

基于 4M1E 和 HACCP 的洁蛋全产业链安全控制系统设计与实现

孙若文, 赵思明, 尤娟, 尹涛*
(华中农业大学食品科学技术学院 武汉 430070)

摘要 蛋品营养丰富,深受消费者青睐,然而,近年来沙门氏菌中毒、农兽药超标事件频发,引起人们对洁蛋安全性的担忧。首先选取洁蛋全产业链中养殖、收储、加工、流通 4 个主节点建立实体-联系模型(E-R 图),分析各子节点中全生产要素(4M1E),即人、机、料、法、环在各主节点的具体信息;对全产业链进行危害分析,确定关键控制点(CCP),并提出控制措施;建立数据采集规范,并进行风险评估;设计洁蛋全产业链安全控制系统,包括洁蛋全产业链自身质量安全智能管理系统和外部监管体系;建立基于“云+管+端”逻辑的洁蛋全产业链溯源平台。本研究为洁蛋食品安全控制提供新思路,可望降低洁蛋安全管理成本,实现精准溯源。

关键词 洁蛋; 安全; 4M1E; HACCP; 全产业链

文章编号 1009-7848(2022)10-0438-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.10.044

我国是全球第一养禽大国,鸡蛋年产量接近 3 000 万 t,占世界总产量的 43%^[1]。蛋及蛋制品富含蛋白质,营养丰富,是人们最常食用的食物之一,因此蛋及蛋制品质量安全与国民生活息息相关。然而,近几年陆续在鸡蛋中检测出芬普尼、氟虫腈、氟苯尼考、环丙沙星等农药、兽药,以及出现食用鸡蛋引起沙门氏菌中毒事件,引起消费者对洁蛋安全性的担忧。全产业链是指由田间到餐桌所涵盖的种养、收储、加工、流通等多个环节构成的产业链系统^[2]。政府和大型企业高度重视全产业链的延伸和补强建设。2021 年 4 月,中共湖北省委办印发《关于培育壮大农业产业化龙头企业的意见》中提到,湖北将围绕十大重点农业产业链(其中包括禽蛋制品)进行强链、补链,建立链长制^[3]。从全产业链角度进行食品安全监管,可实现精准溯源,降低风险控制成本。陶启等^[4]通过区块链技术,采用风险评估技术,将安全管理系统应用于大米全产业链中并构建相应的追溯系统,以实现大米安全的高效管控。魏立斐等^[5]针对水产品质量安全问题,采用区块链和 HACCP 技术相结合的方法,应用于水产品全产业链中,设计出水产品智能

溯源系统,优化水产品生产管理。然而,目前关于洁蛋全产业链食品安全的研究未见报道。

产品管理五大要素(4M1E)法指:人(Man),机器(Machine),物料(Material),方法(Method),环境(Environments)。在生产过程中,通过对以上五大要素进行控制和分析,可高效、精准地监管生产状况^[6]。HACCP 体系即危害分析与关键控制点,用来控制食品安全危害,是一种科学、合理和系统的方法^[7-8]。本文基于 4M1E 和 HACCP 的管理技术,通过对洁蛋全产业链中涉及的五大要素进行分析,确定影响食品安全的主要因素和关键控制点,利用现代信息化技术对食品安全相关数据进行采集、存储和风险分析,设计洁蛋全产业链安全控制系统,可实现对洁蛋质量安全的高效管控。

1 全产业链主体架构分析

洁蛋全产业链是指洁蛋生产过程中按照从蛋鸡孵化到餐桌的顺序,形成的物流链和信息链。根据 4M1E 五大要素选取信息,“人”指单位的资质、证照、法人、责任人等基本信息;“机”指所用设备的规格型号、技术参数、维修计划及使用记录、生产厂家等信息;“料”是指原辅料、半成品、成品的检验检测及禽药、肥料、加工助剂等投入品的使用记录;“法”是指生产时要遵循的法律法规、规章制度;“环”是指养殖环境,仓库、加工车间环境卫生情况等影响食品安全的因素。

构建的相关数据库如表 1 所示;选取养殖、收

收稿日期: 2021-10-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1604000, 2018YFC1604001);现代农业产业技术体系专项(CARS-45-27)

