

吴文福教授主持“智慧粮食基础探索”特约专栏文章之二/“新理念和新方法”分栏文章之二

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.02.002

吴文福, 乌云山丹, 陈凯, 等. 机理/数据联合驱动储备粮数字监管智能方法[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(2): 11-17.

WU W F, WU Y S D, CHEN K, et al. The digital intelligence method for stored grain supervision based on mechanism and data[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(2): 11-17.

机理/数据联合驱动储备粮 数字监管智能方法

吴文福^{1,2}, 乌云山丹¹, 陈凯¹, 崔宏伟¹, 张忠杰³✉,
尹君³, 许启铿⁴, 吴晓明⁵

(1. 吉林大学 生物与农业工程学院, 吉林 长春 130022;

2. 吉林工商学院 粮食学院, 吉林 长春 130507;

3. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮食储运研究所, 北京 100037;

4. 河南工业大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001;

5. 天津市明伦电子技术股份公司, 天津 300392)

摘要: 储备粮监管是关系国家粮食安全的大事。我国已经建成了世界上最大的粮食物联网, 尽管仍然存在数据质量不高、利用率不高、信息孤岛现象严重等问题, 但依然为开展储备粮数字化监管提供了基础。在研究粮堆多场耦合及生物场理论的基础上, 提出了储备粮数字监管的连续性、周期性和协调性原理, 进一步给出了利用粮情大数据分析的7项智能策略和粮仓储粮10模态的智能分析方法, 并结合2018年参与全国政策性储备粮清仓查库10个省的应用案例, 剖析了储备粮数字监管原理以及7项智能策略, 以期为加速相关技术科技成果转化和大面积推广应用, 同时加速建构高质量储备粮监管技术体系, 推进储备粮管理从“人管”向“技管”转变, 让数据在储粮决策和管理中发挥应有的作用。

关键词: 储备粮; 监管; 机理/数据联合驱动; 智能策略; 模态分析

中图分类号: TS205 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)02-0011-7

网络首发时间: 2023-03-09 14:52:45

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20230309.1122.020.html>

The Digital Intelligence Method for Stored Grain Supervision Based on Mechanism and Data

WU Wen-fu^{1,2}, WUYUNSHANDAN¹, CHEN Kai¹, CUI Hong-wei¹, ZHANG Zhong-jie³✉,
YIN Jun³, XU Qi-keng⁴, WU Xiao-ming⁵

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin 130022, China;

2. School of Grain Science and Technology, Jilin Business and Technology College, Changchun, Jilin 130507, China;

3. Grain Storage and Transportation Research Institute, Academy of National Food and Strategic Reserves

收稿日期: 2022-12-28

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0401001; 2017YFD0401003-3)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No. 2016YFD0401001; 2017YFD0401003-3)

作者简介: 吴文福, 男, 1965年出生, 博士, 教授, 研究方向为粮食储运系统分析与信息技术。E-mail: wwflb@126.com.

通讯作者: 张忠杰, 男, 1966年出生, 博士, 研究员, 研究方向为粮食干燥通风与储藏。E-mail: zzj@ags.ac.cn.

Administration, Beijing 100037, China;

4. College of Civil Engineering and Architecture, Henan University of Technology,
Zhengzhou, Henan 450001, China;

5. Tianjin Minglun Electronic Technology Co., Ltd, Tianjin 300392, China)

Abstract: The supervision of grain reserves is a major event of national food security. China has built the largest grain internet of things in the world. Although there are still have some problems such as low data quality, low utilization rate, and serious information islands, it still provides a basis for conducting digital supervision on grain reserves. On the basis of studying the multi-fields coupling and biological theory in stored grain ecosystems, the author team proposed the continuity, periodicity and coordination principles of the digital supervision of grain reserves, and further proposed 7 intelligent strategies using the big data analysis of grain situation and the intelligent analysis method of 10 modes of grain storage in the granary. In combination with the application cases of 10 provinces that participated in the policy oriented inventory check of grain reserves organized in 2018, this paper analyzes the principle of digital supervision of grain reserves and 7 intelligent methods, which will accelerate the transformation and large-scale promotion of relevant technological achievements, and accelerating the construction of a high-quality technical system for grain reserves supervision. This digital intelligence method will promote the transformation of grain reserve management from “human management” to “technology management”, and let data play its due role in grain reserve decision-making and management.

