

吴文福教授主持“智慧粮食基础探索”特约专栏文章之三/“新理念和新方法”分栏文章之三

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.02.003

吴文福, 张娜, 李姝尧, 等. 事联管理方法及其智慧化在粮食围收储期的应用[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(2): 18-26.

WU W F, ZHANG N, LI S Y, et al. The application of the event-correlation management method and its wisdom in the period of grain peri-harvest and storage[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(2): 18-26.

事联管理方法及其智慧化在粮食围收储期的应用

吴文福^{1,2}, 张娜¹, 李姝尧¹, 王雨佳¹, 韩剑³, 马昀钊^{1,2}

(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. 吉林省粮油卫生检验监测站, 吉林 长春 130033)

摘要: 以智能感知、物联网、区块链、大数据、人工智能等信息技术为代表的第四次工业革命赋能传统行业, 农业同步迈入数字化、智能化乃至智慧化新时代, 为提升农业生产管理水平提供了新的契机。现有农业生产管理研究多限于概念界定、适用理论等问题, 信息技术的发展已构建起有一定覆盖度的低水平物联网, 带来了一些便利, 但因数据孤岛、数据浪费、数据滥用、数据造假等棘手问题, 而不能有效支撑农业管理和决策。因此, 该研究从顶层设计和系统管理的视角出发, 针对智慧农业发展存在的问题, 重新认识农业产业链的事件及自然事件链的特性, 首次提出了事联管理方法及其智慧化策略。事联管理方法的实施包括目标一致化、指标系统化、资产物联化、过程事联化和效果追溯化五方面的内容。应用事联管理方法及其智慧化界定了农业生产 5T 管理事件及事件链, 并在稻谷围收储期完成 5T 管理产业链指标体系的设定和系统构建。在吉林大米品牌建设 5T 管理标准制定和益海嘉里稻谷产业“六步鲜米精控技术”创新体系中的应用表明, 能够改善稻谷生产精细化管理水平, 减少损耗、提高质量和增加经济效益。

关键词: 粮食生产; 物联; 事联; 5T 管理; 围收储期

中图分类号: S-03; TS205 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)02-0018-09

网络首发时间: 2023-03-09 11:53:57

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20230309.1014.014.html>

The Application of the Event-correlation Management Method and Its Wisdom in the Period of Grain Peri-harvest and Storage

WU Wen-fu^{1,2}, ZHANG Na¹, LI Shu-yao¹, WANG Yu-jia¹, HAN Jian³, MA Yun-zhao^{1,2}

(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. Jilin Provincial Grain and Oil Hygiene Inspection and

Monitoring Station, Changchun, Jilin 130033, China)

收稿日期: 2022-12-29

基金项目: 粮食公益性行业科研专项(201313001-07)

Supported by: Special Research Project for Food Public Welfare Industry (No. 201313001-07)

作者简介: 吴文福, 男, 1965 年出生, 博士, 教授, 研究方向为粮食干燥与储藏等相关性研究工作。E-mail: wwfzlb@126.com.

Abstract: Compared with the advanced and sophisticated industrial production, agriculture and food production appear backward and sloppy, and agricultural production management methods are lacking. The fourth industrial revolution, represented by information technologies such as intelligent perception, Internet of Things, block chain, big data and artificial intelligence, has empowered traditional industries, and agriculture has stepped into a new digital, intelligence and even wisdom, which could provide a new opportunity to improve agricultural production management. Existing agricultural production management research is mostly limited to the study of concept definition, applicable theory and other issues. The development of information technology has built up a low-level Internet of Things with certain coverage, which brings some convenience, but cannot effectively support agricultural management and decision-making due to data silos, data waste, data abuse, data falsification and other thorny issues. From the perspective of top-level design and system management, this paper addressed the problems in the development of smart agriculture, conceptualized the characteristics of the event and natural event chains in the agricultural industry chain. This paper also proposed for the first time an event-correlation management approach and its wisdom strategy. The implementation of the event-correlation method included five aspects, including goal alignment, index systematization, asset linkage, process linkage and effect traceability. The application of the event-correlation management approach and its wisdom in the 5T management standard designation for Jilin rice brand building and the “six-step fresh rice precision control technology” innovation system of Wilmar rice industry have shown that it can improve the culture of rice cultivation, and systematically reduce losses to improve quality and increase economic benefits.

Key words: grain production; IOT; event-correlation; 5T management; peri-harvest and storage period

技术、管理和生产之间既相互独立又相互作用, 共处在一个系统之中。技术进步一方面提高生产效率, 一方面给管理提出新要求、甚至提供新手段。管理改善同样可以提高生产效率, 给技术提出新要求。生产对技术和管理也会提出新要求, 促进技术进步和管理改善。据信, 信息技术将引导新一轮科技革命和产业变革, 各国逐渐由传统工业社会迈向信息化社会, 同时农业也同步进入数字化、智能化和智慧化农业新时代^[1]; 以信息、知识及装备为核心要素的现代农业生产方式, 是各国现代农业科技竞争的制高点、未来农业发展的新业态^[2]; 到 2035 年, 我国将基本实现农业全产业链数字化、网络化, 大田、设施、畜禽及水产生产数字化水平分别达到 50%、70%、75%、75%, 农业数字经济占第一产业 GDP 的比重超过 70%^[3]。那么, 我国智慧农业的发展和农业管理之间存在什么问题? 将怎样相互影响和促进? 近年来, 我国智慧农业发展取得了长足进步, 在农业专家系统、农业智能装备、北斗农机自动