作者简介: 孙若文(1997—),女,硕士生

通信作者: 尹涛 E-mail: yintao@mail.hzau.edu.cn

表 1 洁蛋全产业链节点 4M1E 信息表

Table 1 4M1E information sheet of clean eggs' full industry chain node

主节点	子节点	信息记录
养殖	种蛋	人员:姓名,健康状况等
	孵化	机器:照蛋器,熏蒸器,孵化器,出雏器,加湿器,温控器等
	养殖	物料:饲料组成,水质,用药种类等
	产蛋	法规:蛋鸡标准化示范场验收评分标准,饲喂间管理制度等 环境:温度,湿度,洁净度,光照,风速等
收储	入库	人员:姓名,健康状况等
	贮藏	机器:运输车牌号,加湿器,温控器,熏蒸器等
	出库	物料:批次及编号,破损率,鲜蛋质检等 法规:出入库管理规范,冷库人员值班管理制度等 环境:温度,湿度,风速,照明系统,洁净度,氧气含量等
加工	接收	人员:姓名,健康状况等
	清洗	机器:清洗机,消毒器,风干机,涂膜机,分级机,包装机,温控器,加湿器等
	干燥	物料:批次及编号,破损率,鲜蛋质检,成品质检等
	涂膜	法规:蛋制品卫生操作规范,鲜蛋卫生标准,禽蛋清洗消毒分级技术规范等
	分级	环境:温度,湿度,洁净度,虫蚁等
流通	包装	
	接收	人员:姓名,健康状况等
	运输	机器:运输车牌号,温控器,加湿器等
	下货	物料:成品质检,批次及编号,破损率等 法规:食品经营许可管理办法,农产品质量安全法等 环境:温度,湿度,洁净度,虫蚁等

储、加工、流通 4 个主节点来建立 E-R 图(实体-联系模型),如图 1 所示。

养殖主节点可分为以下几个子节点:种蛋、孵化、养殖、产蛋(表 1)。在种蛋子节点中,涉及到的人员包括抽检员、管理员等,采集人员信息包括姓名,健康状况等;涉及到的机器包含检测设备,照蛋器、温控器、加湿器、风机等;物料信息应包括种蛋状况和数量等信息,包括重金属含量、兽药残留、抗生素残留等;种蛋子节点遵循种蛋接收和贮藏管理制度;环境指标包括温度、湿度等。孵化子节点中,以原料蛋为物料,设计采集原料蛋的品质和环境参数 2 个关键指标,品质检测包括重金属含量、兽药残留、抗生素残留等,监测环境信息如湿度、温度、空气状况等信息,孵化设备包括温控器、加湿器、翻蛋器、空气检测器,孵化场应符合蛋鸡标准化示范场验收评分标准^[9]。养殖子节点检测饲料的兽药残留量及重金属含量,防止影响雏鸡的生长发育,监测饮用水中是否有农兽药残留,包

括用药管理等。在产蛋子节点,同样需要检测蛋品的理化指标值及环境条件。在原料种蛋暂存的环境方面,通过监控环境的温度、湿度、氧气浓度和洁净度级别几个关键指标,设计使用温控器、加湿器、熏蒸器和空气质量检测器等机器设备来检测指标值。

贮藏主节点包含以下子节点:入库、贮藏、出库。需采集入库人员和出库人员的姓名、编号及健康信息,使用温控器、加湿器等监测环境指标值,如温度、湿度和洁净度等,采集蛋品指标如色泽、滋味、气味、状态、污染物、微生物等,贮藏过程应遵循《中华人民共和国农产品质量安全法》。

加工主节点包含以下子节点:接收、清洗、干燥、涂膜、分级、包装。加工过程同样需要采集加工人员信息,如姓名、健康状况等,在加工节点中用到的设备,例如敲蛋机、清洗机、灭菌机、烘干机、分级机、涂膜机、包装机等,设计采集这些机器工作的功率等用来确定最佳工艺条件值。以灭菌机