Key words: grain reserve; supervision; mechanism/data joint drive; intelligent strategy; modal analysis

据统计,我国现有中央储备粮、地方储备粮粮库 3 万多个,规模超 6.5 亿 t^[1]。每年在仓储环节因发热、霉变、结露等粮情异变问题造成的直接经济损失达 60 亿元以上^[2]。近年的中美贸易战、新冠疫情全球肆虐等事件的发生无不影响世界粮食安全。储备粮监管是我国粮食安全的大事,面临着以下四个方面的难题。

一是如何解决现行的人工作业管理方式存在的疏漏严重、效率低、成本高、损耗惊人等问题,以实现储备粮管微观管理变革。二是如何解决现有储粮信息系统存在的功能简单、数据浪费严重、不能支撑实时管理等问题,以实现行业信息技术的升级换代。三是如何解决各级政府部门在储备粮清仓查库工作中存在的成本高、参与人员多、耗时长、准确率低等现实问题,以实现储备粮宏观监管的自动化和日常化。四是如何解决储备粮数字化管理和监管技术基础薄弱的问题,以建立储备粮管理中“数量真实,质量良好”的数据和模型基础,实现对粮食发热、霉变、虫害等隐患的预测和预警。

西方发达国家由于体制不同、生产和作业习惯不同,不能提供可借鉴的技术方案。改革开放

后,在国家主导下开始建设现代化粮仓体系,以“四合一”储粮新技术这一集成创新成果,实现了较高水平的设施化和机械化^[3]。2010 年以后国家启动实施的粮安工程等项目,推动了储粮的数字化和智能化,建成了世界上最大的粮食物联网。然而,对于储备粮监管依然依靠人工清仓查库为主,每一次清仓查库都要动员上万人历时半年,而物联网采集的大量数据因信息孤岛不能发挥作用^[4]。针对以上问题,本文提出了储备粮数字监管的连续性、周期性和协调性原理,进一步提出了利用粮情大数据分析的 7 项智能策略和粮仓储粮 10 模态的智能分析方法。结合 2018 年参与全国政策性储备粮清仓查库 10 个省的应用案例,剖析了储备粮数字监管原理以及 7 项智能策略,以期加速相关技术科技成果转化和大规模推广应用、同时加速建构高质量储备粮监管技术体系提供科技支撑。

1 储备粮数字原理及智能方法

1.1 数字监管原理

储粮数字监管是在粮堆多场耦合理论的基础上,通过粮堆内单场在时空上的连续性、在时间

轴上的周期性, 以及多场耦合的协调性规律性的分析, 为储粮的真实性、安全性及储粮作业的合理性、合规性、合法性提供高效快捷的机器辅助判断^[5-6]。

1.1.1 时空连续性原理

时空连续性原理是指在正常的储藏条件下对粮堆测度连续可导, 或言不存在突变。可以用以下微分计算式来表达, 式(1)表示温度对空间一个方向的连续性, 式(2)表示温度对时间的连续性。

$$\lim_{x \rightarrow x_0} T(x) = T(x_0) \quad (1)$$

$$\lim_{t \rightarrow t_0} T(t) = T(t_0) \quad (2)$$

式中: T 为粮堆的一个测点物理参量, 如温度; x/t 为粮堆的一维空间和时间坐标, x_0/t_0 为粮堆的一维空间和时间的具体点。

储备粮数字监管就可以从连续性是否发生过大变化来判断储粮的状态是否异常。图 1 是某粮仓纵截面 150 天内的 8 张简易云图, 在储藏 100 天内云图之间保持高度相似。图 2 (a) 是某正常储藏 (没有扰动) 粮仓云图在 20 天内的相似度变化图, 可以看出正常储藏粮仓云图相似度由 1 下