导航驾驶等方面成果显著, 初步形成了有一定覆盖率的农业物联网。相比发达国家, 我国智慧农业研发和应用水平整体呈落后态势, 仍处于“跟跑模仿”阶段, 落后先进国家 10~15 年, 不能有效支持农业生产决策和管理。亟需在着力发展技术的同时, 从农业产业链管理的视角进行系统谋划、定位和行动。

现有农业产业链的研究主要集中在宏观问题。农业产业链概念被界定为 3 种情形^[4-7], 不同功能服务的企业或单元网络结构、联结供产加储运销等不同环节、不同农产品的集合体以及包括为生产产前、中、后不同部门的产业群。为农业产业链管理提供了 3 种适用基础理论^[8-10], 其中最基础的理论依据是分工理论, 它能够解释农业产业链的形成原因和条件, 交易费用理论和产业链理论分别从不同的角度和层面为农业产业链的研究提供了理论。

有少量研究涉及农业产业链管理微观问题。A.V.Feigenbaum 等^[11]的“全面质量管理”(TQM)

是一种过程质量控制和一系列具体作法的行为方法，目的是满足消费者对产品质量的要求。P.Sterrenburg 等^[12]在 TQM、ISO、GMP 和 HACCP 的基础上，提出建立农产品质量预警系统，能够维护产业链的声誉，同时增强了消费者的信息。价值链分析是衡量企业成本和绩效的方法，证明农业产业链管理可以显著降低农业企业的生产成本，提高企业的成长速度。Schiebel^[13]强调价值链在农业产业链中的作用，从消费者需求和市场份额为农业产业链上的企业提供了估计有效客户反应的方法。巴西经济学家 Decio Zylbersztajn 等^[14]对水果、蔬菜、牛肉等农业产业链进行了深入的研究，提出提升产业链竞争力的对策建议。也有研究信息技术在农业产业链管理中的应用。F.van Dam^[15]认为在农业领域，应该加强农业信息链管理，实施信息交流技术。Hofman 等^[16]认为对于农业产业链的发展来说，信息和交流技术（ICT）尤为重要，不但可以为农业关联企业提供竞争能力，还可以为增加市场份额提供机会，农业产业链的合作企业应站在国内和国际两个市场的高度实施 ICT 战略。经济学家 Luttighuis^[17]针对前人研究中出现的 ICT 机构中存在的特定、刻板和使用范围狭窄等三大技术障碍，提出了一种柔性的、广泛的 ICT 服务结构的政策和技术建议。他提出由于 ICT 是为整个农业产业链甚至整个农业部门服务的，所以单个的农业企业不可能投资建设，合理的投资应是政府。

我国“农业产业链”一词最早由华南热带农业大学的傅国华^[18]研究证明，农业产业链的构建和整合能够带动传统农业的内部演变，可提高农业竞争力。农业产业链随着我国农业产业化的快速发展越来越受到社会的关注。经过多年的探索，国内学者对农业产业链的研究主要集中在三个方面，理论上研究了产业链优化的内容、途径和原则。针对我国传统农业产业链面临着“双柠檬市场”，提出了要建立混合纵向一体化的链接机制思路。实践上探索了农业产业链的一些有效途径，分解为基本价值链、辅助价值链及可拓展价值链，并提出构建新型农业产业链的思路；通过构建区域产业链来解决我国城乡二元结构问题，统筹城

乡经济的发展^[19]。

本文从顶层设计和系统管理的视角出发，针对智慧农业发展出现的问题，拟重新认识农业产业链的事件及自然事件链的特性，提出和实践农业产业链管理方法，取得系统减少损耗、提高质量和增加经济效益的效果。

1 事联信息管理的事理学原理

1.1 事件、自然事件及自然事件链的定义

事件是人、物和时空三个结构要素的紧密结合，其中人是主体、物是条件、时空是约束，如图 1-a。任何事件具有目标、机制和手段三个管理要素，如图 1-b。事件的目标服务于人的需求。事件的机制就是自然规律主导下人、物和时空的协调关系。事件的手段就是达到目标可以采用的利用资源和条件的方法。如果一个事件受到自然物理规律（含物理和生理）的强烈限制，称其为自然事件，如农业生产。