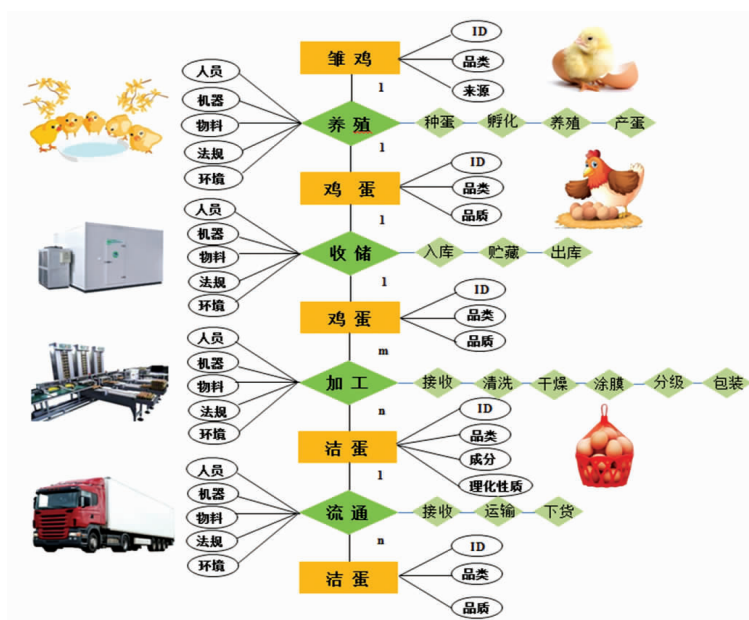


图1 E-R图(实体-联系模型)

Fig.1 E-R diagram

为例,有些企业采用紫外杀菌技术,需要确定杀菌强度及杀菌时间来保证杀菌工作的进行。在加工过程中,设置温控器、加湿器等检测环境指标值,加工规章制度应符合GMP、HACCP、GHP、SSOP规范,原料信息和品质应符合《食品安全国家标准蛋与蛋制品》中规定的要求(GB 2749-2015)^[10],产品抽检应包含重金属、药残、毒素和微生物等信息。

流通主节点包含以下子节点:接收、运输、下货。过程中涉及到装货人员、卸货人员、销售人员,分别采集姓名、编号、健康状况等信息,运输时需采集运输车编号等信息,检查蛋品的质检报告、破损率等,监测温度、湿度、洁净度等环境指标,流通过程遵循食品经营许可管理办法和农产品质量安全法。

2 HACCP分析

利用HACCP对洁蛋全产业链的各节点可能出现的危害进行分析和评估^[7-8],在出现问题前采取纠正措施,减少危害发生的概率,具有预防性,降低安全控制成本^[11]。

蛋品表面易残留沙门氏菌,沙门氏菌是一种常见的食源性致病菌,是洁蛋全产业链中必须预防的一种病原体^[12]。人们食用被沙门氏菌污染的

蛋品后出现食物中毒的症状,如恶心、呕吐、腹泻等,危害身体健康,如2020年广东省卫生健康委发布一起公共卫生事件^[13],珠海市有48人因食用被沙门氏菌感染的鸡蛋导致食物中毒,因此严格监控微生物数量极其重要。

2018年对鸡蛋的国家食品安全监督抽检结果分析显示,样品不合格率为5.88%,不合格原因是检出禁用氟苯尼考、恩诺沙星等兽药^[14]。若长期食用兽药残留的蛋品,危害因子在人体内蓄积,会致癌、致畸、致突变等,对人类有严重的毒害作用^[15]。蛋品中兽药残留来源于被污染的饲料、水源等,不遵守休药期或者兽药本身存在质量问题也会导致兽药残留^[16],因此在生产过程中严格把控兽药残留的检测过程,确保蛋品质量安全。

2020年,国内共报道7起禽流感疫情。最近的一次于2021年4月12日,农业农村部新闻办公室发布,辽宁省沈阳市发生野禽H5N6亚型高致病性禽流感疫情^[17],由于禽流感严重时可引发重症肺炎、多脏器功能衰竭等,病死率较高,危及人的生命。同时禽流感具有传染性,不仅可以通过禽类直接传染给人,而且还存在人与人之间传播的可能性,在生产过程中要严加防范。

在养殖主节点中,种蛋和养殖子节点为关键控制点。种蛋可能携带禽流感病毒,进入孵化子节

点后,将传染给蛋鸡和洁蛋,造成安全危害,该危害在后续的主节点和子节点中无法消除。应该在种蛋接收时做质量检测,合格的种蛋方能进入孵化子节点。

在养殖子节点中,农药、兽药可能污染饲料和饮用水,导致蛋鸡体内出现兽药残留的情况,会传染给原料蛋和成品洁蛋。采取预防措施,严格控制养殖场的环境条件值,如温度、湿度等,防止有害微生物生长繁殖,监测蛋品表面的微生物数量,同时通过灭菌将微生物的数量控制在安全范围内,并及时剔除携带病毒、农兽药残留的蛋品。

