

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20180911

· 技术方法 ·

基于 GM (1, 1) 模型的中国小杂粮 种植面积预测分析*

张小允, 李哲敏^{*}

(中国农业科学院农业信息研究所, 农业部农业信息服务技术重点实验室, 北京 100081)

摘要 [目的] 小杂粮在调整我国居民粮食消费结构以及改善膳食营养中始终占据着重要地位。科学预测全国小杂粮的种植面积, 可为国家调整种植业结构、优化绿色优质产品供给、稳定小杂粮市场定价、提高农民收入提供依据。[方法] 文章基于近20年全国小杂粮种植面积数据, 建立灰色 GM (1, 1) 预测模型, 预测了未来10年中国小杂粮的种植面积。[结果] 该预测模型预测精度较高, 为1级, 可用于我国小杂粮种植面积的中长期预测; 预测结果显示, 未来10年我国小杂粮的种植面积处于下降的态势。[结论] 我国小杂粮播种面积逐年减少对我国绿色优质农产品供给和种植业结构调整可能会产生不利的影响。从长期看, 为了扭转我国小杂粮种植面积下降的局面, 要从政策导向、产业扶持(基础设施、补贴、信贷优惠)、科技支撑(良种引入、种植技术)、仓储以及市场等方面发力, 从而保障我国小杂粮产业持续健康的发展。

关键词 小杂粮 种植面积 GM (1, 1) 模型 预测 种植业结构调整

中图分类号: F326.11; F322 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9121[2018]09081-06

0 引言

小杂粮是除了玉米、水稻、小麦、大豆、薯类等大宗粮食作物以外的小宗粮豆作物的俗称^[1]。小杂粮营养价值相对较高, 口味比较独特, 具有一定的保健功能。近年来, 我国居民生活消费水平不断提高, 对于农产品的消费需求也上升到了高质量、健康、绿色的水平^[2]。小杂粮满足了居民对于饮食多样化、营养健康的需求。此外, 小杂粮还是种植业结构调整的特色作物。2016年“中央一号”文件、2016年5月农业部种植业管理司发布的《全国种植业结构调整规划(2016—2020年)》、2017年“中央一号”文件、农业部发布的2018年种植业工作要点都明确提出了增加杂粮杂豆、食用大豆、薯类等绿色优质产品的供给, 倡导要把小品种做成大产业, 带动农民增收。由此可见, 小杂粮在我国经济发展中的战略地位非同一般。预测未来年度的全国小杂粮种植面积, 对国家调整种植业结构、优化绿色优质产品供给、稳定小杂粮市场定价、提高农民收入具有重要的理论、实践和战略意义^[3]。

对原始数据的拟合精度和样本数据外的预测效果是评定一个预测技术好坏最重要的标准^[4]。当前, 用于面积预测的模型方法很多, 大致分为3类: 第1类是基于数理统计的预测方法, 如指数平滑法、趋势移动平均法、ARMA时间序列模型模型(Auto-Regressive and Moving Average Model自回归滑动平均模型)等, 这些方法多用于研究线性模型, 拟合精度高但预测效果较低^[5]; 第2类是基于计算机技术的人工智能

收稿日期: 2017-04-26

作者简介: 张小允(1990—), 男, 安徽宿州人, 硕士研究生。研究方向: 农业信息分析与预警。Email: wuqianxyz@163.com

*通讯作者: 李哲敏(1970—), 女, 福建安溪人, 研究员、博士生导师、中国农业科学院研究生院副院长。研究方向: 农业信息分析与预警、农业经济、发展经济、食品安全研究。Email: lizhemin@caas.cn

*资助项目: 农业农村部(原农业部)专项“农业监测预警与信息化”; 农业农村部(原农业部)2017年创新人才项目“主要农产品市场监测预警关键技术研究”; 中国农业科学院科技创新工程项目“农业生产管理数字化技术创新团队”(CAAS-ASTIP-2018-AH-02)

预测方法,如支持向量机、BP神经网络等,这些人工智能预测技术需要大量的序列数据和较长的练习时间^[6];第3类则是上述2类方法组合的预测技术,其拟合精度和预测效果也取决于数据序列的连续程度和数据量的大小。上述的3类方法在无法获取较长时间数据序列时,拟合效果和预测准确度都无法达到满意的效果。