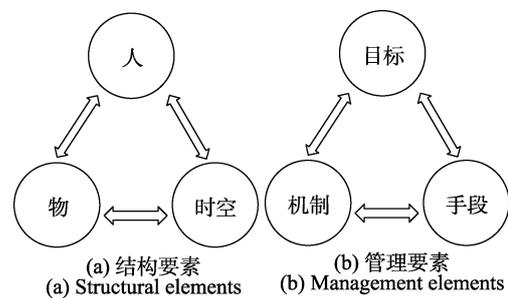


图 1 事件要素

Fig.1 Event elements

1.2 自然事件链特性和事理规律分析

自然事件往往是一系列序位事件的集合，以链的方式可以称其为自然事件链，简称事件链，与实际中的产业链相对应。自然事件链具有 3 个鲜明特性，即序位关联性、多主体性和目标一致性。所谓事件序位关联性指所包含在 1 个链中一系列事件是按事件的时空序位有顺序的发生和互相影响。所谓多主体性指在 1 个链中一系列事件的主体可能是多个。所谓目标一致性是指 1 个链一系列事件共同至少要 1 个目标协同实现，目标可以是宏观的、也可以是微观的，但要求一致，针对实际生产最好能量化，便于操作。农业生产

中自然事件链，即产业链，往往以最终获得最多数量和最优质量的农产品以及最高经济价值为目标，具有多目标性，但依然保持目标的一致性。

自然事件链除具有前述特性外，其发生还具有一定的规律。归纳起来一般的自然事件链应该包含起、成、住、坏和空 5 类事件。“起”是以计划、谋划和发起为内容的事件；“成”是以促成促

长为内容的事件；“住”是以停止和保持为内容的事件；“坏”是以防止损失和变质为内容的事件；

“空”是以消费、消耗和转化为内容的事件，如图 2-a。对于农业产业链的农事链包括种、长、收、藏、用等事件，如图 2-b。农业收储产业链结合了不落地生产工艺思想，包括收割、田场、干燥、粮场、储藏等 5 个事件，如图 2-c。

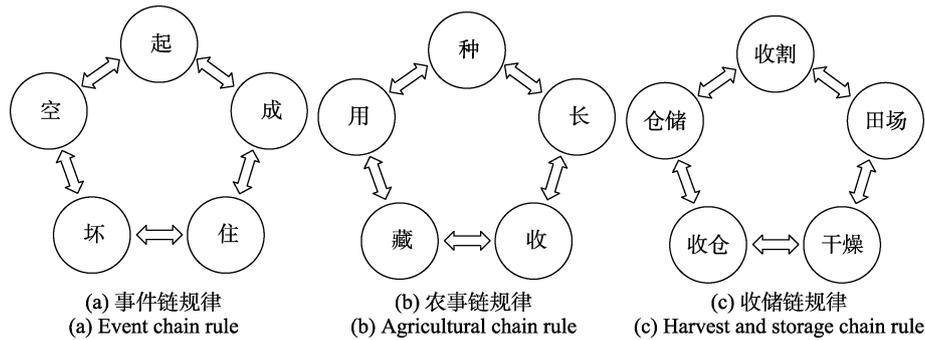


图 2 自然事件链发生规律分析

Fig.2 Analysis on occurrence law of natural event chain

1.3 事联管理的模型表达

自然事件链的系列事件之间有自然连接关系，对这种关系的信息监测和主动干预，就是事联管理。自然事件链的系统行为可表达为微分方程和代数方程：

$$f_D(\dot{x}, x, w, T(T_1, T_2, \dots, T_n), D) = 0 \quad (1)$$

$$f_A(x, w, T(T_1, T_2, \dots, T_n), D) = 0 \quad (2)$$

$$y = F(x, w, T(T_1, T_2, \dots, T_n), D) \quad (3)$$

其中： f_D 是维数 n_x 的向量，包含在一组微分方程中； f_A 是维数 n_w 的向量，包含在代数方程中； $y \in R^{n_y}$ 是输出变量（可测量变量，管理效果）的向量；事件链的状态变量向量是 $x \in R^{n_x}$ ；事件链代数变量向量是 $w \in R^{n_w}$ ；事件的管控变量和扰动变量为 $T \in R^{n_t}$ 和 $D \in R^{n_d}$ ； T_1, T_2, \dots, T_n 为事件链包含的系列序位事件的管控变量。

进一步，自然事件链的事联管理问题转化为通过求解非线性规划问题（NLP），获得最佳指标体系：

$$\min_{x,w,T} O(x, w, T(T_1, T_2, \dots, T_n), D) \quad (4)$$

$$f_D(\dot{x}, x, w, T(T_1, T_2, \dots, T_n), D) = 0 \quad (5)$$

$$f_A(x, w, T(T_1, T_2, \dots, T_n), D) = 0 \quad (6)$$

$$y^L \leq y = F(x, w, T(T_1, T_2, \dots, T_n), D) \leq y^U \quad (7)$$

$$T^L \leq T(T_1, T_2, \dots, T_n) \leq T^U \quad (8)$$

其中 O 是目标函数（这里是指产生数量损失或者质量降低的风险，是 N 个事件概率的乘积）。虽然参数 y^L 和 y^U 分别是输出变量（7）的下限和上限，但 T^L 和 T^U 是输入变量（8）的上限和下限。