降至 0.94。图 2 (b) 是粮仓通风作业前后云图相似度的变化图, 可以看出在前 7 天的通风过程中相似度由 1 下降到了 0.75, 结束通风后相似度再由 0.75 恢复到了 0.85。

1.1.2 时间轴上的周期性原理

时间轴上的周期性原理指在正常的储藏条件下对粮堆的在仓储设施内受周期性气候条件的变化, 做相应的周期性波动, 模型如式(3)所示。

$$T = b + A \sin \left(x \times \frac{2\pi}{365} - \omega \right) \quad (3)$$

式中: T 为预测温度, $^{\circ}\text{C}$; b 为平均温度, $^{\circ}\text{C}$; A 为温度变化幅度, $^{\circ}\text{C}$; x 为天数 (一般从 01-01 起计算) ω 为初始相位。

1.1.3 多场耦合的协调性原理

多场耦合的协调性原理指在正常储藏条件下对粮堆的不同测度之间保持协调或保持一定偏离的平衡关系。

$$F(T, H, M, \dots) = C_3 \quad (4)$$

式中, T 、 H 、 M 为粮食物理场的不同测度, 具体为温度、绝对湿度、水分、水势等, 如图 3 所示。

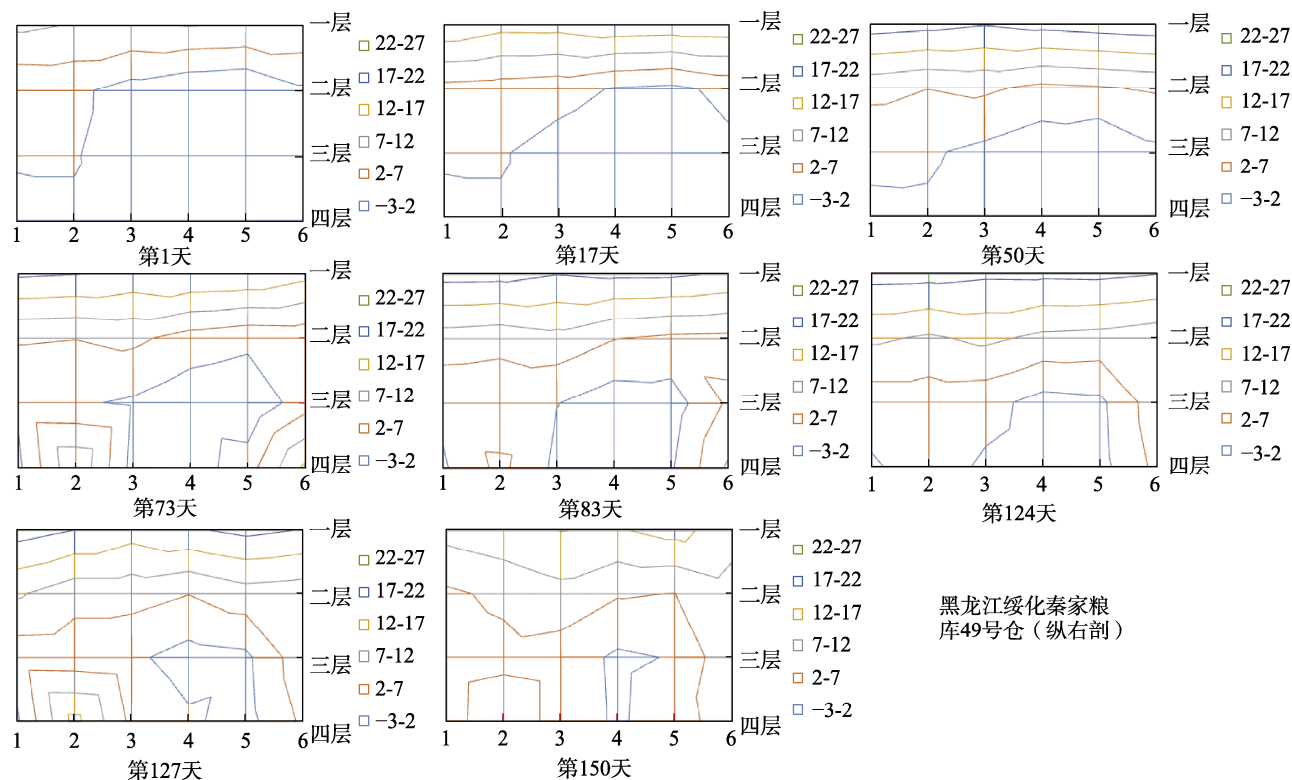


图 1 某粮仓纵截面 150 天粮情简易云图的变化

Fig.1 The change of 150 day simple cloud map of grain situation in the longitudinal section of a granary

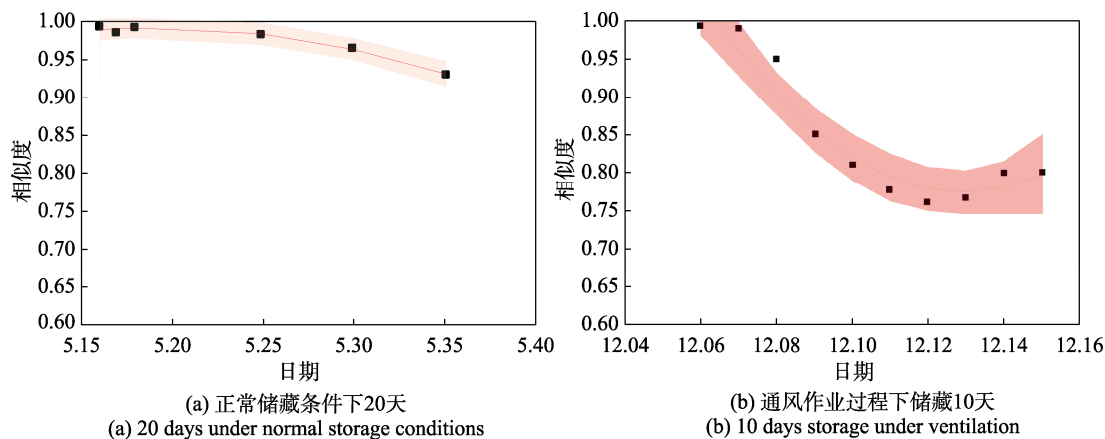


图 2 粮仓粮情云图相似度的变化
Fig.2 Changes in the similarity of grain cloud map in grain barn

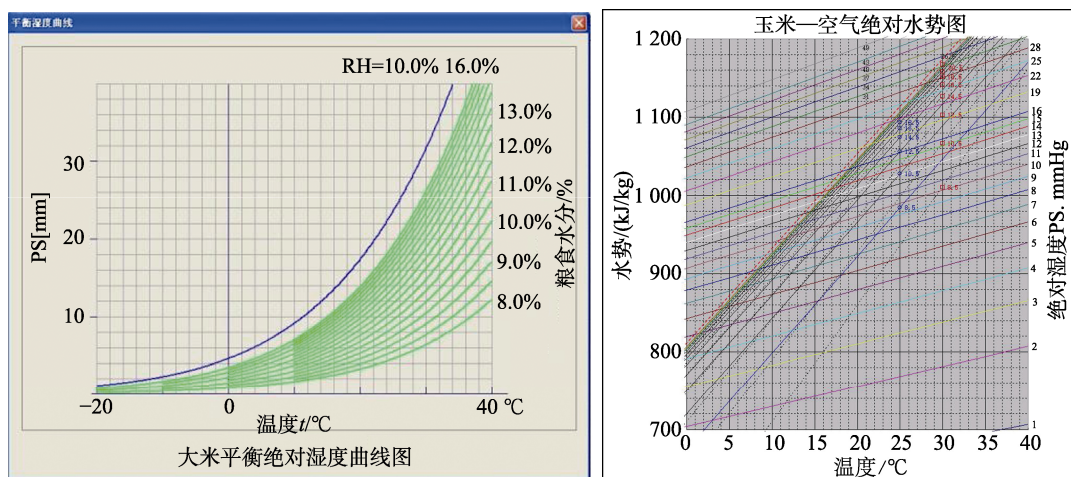


图 3 粮食温度、绝对湿度、水分、水势关系图
Fig.3 Relationship among grain temperature, absolute humidity, moisture, water potential

