- [3] 联合国粮食及农业组织.有机农业和粮食安全国际会议[EB/OL].[2022-08-10].<https://www.fao.org/organicag/oa-specialfeatures/oa-foodsecurity/zh/>.
- [4] YU Z Y, DENG X Z. Assessment of land degradation in the North China Plain driven by food security goals[J]. Ecological Engineering, 2022, 183: 106766.
- [5] LIU Y S, ZHOU Y. Reflections on China's food security and land use policy under rapid urbanization[J]. Land Use Policy, 2021, 109: 105699.
- [6] PAZ D B, HENDERSON K, LOREAU M. Agricultural land use and the sustainability of social-ecological systems[J]. Ecological Modelling, 2020, 437: 109312.
- [7] 李超,王巍,李伟成.“非粮化”利用对耕地质量的影响[J].中国土地,2021,40(3):17-19.
- [8] 孔祥斌.粮食安全:不能忽视耕地的作用:对茅于軾先生的“18亿亩红线与粮食安全无关”的回应[J].中国土地,2011,30(6):57-60.
- [9] 刘利花,刘向华,杨洁.粮食安全视角下的耕地生态补

- 偿标准研究[J]. 学习与实践 2020 37(8):38-47.
- [10] 崔红艳,刘颖锋,郑柯. 基于灰色 GM(1,1) 模型的白城市人口预测分析[J]. 白城师范学院学报, 2021 35(5):66-71.
- [11] 罗万春. 基于 GM(1,1) 的重庆市人口结构及老龄化分析[J]. 黑龙江科学 2021 12(24):38-41.
- [12] 王艳. 运用改进的 GM(1,1) 模型预测我国猪饲料产量[J]. 养猪 2021 36(5):15-18.
- [13] 徐妍. 基于 GM(1,1) 模型的陕西省农产品物流需求预测分析[J]. 辽宁农业科学 2021 62(5):41-43.
- [14] 赵磊,薛东剑,方坤. 优化的 GM(1,1) 模型在水泥用石灰岩产量预测中的应用研究[J]. 中国非金属矿工业导刊 2021 42(6):67-70.
- [15] 黄诗敏. 基于 ARIMA 模型的股价分析与预测:以招商银行为例[J]. 中小企业管理与科技 2022 31(11):184-187.
- [16] 蒋奇,刘永文. 基于 ARIMA 模型的美元汇率预测[J]. 经济研究导刊 2022 18(20):69-71.
- [17] 乐博昕,刘效峰,王娜,等. 基于 ARIMA 的新冠肺炎疫情前后结核病流行趋势预测与分析[J]. 实用预防医学 2022 29(11):1299-1302.
- [18] 夏如玉,王梓桥. 基于 ARIMA 模型对重庆市 GDP 预测分析[J]. 中国储运 2022 33(8):93-94.
- [19] 张雨晴,李逸波,肖阔. 基于 ARIMA 模型的我国生鲜乳价格预测研究[J]. 中国奶牛 2022 40(7):30-34.
- [20] 张梓. 基于 ARIMA 模型的贵州省 GDP 分析与预测[J]. 国土与自然资源研究 2022 44(5):39-41.
- [21] 百度百科. 烟台[EB/OL]. [2022-08-15]. <https://baike.baidu.com/item/%E7%83%9F%E5%8F%B0/207299?fr=aladdin>.
- [22] 中科院资源环境科学与数据中心. 中国行政区划数据[DB/OL]. <https://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx?DOIid=123>.
- [23] YANG J, HUANG X. The 30 m annual land cover datasets and its dynamics in China from 1990 to 2021 [DB/OL]. (2022-08-09) [2022-08-15] https://zenodo.org/record/5816591#_Y04ZnfzitPa.
- [24] 陈伊多,杨庆媛. 西藏自治区土地利用/覆被变化时空演变特征及驱动因素[J]. 水土保持学报 2022, 36(5):173-180.
- [25] 杜露,王沛田,曹晨晔. 山西省人口老龄化预测:基于灰色 GM(1,1) 模型[J]. 经济研究导刊 2022 18(18):41-43.
- [26] 佟光霁,周伦政. 双循环背景下我国粮食安全:现状、挑战及保障路径[J]. 学术交流 2021 38(1):97-108.
- [27] 李立军. 新时期我国粮食安全保障的发展思路与政策建议[J]. 食品安全导刊 2021 16(6):10-11.

Temporal and Spatial Evolution of Cultivated Land and Food Security in Yantai City in the Past 30 Years

ZHANG Xiqiang, WANG Qiuxian, LIU Huiling, ZHENG Zijin

(School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264039, China)

Abstract: The cultivated land in Yantai City is the research object in this paper. Its spatial and temporal changes from 1990 to 2020 were analyzed with ArcGIS 10.6 and land use transfer matrix based on its 30 m spatial resolution land use database in 1990, 2005 and 2020. Then the grey prediction model GM(1,1) and the ARIMA model of time series model were used to predict the population, grain planting area and grain yield of Yantai City in 2030, so as to analyze its future food security. The results are as follows. 1) The area of cultivated land in Yantai City had been decreasing and the cultivated land had decreased by 94 732.06 hm² in the past 30 years. The rate of decrease was the fastest from 2005 to 2020, among which Haiyang City and Muping District have the fastest decrease. 2) Economic development, comparative economic benefits, consumption concept and the impact of population aging were the main factors causing the reduction of grain acreage. 3) As the sown area continues to decrease, Yantai City will face a regional food security crisis in 2030. Finally, the countermeasures to ensure food security in Yantai City were proposed, which may provide a reference and basis for the future protection and reasonable adjustment of cultivated land in Yantai City.

Keywords: cultivated land; spatial and temporal evolution; food security; Yantai City

(责任编辑 李秀芳)