2 自然事件链的事联管理方法及智慧化

2.1 事联管理的实施方法

根据 1.3 中事联管理的模型表达（1）和（2），事联管理的实施包括目标一致化、指标系统化、资产物联化、过程事联化和效果追溯化五方面的内容或者步骤，如图 3 所示。目标一致化指在一个自然事件链存在多层次多环节目标的情况下，要梳理出影响整链且贯穿全链层次环节的一致性目标，不少于 1 个；指标系统化指围绕整链一致化目标，针对链内的所有系列事件设置管控指标体系，建立指标体系应基于链的物理和生理变化的专业知识；资产物联化指对链运行相关资产和设备进行赋码和信息网链，实现事件中人和物的信息关联，做到“一物一码”（具有唯一性和排他性，形成物联网及其关联信息，这样就在一定范

围内实现所谓“万物互联”；过程事联化指在资产物联的基础上，在信息系统中对事件进行标记，在物联网基础植入时间、数量等信息，形成具有唯一性和排他性的物联网码；效果追溯化是指利用物联网码和事联码，在信息系统内部以链方式进行各种形式数据分析和评价，支持链的整体目标的实现。

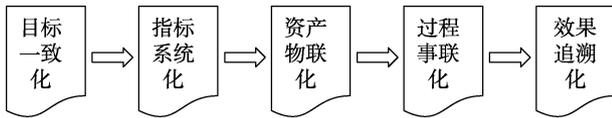


图 3 事联管理方法的实施步骤

Fig.3 Implementation steps of event management method

2.2 事联管理的智慧化

事联管理的对象往往不是单一链条，往往是万千链条的并行发生，甚至是串链和并链同在的复合链，人管是难以凑效的。事联管理路径是走智慧化的路径。2.1 中物联网码和事联码的应用是智慧化的第一步，是在芸芸网络信息系统中事件建立一个“身份证”，起到事件标志和辨识的作用。事联管理的第一项功能是一个高效数据整理箱的作用，进一步是让数据如何发挥威力的问题，是通过建立基于智能感知、物联网、区块链、大数据分析、人工智能等技术事联管理智慧化管理系统，完成区域农业生产技术和管理水平分析和优化（信息化程度、先进性、效率、节能、减损等）、区域农产品质量评估和经济效益分析和提升、主体能力和效益、流通产品质量追溯及真实性评价和改进等目标任务。区块链技术为事联管理的智慧化提供了一种有效的技术手段，所得“区块”与本文所指“事件”相对应，前者以任意的时间戳对区块进行标记，而后者是采用自然事件发生时间等进行标记，更接近实际，事件可以称为“自然区块”及“自然区块链”。

3 事联管理的农业实践案例——稻谷收储 5T 管理及六步保鲜技术系统的构建和应用

3.1 农业生产 5T 管理的事件和事件链的界定

农业生产 5T 管理是结合稻谷生长特性和事联管理方法而提出的一种适合于精细农业生产管理和质量控制的新方法。稻谷生长具有明显时效

通道特性，一般是一条非正则的 S 型曲线和通道，因发育时间的差异，具有一系列时间敏感点，时间敏感点和农事作业事件安排以及农产品质量形成密切相关^[20-23]，如图 4 所示。另外，根据稻谷生长至少包括植株和籽实 2 个相互关联时效通道，分别与产前农事和产后农事安排关联。对应植株生长生产过程由 T_I 种期、T_{II} 苗期、T_{III} 秧期、T_{IV} 籽期和 T_V 产品组成自然事件链，偏重产前，称其为产前 5T 管理。按籽粒生长将生产过程分为熟收 T₁、田场 T₂、干燥 T₃、收仓 T₄ 和仓储 T₅ 组成自然事件链，偏重产后，称其为产后 5T 管理或者围收储 5T 管理。其中，“围”是借用的医学名词，取“围产”之精心护理之意^[24-25]，如图 5 所示。

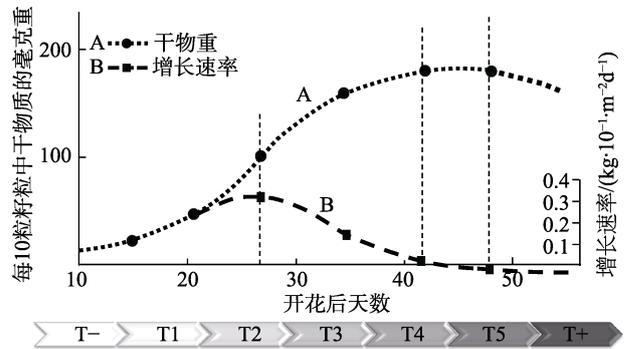


图 4 稻谷生长的时效通道特性

Fig.4 Time channel characteristics of crop growth

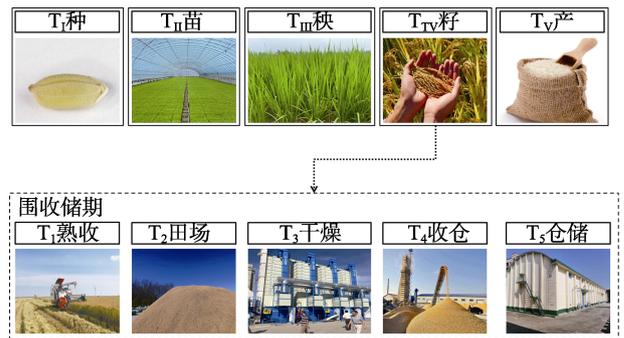


图 5 5T 管理事件链

Fig.5 5T management event chain

所谓“时效区块”，是指在时效通道存在若干时间敏感点或分界点，分界点前后对于干物质积累和品质形成均有显著的变化，两个分界点之间形成一个时效区块。就是说，植物包括生长，具有鲜明链特性。所谓“区块特性”，是指稻谷生长的“时效通道”是一条非正则 S 形通道，按照时间