1.2 数字监管的特点

1) 容断: 是指储备粮的信息印记可以被中断记录, 但物理印记不会被轻易消除, 例如储备粮的粮温在时间维度保持趋势的连贯性, 如果发生大跳跃是由于异常导致。

2) 容缺: 是指储备粮的信息印记由于硬件故障而导致缺失, 可以进行异常、趋势、相关等判定, 并通过数值方法补全。

3) 容错: 是指储备粮的信息印记由于硬件或通讯故障而导致信息不准确采集, 可以通过连续性数值方法进行修正。

1.3 技术路线

储备粮数字监管主要通过 6 大步骤完成对储备粮模态的分析, 如图 4 所示。一是数字感知,

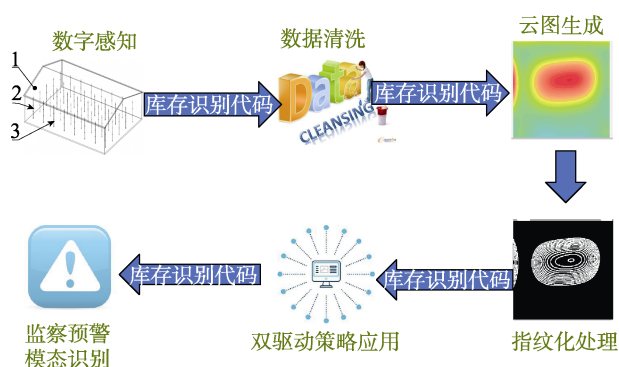


图 4 储备粮数字监管的技术路线
Fig.4 Technology roadmap of the digital intelligence method for stored grain supervision

主要是利用粮情系统以阵列方式完成对粮仓储粮信息的感知, 目前以温度为主, 以湿度、水分以及气体浓度的检测为辅。二是数据清洗, 对粮情系统采集的信息进行异常数据去除、修正, 和缺

失数据的补全。三是云图生成,对清洗后的数据进行空间插值,形成具有一定分辨率的云图。四是指纹化处理,优化云图显示梯度,便于结露、霉变等区域的标示。五是双驱动智能策略应用,智能比对和分析指纹图中是否违背储备粮数字监管原理,利用模型数值计算,特别标记发热、结露、霉变等特征线。六是确定粮仓储粮的模式,以表格+云图方式形成监管报告。

1.4 数据手册

在粮食精细化储藏关键工艺基础实验数据测定和模型建立的基础上,以全国 7 大储粮生态区域、22 个省的典型粮仓储粮的粮情数据和抽样品质数据为基础,建立了粮食储运关键工艺工具化数据库(手册),包括全国粮仓存储环境气候数据和模型、22 省典型粮仓储粮层面粮情统计数据 and 模型、东北典型粮仓储粮品质统计数据 and 模型、5 大粮食品种全工艺参数条件干燥工艺特性与品质特性数据和模型。

1.5 智能策略

储备粮数字监管的智能策略是在监管原理和粮情信息图形化特征数据联合驱动下形成的,包括幅值、积分和微分策略(AID 策略)、二次多项式模型策略(ABC 策略)、空间互相关和时间自相关策略(6R 策略)、气温模型策略(SIN 策略)、云图等温线封闭性策略(O 策略)、以及云图等温线开放性策略(U 策略)、温湿水三元互动策略(CAE