GM(1,1)模型是以解决“小样本、贫信息、不确定”系统的分析、预测、决策与控制问题的单序列模型,不包括行为变量以外的其他因素的作用^[7]。GM(1,1)模型是灰色预测理论的核心模型,也是最常用的灰色预测模型,目前已经被广泛应用于工业、农业、水文、能源和经济等领域,成功解决了大量的实际问题。韩文芹(2016)使用了GM(1,1)模型成功地预测了泗水县森林资源的面积,刘辉(2015)使用了GM(1,1)模型预测了江西农业受灾面积,验证了该模型的有效性。宋家清(2015)黄锦祥(2014)运用该模型对农作物的播种面积进行了预测,结果表明GM(1,1)模型在面积和产量预测中具有较强的科学性和适用性,可以为生产者和政府提供决策依据。小杂粮的种植面积是一个受政策、市场、自然条件等多种不确定因素影响的复杂事件,属于灰色预测理论的范畴^[8]。文章采用GM(1,1)模型对我国小杂粮的播种面积进行预测,并对我国小杂粮产业的发展提供相关建议。

1 灰色预测 GM(1,1) 模型

灰色预测 GM(1,1) 模型的适应对象是信息不完全的“少量样本”,通过对部分已知信息的生成、开发,挖掘埋藏在已知数据里的关键信息,完成对研究目标的正确认识。

1.1 建模条件

GM(1,1) 适应于小样本的信息不完备系统的复杂问题^[9];随机的原始时间序列数据具有单调和非负性,且为光滑离散数据列^[10]。设序列 $X = (x(1), x(2) \cdots, x(n))$, 称 $\sigma(k) = \frac{x(k)}{x(k-1)}$; $k = 2, 3, \cdots, n$ 为序列 X 的级比^[11]。原始时间序列数据级比 $\sigma(k) \in (e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}})$, 方可作满意的 GM(1,1) 建模。

1.2 模型的基本原理

1.2.1 处理原始序列

设 $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2) \cdots, x^{(0)}(n))$ 为非负准光滑序列,对原始序列 $x^{(0)}$ 作 1-AGO (1-order accumulated generating operation 一阶累加生成算子), 得序列

$$x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2) \cdots, x^{(1)}(n)) \quad (1)$$

式(1)中, $x^{(1)}(k) = \sum_{i=0}^k x^{(0)}(i)$, $k = 1, 2, \cdots, n$

1.2.2 处理新生成数列 $x^{(1)}$

对序列 $x^{(1)}$ 作紧邻均值生成 (neighbor generation), 得序列:

$$z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3) \cdots, z^{(1)}(n)) \quad (2)$$

式(2)中, $z^{(1)}(k) = 0.5(x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1))$, $k = 2, 3, \cdots, n$

1.2.3 建立灰色微分方程并求解

称 $x^{(0)}(k) + a z^{(1)}(k) = b$ 为 GM(1,1) 模型的灰色微分方程。经典的灰色建模过程采用最小二乘法估计 GM(1,1) 模型的参数向量:

$$\hat{a} = (a, b)^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (3)$$

$$\text{式(3)中, } Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$

对应于GM(1,1)模型的灰色微分方程,有GM(1,1)模型的白化微分方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (4)$$

求解白化微分方程,得GM(1,1)模型时间响应函数:

$$\hat{x}^{(1)}(t) = \frac{b}{a} + (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}) e^{-a(t-1)} \quad (5)$$

将(5)式中离散化,得GM(1,1)模型时间响应序列:

$$\hat{x}^{(1)}(k) = \frac{b}{a} + (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}) e^{-a(k-1)}; (k=2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

最后,对 $\hat{x}^{(1)}(k)$ 作一阶累减还原,得最终模拟预测值:

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1); (k=2, 3, \dots, n) \quad (7)$$

参数 $-a$ 为发展系数,体现了系统行为变量与其背景值之间的动态关系,其范围为 $(-2, 2)^{[12]}$,且当 $-a \leq 0.3$ 时GM(1,1)可用于中长期预测^[11]; b 为灰色作用量,既是灰色系统内涵外延化的具体体现,也是区分灰色建模与黑箱中的输入输出建模的重要标志^[10]。

1.3 模型精度检验

1.3.1 残差检验

$$\text{残差 } \varepsilon(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \quad (8)$$

$$\text{相对误差 } \Delta(k) = \frac{|\varepsilon(k)|}{x^{(0)}(k)} \quad (9)$$

$$\text{平均相对误差 } \bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta(k), (k=1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

1.3.2 后验比检验

(1) 原序列的平均值、均方差为:

$$\overline{x^{(0)}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k), k=1, 2, \dots, n; \quad (11)$$

$$S_0^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x^{(0)}(k) - \overline{x^{(0)}})^2, k=1, 2, \dots, n \quad (12)$$