敏感点，如最佳收获期，可以把这条通道的关联时空划分为多个时效区块，每个时效区块反映稻谷不同的阶段性生长特征^[24-26]，如图 6 所示。

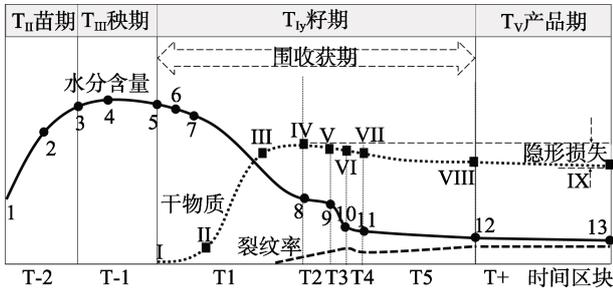


图 6 稻谷及籽粒生长存续的时效区块特性
Fig.6 Characteristics of time blocks for crop and grain growth survival

3.2 稻谷围收储 5T 管理产业链目标的设定和指标体系的构建

从宏观上看，稻谷围收储产业链管理至少也包括以下五个目标：1) 民生保障、粮食安全；2) 数量最多、质量最优；3) 成本最低、危害最小；4) 规避风险、调节供给；5) 价值最大、利益最大。这些目标是原则，不便于量化管理。按照目标一致性原则，如图 7 所示，设置了干物质、爆腰率、食味值、损失率等容易计测的指标为目标因子，

既是整链管理的总目标，也是链中各个事件管理的首要目标；进一步，在总目标之下针对链内每一个事件，构建了控制指标体系，体现在 2020 年制定的吉林省地方标准《优质稻谷收储作业 5T 管理技术规程》^[27]，如表 1 所示。《优质稻谷收储作业 5T 管理技术规程》明确了围收储链内对 5 个事件管理必要指标以及充分指标。其中，必要指标是保证围收储作业质量的必须监测和控制的关键作业指标；充分指标是保证围收储作业质量的非关键作业指标和稻谷品质指标，根据实际情况有选择地监测和控制。

3.3 稻谷围收储 5T 管理信息系统的构建及应用

稻谷围收储 5T 管理信息化系统可覆盖稻谷生产主体和监管部门业务，主要内容包括“1+1+7”，即为“一个保障支撑层，一个数据中心资源层，7 个应用服务”，最后将“1+1+N”体系结合综合展现层和运营保障层设计构成系统总体架构，如图 8 所示。根据系统功能需求，可将 5T 管理信息化系统分为基础信息管理、5T 管理、5T 管理能力评价、产品追溯、统计查询、数据驾驶舱和系统管理等 7 个功能模块。2020 年 5T 管理信息化系统依托吉林大米产业联盟分批安装和运行，把“优

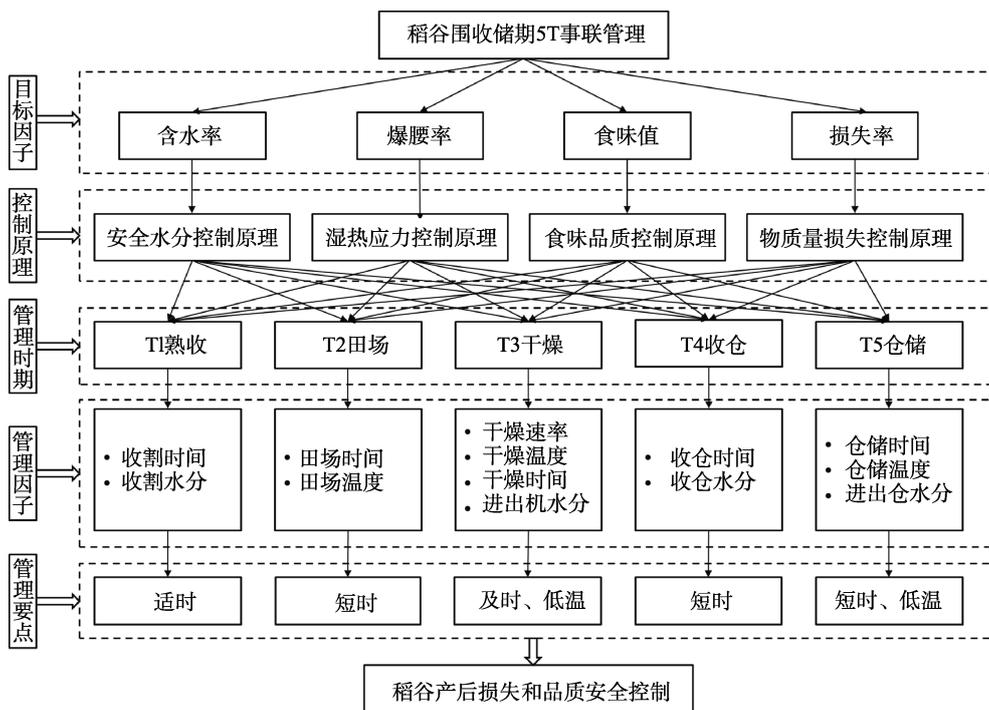


图 7 整链管理目标因子设置
Fig.7 Whole chain management target factor setting

表 1 优质稻谷收储作业 5T 管理技术规程指标
Table 1 5T post-harvest management technique codes for high quality paddy