在收贮主节点中,贮藏子节点为关键控制点。收贮环境的条件不达标,如温度过高,湿度过大,

洁净度不佳等,使得蛋品表面的微生物迅速生长繁殖,也可能通过气孔进入到蛋品内部,影响蛋品安全。因此通过严格控制收贮条件及存放时间,设置贮藏环境的指标值,如温度、湿度、洁净度等,可以预防蛋品表面残留的微生物生长。

在加工过程中,消毒子节点为关键控制点。在该子节点中,需要专门的物理、化学等方式杀灭蛋壳表面的致病菌,致病菌消灭不彻底将在流通过程中大量繁殖,并最终危害食品安全。在流通过程中,控制好收贮时的环境指标值,防止因贮藏条件不佳导致洁蛋受二次污染、微生物生长繁殖,影响蛋品的食用安全。

表2 洁蛋全产业链各节点安全危害及关键点分析

Table 2 Analysis on the safety hazards and key points of each link in the entire industrial chain of clean eggs

主节点	子节点	可能危害	危害来源	是否为关键控制点	预防措施
养殖	种蛋	生物:病毒(如禽流感病毒)等;化学:蛋类中兽药(如洛美沙星、氧氟沙星等),重金属	蛋鸡养殖过程中操作不当,未按要求执行休药期,用药不当,水质受到兽药污染等	是	接收前做好检验
	养殖	生物:禽流感病毒等;化学:洛美沙星、氧氟沙星等,重金属	环境感染 饲料、水	是	严格执行休药期及用药标准;养殖环境符合规范;定期监测水和饲料
收贮	贮藏	生物:微生物(如沙门氏菌、大肠杆菌等)	存放时间过长,环境条件不符合收贮要求	是	严格控制收贮环境的条件及存放时间,加强卫生管理以及温度、湿度的检测
加工	消毒	生物:微生物(如沙门氏菌、大肠杆菌等)	灭菌不彻底或者灭菌后被环境中的有害菌污染	是	严格按照操作要求灭菌,加强车间的卫生管理
流通	贮藏	生物:微生物(如沙门氏菌、大肠杆菌等)	存放时间过长,环境条件不符合收贮要求	是	控制环境条件,如温度、湿度、光照等,记录贮藏时间

3 数据的采集

通常将数据分为结构化数据和非结构化数据,结构化数据通常指数据或者统一的结构,如数字、符号等,非结构化数据指数据结构不规则或者不完整,包括图像、音频、视频、XML、HTML等^[18]。在洁蛋全产业链中结构化数据包含兽药残留、微生物数量、重金属含量等,温湿度传感器采集到的数据,如温度、湿度值也为结构化数据;食品安全快检仪检测出的数据,如微生物含量、农药残留值

均为结构化数据;非结构化数据包含如摄像头拍到的影像、蛋品状态等。

数据采集是指从数据生成环境中提取原始数据的过程^[19]。数据采集主要利用RFID、传感器、快检仪、摄像头和其它智能终端定期自动采集信号、图片或录像^[20-21],通过硬件接口和软件接口人工录入数据库,实现全链条数据共享。洁蛋全产业链中应采集数据的检测对象、主要指标、检测周期、检测标准和检测单位,如表3所示。

表3 洁蛋生产全链条数据采集信息表

Table 3 Clean eggs production chain data collection information sheet

节点名称	检测对象	主要指标	检测周期	检测标准	检测单位
养殖	种蛋	色泽、气味、状态、污染物、农药残留、兽药残留、微生物(菌落总数、大肠菌群等)	每批	GB 2749、GB 4789等	第三方机构
	饲料	砷、铅、汞、镉、铬、氟、亚硝酸盐、黄曲霉毒素 B1、赭曲美毒素 A、玉米赤霉烯酮	每批	GB/T 13079、GB/T 13085、NY/T 2071、GB/T 30957、NY/T 2017等	第三方机构+自检
收贮	原料蛋	色泽、滋味、气味、状态、污染物、农药残留、兽药残留、微生物(菌落总数、大肠菌群等)	每批	GB 2749、GB 4789等	第三方机构+自检
加工	原料蛋	色泽、气味、状态、污染物、农药残留、兽药残留、微生物(菌落总数、大肠菌群等)	每批	GB 2749、GB 4789等	第三方机构+自检
	洁蛋	色泽、滋味、气味、状态、污染物、农药残留、兽药残留、微生物(菌落总数、大肠菌群等)	每批	GB 2749、GB 4789等	第三方机构+自检
流通	洁蛋	色泽、滋味、气味、状态、污染物、农药残留、兽药残留、微生物(菌落总数、大肠菌群等)	每批	GB 2749、GB 4789等	第三方机构+自检