(2) 残差的平均值、均方差为:

$$\overline{\varepsilon(k)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(k), k=1, 2, \dots, n; \quad (13)$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (\varepsilon(k) - \overline{\varepsilon(k)})^2, k=1, 2, \dots, n \quad (14)$$

(3) 后验比C:

$$C = \sqrt{\frac{S_1^2}{S_0^2}} \quad (15)$$

1.3.3 计算小误差概率

小误差概率计算:

$$P = p \{ |\varepsilon(k) - \overline{\varepsilon(k)}| < 0.6745S_0 \} \quad (16)$$

2 模型应用

2.1 数据来源

该文中的原始数据(表2)来源于《中国农业统计资料(1997—2016年)》和《中国统计年鉴

(1997—2017年)》。小杂粮总播种面积是用谷子、高粱、其他谷物以及豆类播种面积中除去大豆播种面积的剩余部分之和计算得到^[14]。

2.2 建模前级比检验

对表2中的数列作级比判断,原始时间序列数据级比最小值 $\min \sigma = 0.984$; 最大值 $\max \sigma = 1.100$, 包含在 $(e^{-\frac{2}{21}}, e^{\frac{2}{21}})$ 范围内, 故可作满意的 GM(1, 1) 建模。

表1 模型精度检验标准^[13]

精度等级	平均相对误差 $\bar{\Delta}$	后验比 C	小误差概率 P
1级	10% <	≤ 0.35	$0.95 \leq$
2级	10% ~ <20%	0.35 ~ <0.5	0.8 ~ <0.95
3级	20% ~ <50%	0.5 ~ <0.65	0.7 ~ ≤ 0.8
4级	$\geq 50\%$	≥ 0.65	≤ 0.7

注: 且模型的精度级别 = max { $\bar{\Delta}$ 的级别, C 的级别, P 的级别}

表2 1997—2016年中国小杂粮播种面积

年份	播种面积 (万 hm ²)	年份	播种面积 (万 hm ²)	年份	播种面积 (万 hm ²)	年份	播种面积 (万 hm ²)
1997	918	2002	855	2007	669	2012	571
1998	906	2003	782	2008	652	2013	545
1999	880	2004	711	2009	606	2014	548
2000	895	2005	719	2010	598	2015	552
2001	862	2006	676	2011	591	2016	576

数据来源:《中国农业统计资料(1997—2016年)》和《中国统计年鉴(1997—2017年)》

2.3 GM(1, 1) 模型待估参数的计算

时间响应序列:

$$\hat{x}^{(1)}(k) = \frac{b}{a} + (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}) e^{-a(k-1)}; (k=2, 3, \dots, 20) \quad (17)$$

式(17)中待估参数发展系数 $-a$ 以及灰色作用量 b 的计算应用 MATLAB 软件的 INV 函数辅助实现^[15]。参数计算结果为: $a=0.03293$; $b=963.92795$ 。

得出中国小杂粮播种面积模型计算式为:

$$\hat{x}^{(1)}(k) = 29272.03 - 28354.03e^{-0.03293(k-1)}; (k=2, 3, \dots, 20) \quad (18)$$

对 $\hat{x}^{(1)}(k)$ 作一阶累减还原得出 1997—2016 年的中国小杂粮播种面积模拟值(表3)。

2.4 GM(1, 1) 模型精度检验

经检验,中国小杂粮播种面积相对误差 $\Delta(k)$ 在 $-5.50\% \sim 11.85\%$ 之间,平均相对误差 $\bar{\Delta}=3.18\%$,模型拟合精度较高,为1级;原始序列的均方差 $S_0^2=17662.240$,残差序列的均方差 $S_1^2=764.332$, $C=0.208 < 0.35$,模型判断为好,级别1级;小误差概率 $P=1 > 0.95$,精确等级为1级。综上判断,此经典的 GM(1, 1) 模型拟合精度较高(图1),可用作中国小杂粮播种面积系统的中长期预测研究。

2.5 全国小杂粮播种面积预测

经过对模型运行结果的分析和对模型精确等级的鉴定,上述 GM(1, 1) 模型可适用于全国小杂粮播种面积的预测。2017—2026 年全国小杂粮播种面积预测结果见表4。

表3 1997—2016年中国小杂粮播种面积原始值与模拟值
万 hm²

年份	原始值	模拟值	年份	原始值	模拟值
1997	918	918.00	2007	669	682.88
1998	906	918.49	2008	652	660.76
1999	880	888.73	2009	606	639.35
2000	895	859.94	2010	598	618.64
2001	862	832.08	2011	591	598.60
2002	855	805.12	2012	571	579.20
2003	782	779.04	2013	545	560.44
2004	711	753.80	2014	548	542.29
2005	719	729.38	2015	552	524.71
2006	676	705.75	2016	576	507.76