策略)等一系列智能策略,这些策略的应用需要结合已经开发的《粮情电子数据手册》^[7-13]。

6R 和 O 策略主要依赖在空间和时间上的连续性原理。6R 策略主要是粮仓纵、横、平三截面的云图保持高度的自相关(在时间维上)和他相关(在平行空间平面上),O 策略主要是指粮仓某截面的云图内,一定存在封闭等温指纹线,等温指纹线的长度和形态与储粮的状态相关,横长指纹线的出现说明粮食储藏的时间,纵长指纹线出现说明粮仓正在进行或者刚完成通风作业,当指纹线不封闭时,说明粮食有可能发生异常搬动或者置换。

AID、SIN 和 ABC 策略主要依赖在时间上的周期性原理^[14]。AID 策略是指粮情信息(主要是温度)的幅值(A)、积分(I)和微分(D)按储藏周期而年度周期变化,但受入仓状态以及气候变化影响而有差异。ABC 策略是指粮仓储粮最上层的粮温分布具有“抖床单”效应,春夏季节趋向一条顶点向下的 U 型抛物线、秋冬变为顶点在上倒 U 型抛物线。

CAE 和 U 策略主要依赖粮仓三元关系的平衡和非平衡协调性原理。CAE 测类是指粮仓温度(T)、湿度(H)和水分之间存在准平衡关系,知道其中两个情况,就可以大致推测出另外一个的变化范围,这是能利用单一温度云图就可以进行结露预测的缘由。U 策略是指粮仓云图指纹只有在纵向通风过程中竖向等温线^[15-18]。

表 1 储粮数字监管智能策略汇总

Table 1 Summary of strategies for the digital intelligence method for stored grain supervision

原理	连续性	周期性	协调性
策略	6R (多向相关), O (等值封闭)	AID (三变), ABC (横向), SIN (气候)	CAE (三元互动), U (纵向)
问题	发现擅自动用, 监守自盗等导致的数量异变, 预测储藏过期的品质劣变, 数据补全, 数据校正	预警发热 (热芯冷芯)、结露, 数据造假	预测和预警结露, 霉变, 发现数据造假, 安全分析
工具	云图+数据手册	云图+模型+数据手册	云图+绝对水势图+数据手册
现象	云图畸变 (苹果缺口、断裂)	热芯增大, 梯度增大	计算和实测数据差距过大
模态	空、进 (出)、半、新、常、热、露、霉、风、动、春夏、秋冬		

1.6 模态分析

粮仓模态主要是指粮仓储粮的 10 种状态,包括空、进 (出)、半、新、常、热、露、霉、风和动,另外还有春夏季和秋冬季 2 种辅助模态。常

用的有空、半、热、露和霉等 5 个模态。粮仓模态是对监管智能策略分析结果进行综合后得出的结论。空仓模态一般会出现指纹图的梯度过小、等温线数目很少或者凌乱等问题。进仓和出仓模

态水平云图会出现 1 个梯度 2 个区域且一个区域不断扩大的现象, 其中一些纵截面是空仓模态、一些纵截面是新粮模态。半仓模态和进仓和出仓模态相近, 不同之处是水平云图出现 1 个梯度 2 个区域但没有一个区域不断扩大的现象。常仓模态指的是一般在粮食入仓后 2 个月以上的状态, 云图开始形成长纹线。热、露和霉仓模态一般判断出现热芯、结露线和霉变线^[19], 是综合应用 AID 和 CAE 策略的结果。风仓模态是机械通风作业造成的, 一开始在纵截面下部出现倒 U 型指纹线, 并不断扩大, 最后出现竖纹线。春夏和秋冬模态主要根据 ABC 智能策略来判断。

2 示范应用

2018 年全国清仓查库 10 个省的试点中, 共分析粮情数据 23 万余条, 获得温度变化预警信息近 1 800 条, 经各抽查组结合仓内储粮实际情况进行对照, 不同小组的预警准确率基本保持在 70% 以上。预警信息结果为实物检查和财务检查提供线索, 如表 2 所示。

表 2 粮情动态分析软件试点应用情况汇总表 (2018.10 月)

Table 2 Summary of pilot application of grain situation dynamic analysis software(October 2018)