时期	必要指标	必要指标参数			充分指标	充分指标参数		
		A 级	B 级	C 级		A 级	B 级	C 级
T ₁	收割时间偏差/d	±2	±3.5	±5	损失率/%	≤2.0	≤2.3	≤2.7
	收割水分/%	24	24	—		≤2.0	≤2.3	≤2.7
T ₂	机械收割时间/h	≤6	≤8	≤12	存放温度/°C	≤20	≤25	—
	半机械收割时间/h	≤12	≤16	≤24	损失率/%	≤0.1	≤0.15	≤0.2
					霉变粒/%	≤0.5	≤1.0	≤1.5
T ₃	干燥降水速率/(%/h)	0.5	0.7	0.8	干燥积温/(°C·h)	≥300	≥280	≥270
					最终水分/%	15	14.5	14.5
					水稻温度/°C	≤30	≤35	≤40
					损失率/%	≤0.1	≤0.15	≤0.2
T ₄	收仓时间/d	≤1	≤1.5	≤2	含杂率/%	≤0.5	≤0.8	≤1.0
	收仓水分/%	15	14.5	14.5	损失率/%	≤0.06	≤0.08	≤0.1
T ₅	仓储平均温度/°C	15	20	25	出仓水分/%	≤15	≤14.5	≤14.5
	年度仓储积温/(°C·d)	≤8 395	≤10 220	≤12 045	霉变粒/%	≤0.5	≤1.0	≤1.5
					脂肪酸值/(mg/100 g)	≤15.0	≤20.0	≤25.0

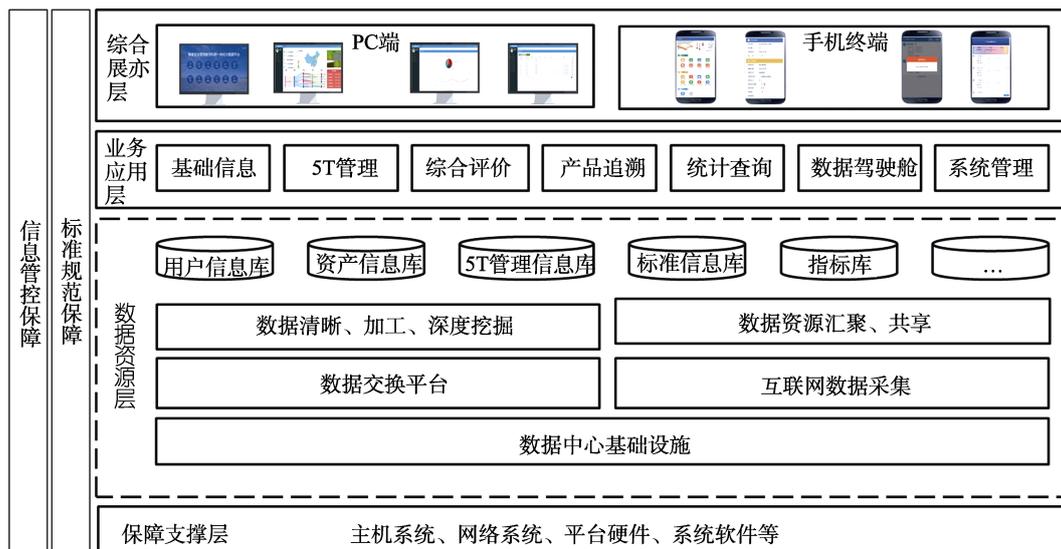


图 8 5T 管理信息化系统架构图

Fig.8 5T management information system architecture diagram

质稻谷收储作业 5T 管理技术规程”作为基础，将物联类序列码与物联网、大数据等现代化信息技术结合。当年将 12 家企业相关的耕地 11 973 hm²、收割机 51 台、干燥机 41 台、田场 201 487 m²、库场总面积 191 697 m² 和仓房总容量为 619 563 t 的信息上链，形成一批上链信息，初步实现了优质稻谷生产过程的管理信息和质量信息双追溯^[25]。保守估测，吉林省实施 5T 管理，可使水稻市场平均收购价始终高出国家最低保护价 0.10 元/斤左右，有望直接带动农民增收 10 亿元以上^[28-29]。近期益海嘉里结合 5T 管理推出了稻谷“六步鲜米精

控技术”创新体系，在吉林、黑龙江、辽宁、江苏和江西等省开展了示范应用，旨在助力改善稻谷种植文化，提升稻谷质量及经济价值^[30]。2022 年获得中国粮油科学技术特等奖。