注:原始数据来源于《中国农业统计资料(1997—2016年)》和《中国统计年鉴(1997—2017年)》

3 结论与建议

该文基于中国小杂粮种植面积的统计数据以及小杂粮种植面积预测的复杂性和不确定性,结合灰色模型的优点,建立了中国小杂粮种植面积预测的GM(1,1)模型。经过对模型的精度检验,该GM(1,1)模型能够较为准确地反映中国小杂粮种植面积的变化趋势,预测结果可以为政府制定政策、农民确定种植方案提供参考依据。

从近20年中国小杂粮的实际播种面积和GM(1,1)模型预测的结果可以看出,我国小杂粮的种植面积处于一个逐年减少的态势,这与政府的种植业结构调整政策和人民对于健康、绿色农产品的追求是背道而驰的。究其原因,在粮食安全和资源约束的压力下,我国小杂粮生产发展潜力是有限的,以往的经验表明,小杂粮的价格容易受投机倒把者的控制,价格波动幅度较大,常常会使广大生产者蒙受巨大的损失,从而促使他们更进一步的减少小杂粮的种植面积。为了扭转小杂粮播种面积减少的态势,满足人民对于绿色有机小杂粮的需求,促进小杂粮产业持续健康的发展,提出如下政策建议:

(1) 国家在稳定粮食生产的前提下,继续坚持以绿色发展为导向、以改革创新为动力、以结构调整为重点,加快发展小杂粮等特色作物,增加绿色优质农产品的供给。

(2) 政府应加强对中国小杂粮生产的支持力度。一是加强基础设施建设,保障小杂粮的安全生产,提高小杂粮的生产能力;二是将小杂粮列入补贴范畴,资助农民进行种植业结构调整,提高农民种植积极性。

(3) 进行小杂粮产业发展信贷优惠政策,建立小杂粮农业保险制度,逐步扩大小杂粮生产的规模化程度。同时,大力发展农民专业合作社,为小杂粮种植户提供优质服务,把杂粮种植业做大做强^[16]。

(4) 加大农业科技投入力度,重视小杂粮优良品种的繁育、引进和推广。全面提高小杂粮种植水平和质量水平,响应国家“质量兴农,绿色发展”的主题,赢得市场和效益,搭乘“国家品牌计划”的列车,因地制宜大力扶持发展具有地方特色的小杂粮品牌^[17]。

(5) 重点扶持小杂粮生产加工龙头企业,促进小杂粮的标准化生产与加工,延长小杂粮产业链,提高附加值。依靠科技与文化,从小杂粮的营养价值角度出发,精深开发各具特色的以小杂粮为基础的绿色的健康的加工产品,延伸小杂粮产业链条,提高小杂粮的产品附加值^[18]。

(6) 建立储备调控机制,引导小杂粮市场平稳健康运行。提供小杂粮市场信息服务,鼓励农民建设仓储设施,指导农民科学储存小杂粮。帮助农民正确把握小杂粮市场情况,分析市场价格变化趋势,选择恰当时机销售小杂粮,规避市场风险。对于农户建设仓储设施应当给予一定的资金支持,逐步引导农民对家庭现有仓储条件进行改造,提高储粮能力,减少贮藏过程中的损耗,同时可以使农民有更多的自由来选择合适的小杂粮销售时间^[19]。

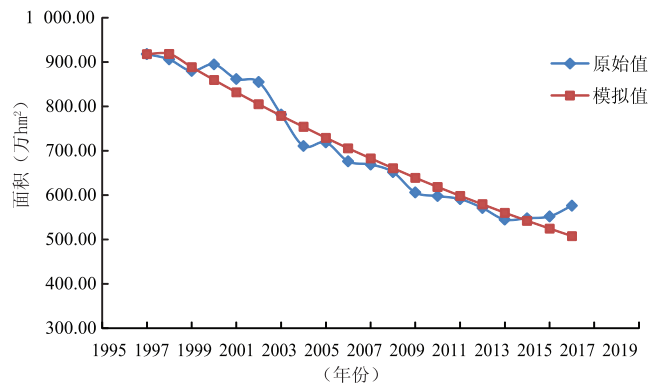


图1 1997—2016年全国小杂粮播种面积实际值与模拟值

表4 2017—2026年全国小杂粮播种面积预测

年份	预测值 (万 hm ²)	年份	预测值 (万 hm ²)
2017	491.27	2022	416.68
2018	475.35	2023	403.18
2019	459.95	2024	390.12
2020	445.05	2025	377.48
2021	430.63	2026	365.25

参考文献

[1] 龚梅, 敖茂宏, 彭杨. 贵州小杂粮产业发展现状及对策. 贵州农业科学, 2016 (7): 156-158.