4 质量安全风险评估

4.1 风险计算

基于大数据与人工智能按照节点对洁蛋全产业链进行风险分析与评估,建立风险管理制度,在洁蛋生产过程中,将风险可能造成的不良影响减至最低。

4.1.1 相对风险值^[22] 单项指标的相对风险值为:

$$P_{mn} = \frac{f}{e} \quad (1)$$

式中, P_{mn} ——第 m 个节点第 n 个指标的相对风险值; e ——指标关键限值; f ——实测值; m ——第 m 个节点。 $m=1, 2, 3, \dots, h$; h ——节点个数; n ——第 m 个节点的第 n 个指标。 $n=1, 2, 3, \dots, i$; i ——指标个数。当 $P_{mn} < 1$ 时,该单项指标检测合格。当 $P_{mn} \geq 1$ 时,该单项指标检测超标。

4.1.2 风险指数 节点的风险指数,采用最大值法:

$$F_m = [P_{mn}]_{\max} \quad (2)$$

式中, F_m ——第 m 个控制点的风险指数; P_{mn} ——第 m 个节点第 n 个指标的相对风险。

4.1.3 综合风险指数 全链条的综合风险指数,采用最大值法:

$$F = [F_m]_{\max} \quad (3)$$

式中, F_m ——第 m 个控制点的风险指数; F ——全链条的综合风险指数。

4.2 风险等级

4.2.1 风险等级 采用危害程度、事件发生率和后果严重性的三维评价法,各划分为高、中、低3个等级,根据相对风险值得风险程度分值,风险状态描述见表4。

表4 风险状态描述表

Table 4 Risk status description table

分值	危害程度(A)	年均发生频次(B)	毒理学风险(C)
高	≥ 0.9	已知会发生;经常发生。 ≥ 1	急性、亚急性或慢性危害后果。 ≥ 0.9
中	0.7~0.9	可能发生;曾经报道过。0.6~1.0	导致较轻微的疾病或健康隐患;导致产品召回或顾客投诉。0.7~0.9
低	≤ 0.7	几乎不可能发生;不应该发生。 ≤ 0.6	微不足道的,最小的影响。 ≤ 0.7

注:节点的危害程度A为该节点的风险指数 F_m ;成品的危害程度A为综合风险指数。

4.2.2 风险等级的确定

$$D=0.4A + 0.2B + 0.4C \quad (4)$$

式(4)可用于节点或成品的风险评估,将风险

等级划分为 1 级、2 级、3 级和 4 级,风险等级及其描述如表 5 所示。

表 5 风险等级及其描述表

Table 5 Risk level and its description table

风险等级	4 级	3 级	2 级	1 级
风险描述	低风险	中等风险	高风险	极高风险
风险得分(D)	< 0.7	0.70~0.79	0.80~0.89	≥0.90
其它条件	A<0.8	A<0.9	A ≥ 0.9, B ≥ 1	B ≥ 2, 或 A ≥ 1, 或 D ≥ 0.8 且 C ≥ 0.9

4.3 风险分析

4.3.1 风险数据获取 利用走访企业收集到的实测数据,如以成品洁蛋各危害因子【污染物、菌毒素(黄曲霉毒素)、农残(吡蚜酮)】的实测值为基

础,参考国家标准限值,以正态分布随机生成模拟数据^[23](表 6)。基于相对风险值、风险指数、综合风险指数,采用最大值法、多指标组合,对关键控制点成品洁蛋进行风险评估预警^[24]。