序号	抽查组	测试数据	预警信息	符合信息	准确率/%
1	A 省组	96 511	114	89	78
2	B 省组	26 202	303	246	81
3	C 省组	13 692	259	236	91
4	D 省组	7 981	105	98	93
5	E 省组	15 020	135	118	87
6	F 省组	2 511	104	83	80
7	G 省组	9 624	223	210	94
8	H 省组	11 127	185	161	87
9	I 省组	13 409	192	169	88
10	J 省组	38 223	169	119	70
合 计		234 300	1 789	1 529	85

以“数字云图动态”为手段的储粮“技防”技术, 初显效果, 投入小、见效快、发展潜力巨大, 可以实现储粮监管日常化、动态化, 使储粮数量监管、储粮质量管控、储粮流通等更加科学、有效。存在的不足是信息共享接口和机制以及数据造假等, 但依然是功能强大的辅助手段, 且有

待进一步技术提升。

3 结论

基于粮堆多场耦合理论, 通过粮堆内单场在时空上的连续性, 在时间轴上的周期性, 以及多场耦合的协调性规律性的分析, 本文建立了储备粮数字监管的智能方法。为储粮的真实性、安全性以及储粮作业的合理性、合规性、合法性的高效快捷的机器辅助判断提供了新路径。储备粮数字监管的智能策略是以监管原理和粮情信息图形化特征数据联合驱动下形成的, 包括 6R、O、AID、ABC、SIN、U、CAE 等 7 项策略, 策略的应用与已经开发的《粮情电子数据手册》联合使用。粮仓模态主要是指粮仓储粮的 10 种状态, 包括空、进(出)、半、新、常、热、露、霉、风和动, 另外还有春夏季和秋冬季 2 种辅助模态, 其中, 常用的有空、半、热、露和霉等 5 个模态。2018 年全国清仓查库 10 省试点中, 共分析粮情数据 23 万余条, 获得温度变化预警信息近 1 800 条, 经各抽查组结合仓内储粮实际情况进行对照, 不同小组的预警准确率基本保持在 70% 以上。

参考文献:

- [1] 《中国的粮食安全》白皮书, 国务院新闻办公室, 2019 年 10 月 14 日.
“White Paper on Food Security in China”, News Office of the State Council, October 14, 2019.
- [2] 吴子丹, 张强, 吴文福, 等. 我国粮食产后领域人工智能技术的应用和展望[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(11): 133-139+146.
WU Z D, ZHANG Q, WU W F, et al. Application and prospect of artificial intelligence technology in post-production field of food in China[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(11): 133-139+146.
- [3] 吴文福, 王雨佳, 李姝晓, 等. 粮仓哲学——对储粮科技走向智慧化的哲学思考[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(2): 1-10.
WU W F, WANG Y J, LI S Y, et al. Granary philosophy——philosophical thinking on the intelligence of grain storage science and technology[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(2): 1-10.
- [4] 吴文福, 韩峰, 张亚秋, 等. 粮食干燥和储藏系统理论与方法的研究——吉林大学粮食储运研究发展回顾[J]. 粮食储藏, 2021, 50(3): 1-10.
WU W F, HAN F, ZHANG Y Q, et al. Research on the theory and method of food drying and storage system--review of the