[2] 李哲敏, 刘磊, 刘宏. 保障我国农产品质量安全面临的挑战及对策研究. 中国科技论坛, 2012 (10): 132-137.

- [3] 农办农 [2018] 1 号. 农业部种植业管理司. 2018 年种植业工作要点. http://www.moa.gov.cn/ztzl/negzhy2017/zxdt/201802/t20180203_6136400.htm.
- [4] 李哲敏, 许世卫, 崔利国. 基于动态混沌神经网络的预测研究——以马铃薯时间序列价格为例. 系统工程理论与实践, 2015 (8): 2083–2091.
- [5] ZHANG G P. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. Neurocomputing, 2003 (50): 159–175.
- [6] Jain A, Kumar A M. Hybrid neural network models for hydrologic time series forecasting. Applied Soft Computing, 2007, 7 (2): 585–592.
- [7] 党耀国, 王正新, 钱吴永. 灰色预测技术方法. 北京: 科学出版社, 2015.
- [8] 宋家清. 基于 GM (1, 1) 模型的东营市冬枣栽植面积预测分析. 现代农业科技, 2015 (13): 343, 345.
- [9] 朱登远, 常晓凤. 灰色预测 GM (1, 1) 模型的 MATLAB 实现. 河南城建学院学报, 2013 (3): 40–46.
- [10] 尹连生, 白玉蛟. GM (1, 1) 模型建模条件及模型改造. 北京, 中国土地学会首届青年学术年会, 1992 (4): 107–115.
- [11] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国, 等. 灰色系统理论及其应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [12] 黄锦祥, 鄢新余, 熊伟. 基于 GM (1, 1) 模型的宁化县油料产量和播种面积预测. 亚热带水土保持, 2014 (2): 12–14.
- [13] 傅鹤林, 彭思甜, 韩汝才, 等. 岩土工程数值分析新方法. 长沙: 中南大学出版社, 2006.
- [14] 刘慧, 矫健, 李宁辉. 我国杂粮价格波动与影响研究. 北京: 经济科学出版社, 2013.
- [15] 周品, 何正凤. MATLAB 数值分析. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [16] 凡兰兴. 发展我国杂粮生产的思考. 山西农业科学, 2012 (10): 1121–1124.
- [17] 牛婷婷. 甘肃省小杂粮产业竞争力研究. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [18] 刘祎鸿, 赵贵宾, 董孔军, 等. 甘肃小杂粮生产演变特征、存在问题及对策建议. 中国农业资源与区划, 2016 (10): 122–126.
- [19] 施政. 供应链视角下白城市小杂粮产业研究. 北京: 中国农业科学院, 2013.

GM (1, 1) MODEL-BASED SOWN AREA PREDICTION OF MINOR GRAINS IN CHINA *

Zhang Xiaoyun, Li Zhemin**

(Key Laboratory of Agri-information Service Technology, Ministry of Agriculture; Agriculture Information Institute,
Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Minor grains have always occupied an important position in adjusting China's food consumption structure and improving dietary nutrition. The scientific prediction of the sown area of minor grains in the whole country can provide an important reference for the country to adjust planting industry structure, optimize the supply of green and high-quality products, stabilize the market pricing of small and coarse grain markets, and improve farmers' income. Based on data of sown area of minor grains in the past 20 years, a grey GM (1, 1) prediction model was established to predict future minor grains area. The results showed that the accuracy of the prediction model was high, achieving to the first level, and that could be used for medium or long-term prediction of small grain crops sown area in China. And in the next 10 years, the predicted results indicated that the sown area of China's minor grains would be in a declining trend. The reduction in the sown area in China may negatively affect the supply of green and high-quality agricultural products and the structural adjustment of crop production in China. From a long-term perspective, in order to reverse the decline in the sown area of China's minor grains and ensure the healthy and sustainable development of China's minor grains industry, supports of policy guidance, industrial development (infrastructure, subsidies, credit incentives), science and technology (improved variety, planting technology), warehousing, and markets are all needed.

Keywords minor grains; sown Area; GM(1, 1) Model; prediction; planting structure adjustment