4 结论

本研究通过对农业新时代国内外农业产业链和信息化发展的研究进行了总结分析，提出了以农业产业链的事件及自然事件链特性为基础的事联管理方法和智慧化策略，并将其进行了实践应用，结果表明：

(1) 通过对自然事件链和事理规律的分析, 得出自然事件链的系列事件之间的自然联系, 并构建了事联管理的模型, 完成自然事件链的信息监测和主动干预, 可对事件链序列事件进行管控。

(2) 通过事联管理方法实施与智慧化, 将自然事件的发生规律进行目标和指标体系的设置, 并通过物联网、大数据及人工智能等信息化手段结合, 形成数据和机理联合驱动的管理方法, 既是基于数据的管理, 也是高效的数据整理箱, 实现对数据的高效管理, 实现以“事件”为核心, 而不是“物(资产)”的管理方法。

(3) 通过将事联管理方法在稻谷围收储期的应用, 将稻谷收储按照自然事件划分为了 5 个时期, 得出了稻谷围收储 5T 管理方法。设定和构建了稻谷收储 5T 管理目标, 制定了吉林省地方标准《优质稻谷收储作业 5T 管理技术规程》。开发了稻谷收储 5T 管理信息化系统, 2020 年推广后完成当年将 12 家企业相关的耕地 11 973 hm²、收割机 51 台、干燥机 41 台、田场 201 487 m²、库场总面积 191 697 m² 和仓房总容量为 619 563 t 的信息上链, 形成一批上链信息, 初步实现了优质稻谷生产过程的管理信息和质量信息双追溯。

(4) 基于事联管理方法的 5T 管理方法在吉林省的实施, 可直接带动农民增收 10 亿元以上。益海嘉里结合 5T 管理推出了稻谷“六步鲜米精控技术”创新体系, 在多省开展了示范应用, 改善稻谷生产管理, 提升稻谷质量及经济价值。

参考文献:

- [1] 孙康泰, 王小龙, 蒋大伟, 等. 美国农业和食品领域 2030 科技突破计划及启示[J]. 全球科技经济瞭望, 2020, 35(11): 25-32.
SUN K T, WANG X L, JIANG D W, et al. The 2030 plan of science and technology breakthrough on agricultural and food study in the United States and its enlightenment[J]. Global Science, Technology and Economy Outlook, 2020, 35(11): 25-32.
- [2] 赵春江. 智慧农业发展现状及战略目标研究[J]. 智慧农业, 2019, 1(1): 1-7.
ZHAO C J. State-of-the-art and recommended development strategic objectives of smart agriculture[J]. Smart Agriculture, 2019, 1(1): 1-7.
- [3] 赵春江, 李瑾, 冯献. 面向 2035 年智慧农业发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 1-9.
- [4] ZHAO C J, LI J, FENG X. Development strategy of smart agriculture for 2035 in China[J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(4): 1-9.
- [4] 王国才. 供应链管理与农业产业链关系初探[J]. 科学与科学技术管理, 2003, (4): 46-48.
WANG G C. Preliminary study on the relationship between supply chain management and agricultural industry chain[J]. Science of Science and Management of S.&T, 2003, (4): 46-48.
- [5] 王凯. 中国农业产业链管理的理论与实践研究[M]. 中国农业出版社, 2004.
WANG K. Theoretical and practical research on the management of agricultural industry chain in China[M]. China Agriculture Press, 2004.
- [6] 刘金山. 市场协调农业产业链: 一种探索[J]. 上海经济研究, 2002, (3): 32-36.
LIU J S. Market coordination of agro-industrial chains: an exploration[J]. Shanghai Journal of Economics, 2002, (3): 32-36.
- [7] 张利库, 张喜才. 我国现代农业产业链整合研究[J]. 教学与研究, 2007, (10): 14-19.
ZHANG L K, ZHANG X C. Research on the integration of modern agricultural industry chain in China[J]. Teaching and Research, 2007, (10): 14-19.
- [8] (英)亚当·斯密; 杨敬年译. 国富论(上卷)[M]. 陕西: 陕西人民出版社, 2001.
(England) ADAM SMITH; YANG J N Translate. The Wealth of Nations(Vol.1)[M]. Shanxi: Shanxi People's Publishing House, 2001.
- [9] 马克思. 资本论: 第 1 卷[M]. 人民出版社, 1955.
MARX. Capital: Vol.1[M]. People's Publishing House, 1955.
- [10] 卢现祥. 西方新制度经济学[M]. 中国发展出版社, 2003.
LU X X. Western new institutional economics[M]. China Development Press, 2003.
- [11] FEIGENBAUM A V, FEIHENMAUM D S. Strategy[J]. Emerald Management Reviews, 2005, 34(1): 96-97.
- [12] 王瑜. 农业产业链研究综述[J]. 东方企业文化, 2013, (1): 264-265.
WANG Y. Review of agricultural industry chain research[J]. Oriental enterprise culture, 2013, (1): 264-265.
- [13] STERRENGURG P. Evaluation of a method for colour classification of veal[J]. Veterinary Quarterly, 1994, 16(1): 17-20.
- [14] DECIO Z, CLAUDIOI A. Competitiveness of the beef agribusiness chain in Brazil[J]. Paradoxes in Food Chains and Networks. Wageningen Academic Publishers, the Netherlands, 1998, 817-827.
- [15] F.VAN D. Agri-chains, ICT and innovation, Chain management in agribusiness and the food industry[J]. Proceedings of the fourth international conference, 2000: 555-560.
- [16] HOFMAN W. Information and communication technology (ICT) for food and agribusiness[M]. 2000.
- [17] PAUL O L. ICT service infrastructure for chain management,