- research development of food storage and transport in Jilin University[J]. Grain Storage, 2021, 50(3): 1-10.
- [5] WU W F, CUI H W, HAN F, et al. Digital monitoring of grain conditions in large-scale bulk storage facilities based on spatiotemporal distributions of grain temperature[J]. Biosystems Engineering, 2021, 210(43): 247-260.
- [6] WU Z D, ZHANG Q, YIN J, et al. Interactions of multiple biological fields in stored grain ecosystems[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 9032.
- [7] 卢延辉, 李欣泽, 吴文福, 等. 粮情智能分析基础数据手册的开发[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(2): 47-55.
 LU Y H, LI X Z, WU W F, et al. Development of basic data manual for intelligent analysis of grain condition[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(2): 47-55.
- [8] 吴文福, 朱浩天, 崔宏伟, 等. 一种适于储粮数字监管的ABC策略方法[P]. 吉林省: CN108764802B, 2021-05-25.
 WU W F, ZHU H T, CUI H Y, et al. An ABC strategy approach for digital regulation of grain storage[P]. Jilin Province: CN108764802B, 2021-05-25.
- [9] 吴文福, 崔宏伟, 张忠杰, 等. 储备粮数字监管方法及应用[J]. 现代农业装备, 2020, 41(5): 2-7+47.
 WU W F, CUI H Y, ZHANG Z J, et al. Digital supervision method and application of grain reserves[J]. Modern Agricultural Equipment, 2020, 41(5): 2-7+47.
- [10] 韩峰, 吴文福, 崔宏伟, 等. 一种基于相关性统计的粮仓储粮状态监管方法[P]. 吉林省: CN108805501B, 2020-09-04.
 HAN F, WU W F, CUI H Y, et al. A correlation statistics based regulatory method for grain storage state in grain bins[P]. Jilin Province: CN108805501B, 2020-09-04.
- [11] 吴子丹, 吴文福, 韩峰, 等. 一种适于储粮监管的AD策略方法[P]. 吉林省: CN108981960A, 2018-12-11.
 WU Z D, WU W F, HAN F, et al. An AD strategy approach for grain storage supervision[P]. Jilin Province: CN108981960A, 2018-12-11.
- [12] 吴文福, 崔宏伟, 韩峰, 等. 一种适于储粮宜存评价的3I策略方法[P]. 吉林省: CN108764749A, 2018-11-06.
 WU W F, CUI H W, HAN F, et al. A 3I strategy method suitable for evaluation of grain storage suitability[P]. Jilin Province: CN108764749A, 2018-11-06.
- [13] 袁铭. 基于粮情挖掘数据的粮仓储粮作业管理专家系统研究[D]. 吉林大学, 2022.
 YUAN M. Research on expert management of grain storage operation based on grain situation mining data[D]. Jilin University, 2022.
- [14] 吴文福, 朱浩天, 崔宏伟, 等. 一种适于储粮数字监管的ABC策略方法[P]. 吉林省: CN108764802A, 2018-11-06.
 WU W F, ZHU H T, CUI H W, et al. An ABC strategy approach for digital regulation of grain storage[P]. Jilin Province: CN108764802A, 2018-11-06.
- [15] 吴文福, 陈思羽, 韩峰, 等. 基于绝对水势图的储粮通风作业管理初探[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(11): 100-107.
 WU W F, CHEN S Y, HAN F, et al. The moisture migration of heat and humidity grain bulk and granary aeration management[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(11): 100-107.
- [16] 吴文福, 陈龙, 秦骁, 等. 一种适用于粮情监测的绝对水势计算方法及云图生成方法[P]. 吉林省: CN106802164A, 2017-06-06.
 WU W F, CHEN L, QIN X, et al. An absolute potential calculation method and cloud map generation method for grain monitoring[P]. Jilin Province: 2017, 32(11): 100-107.
- [17] 陈思羽, 吴文福, 李兴军, 等. 谷物湿热平衡新模型及热力学特性的研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(3): 110-114.
 CHEN S Y, WU W F, LI X J, et al. Heat and moisture balance new model and thermodynamic properties of grain[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(3): 110-114.
- [18] 张忠杰, 尹君, 吴晓明, 等. 粮情云图动态分析软件系统研发与应用[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(1): 94-99.
 ZHANG Z J, YIN J, WU X M, et al. Development and application of software system for dynamic analysis of grain condition cloud map[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(1): 94-99.
- [19] 王小萌, 吴文福, 尹君, 等. 基于温湿度场云图的小麦粮堆霉变与温湿度耦合分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(10): 260-266.
 WANG X M, WU W F, YIN J, et al. Analysis of wheat bulk mould and temperature-humidity coupling based on temperature and humidity field cloud map[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(10): 260-266. 完
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。