- Chain management in agribusiness and the food industry[J]. Proceedings of the fourth international conference, 2000.
- [18] 傅国华. 运转农产品产业链 提高农业系统效益[J]. 中国农垦经济, 1996, (11): 24-25.
- FU G H. Run the agricultural products chain to improve the efficiency of the agricultural system[J]. China State Farms Economy, 1996, (11): 24-25.
- [19] 翟慧卿, 吕萍. 农业产业链理论研究综述[J]. 甘肃农业, 2010, (11): 22-23+25.
- ZHAI H Q, LV P. Review of agricultural industry chain theory research[J]. Gansu Agriculture, 2010, (11): 22-23+25.
- [20] 殷宏章, 沈允钢, 陈因, 等. 水稻开花后干物质的累积和运转[J]. 植物学报(英文版), 1956, (2): 177-194.
- YIN H Z, SHEN Y T, CHEN Y, et al. Accumulation and redistribution of dry matter in rice after flowering[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 1956, (2): 177-194.
- [21] 殷宏章, 余志新, 李娉娉, 等. 水稻籽粒成熟过程中淀粉合成及水解酶活力的变化[J]. 实验生物学报, 1956, (1): 34-44.
- YIN H Z, YU Z X, LI P C, et al. Changes in starch synthesis and hydrolase activity during rice grain maturation[J]. Journal of Molecular Cell Biology, 1956, (1): 34-44.
- [22] 殷宏章. 水稻的器官相对生长与经济产量—中期鞘叶比重与后期穗重的关系[J]. 作物学报, 1964, (1): 1-14.
- YIN H Z. Allometric growth and economic yield in rice; correlation between leaf-sheath ratio and ear weight[J]. Acta Agronomica Sinica, 1964, (1): 1-14.
- [23] 殷宏章. 稻麦高产的生理研究[J]. 植物生理学通讯, 1964, (1): 13-22.
- YIN H Z. Physiological studies on high yield of rice and wheat[J]. Plant Physiology Communications, 1964, (1): 13-22.
- [24] 吴文福, 张娜, 徐文, 等. 吉林大米 5T 管理综合信息系统[J]. 现代农业装备, 2021, 42(2): 51-56+62.
- WU W F, ZHANG N, XU W, et al. Jilin rice 5T management integrated information system[J]. Modern Agricultural Equipment, 2021, 42(2): 51-56+62.
- [25] 吴文福, 张娜, 李姝晓, 等. 5T 智慧农场管理系统构建与应用探索[J]. 农业工程学报, 2021, 37 (9): 340-349.
- WU W F, ZHANG N, LI S Y, et al. Construction and application exploration of 5T smart farm management systems[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(9): 340-349.
- [26] ZHANG N, WU W F, WANG Y J, et al. Hazard analysis of traditional post-harvest operation methods and the loss reduction effect based on five time (5T) management: The case of rice in Jilin Province, China[J]. Agriculture-Basel 2021, 11(9): 877.
- [27] 优质稻谷收储作业 5T 管理技术规程: DB22/T 3113—2020[S]. 吉林, 中国, 2022.
- 5T Post-harvest management technique code for high quality paddy: DB22/T 3113—2020[S]. Jilin, China, 2020.
- [28] 新华社. 吉林大米: 做响区域品牌 赋能乡村振兴[EB/OL]. [2021-05-08]. <https://xhpfmapi.zhongguowangshi.com/vh512/share/9964742?channel=weixin>.
- Xinhua News Agency. Jilin rice: doing the regional brand to empower rural revitalization[EB/OL].[2021-05-08]. <https://xhpfmapi.zhongguowangshi.com/vh512/share/9964742?channel=weixin>.
- [29] 粮油市场报. 吉林: 双“名片”闪耀粮交会 双“品牌”向心齐发力[EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/XNrXg8V5Q2m2y9YT4z5DFg>.
- Cereal & Oil Market Newspaper Office. Jilin: double “business card” shine food fair double “brand” to the heart of the force[EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/XNrXg8V5Q2m2y9YT4z5DFg>.
- [30] 大众新闻. 益海嘉里携手吉林大学, 开启金龙鱼稻谷鲜生大米鲜割监测[EB/OL]. <https://c.m.163.com/news/a/GKVMUB9600019UD6.html>.
- Popular News. Wilmar Join hands with Jilin University to open the Golden Dragonfish rice fresh cut monitoring[EB/OL]. <https://c.m.163.com/news/a/GKVMUB9600019UD6.html>. 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。