表 6 基于正态分布规律的 Excel 模拟计算

Table 6 Excel simulation calculation based on normal distribution law

风险评估模拟实验									
抽样次数	100 次								
节点	洁蛋 j=6								
	指标数 n=9(i=1,2,3,4,5...n)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	铅/ mg·kg ⁻¹	镉/ mg·kg ⁻¹	汞/ mg·kg ⁻¹	砷/ mg·kg ⁻¹	黄曲霉 毒素 B1/ μg·kg ⁻¹	苯甲酸/ g·kg ⁻¹	山梨醇/ g·kg ⁻¹	六六六/ g·kg ⁻¹	滴滴涕/ g·kg ⁻¹
国标	0.2	0.1	0.02	0.2	10	1	0.1	14.5	15
平均值	0.165	0.0825	0.0165	0.165	8.25	0.825	0.0825	11.9625	12.375
标准差	0.01	0.005	0.001	0.01	0.5	0.05	0.005	0.725	0.75
1	0.17730	0.08620	0.01602	0.17698	8.30874	0.82151	0.09105	11.73642	13.10032
2	0.16478	0.08333	0.01805	0.17057	8.66601	0.85903	0.08734	11.09578	12.64632
3	0.16657	0.07563	0.01721	0.17895	7.76294	0.86441	0.07824	12.06811	12.27582
4	0.15029	0.09031	0.01619	0.16910	7.47904	0.73076	0.07928	11.23058	11.05468
5	0.14341	0.08492	0.01577	0.15806	8.0968	0.87474	0.08280	11.85533	12.58338
...

抽样次数:依据洁蛋加工实际情况,每小时抽样检测 1 次,按每天生产 10 h,即每天抽样 10 次,1 年按加工生产 100 d 计算,总计抽样次数 1 000 次。因此,模拟抽样 1 000 次,即是模拟洁蛋加工整个年度的危害因子检测风险状态。

平均值与标准差:重金属铅平均值与标准差根据实际检测数据计算得到,其它危害因子,假设根据重金属平均值、标准差与限值等比例得到。

4.3.2 风险分析 通过影响模型的因素研究,确

定了以正态分布随机生成数据值,计算出 P_m 值,以最大概率法则算法,计算出 F_m 值,通过 Excel 模拟计算,最终绘制出风险指数概率图,如图 2 所示。 $F_m \geq 1$ 的概率稳定在 0.1% 左右,当 k 取 0.95 时, $k \leq F_m \leq 1$ 的概率为 6.3% 左右,当 k 取 0.9 时, $k \leq F_m \leq 1$ 的概率为 39% 左右,当 k 取 0.85 时, $k \leq F_m \leq 1$ 的概率为 51% 左右,分析可以得到结论: k 值越小,预警越频繁,风险评估与预警模型的可靠性越差。当 $k=0.95$ 时,风险评估与预警模型既较

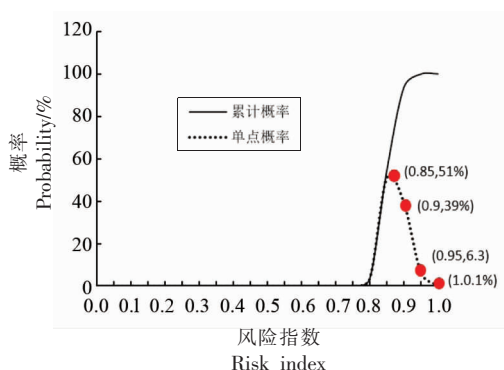


图2 风险指数概率图

Fig.2 Risk index probability chart

稳定,可靠性较高,又有助于洁蛋安全事件的提前防范。

4.4 风险控制

根据风险状况,采取相应的纠偏措施。通过建立风险评估与预警模型,了解到洁蛋的安全问题集中在养殖环节,如饲料里的兽药残留,抗生素残留超标,不按照规定执行休药期等,都会影响洁蛋的安全性及品质,因此严格控制养殖环节的风险指标值极为重要,如湖北神丹健康食品有限公司采用“公司+养殖场+标准化”的合作养殖模式,统一供料和统一防疫管理,采用中药保健饲料,从根本上减少兽药残留的现象,同时对合作的养殖户配置安全管理员,定期查看用药用量情况^[25],多方面采取措施降低洁蛋生产的风险值。监管部门作为食品风险检测的主体单位,根据风险值提前采取监测手段,企业也可以与监管部门合作,加强风险预防工作,找到导致风险的原因,采取措施规避风险发生。

5 洁蛋安全监管设计

洁蛋质量安全监管包括洁蛋全产业链自身的质量安全智能管理系统和外部监管机构两种监管体系。洁蛋质量安全智能管理系统目的在于多角色、多环节、多要素的把控质量安全问题,并应用于洁蛋的安全溯源。利用大数据、人工智能等技术搭建食品安全大数据平台,拓展食品风险预警方法,事先预警风险发生^[26],实现质量安全大数据的采集与分析、质量安全风险评估、质量安全管理、溯源、应急处理等功能^[27]。

5.1 洁蛋质量安全智能管理系统

搭建洁蛋全产业链架构,了解到洁蛋生产中的关键指标及风险值,在真实数据的基础上利用正态分布函数计算得到模拟数据,在安全管理系统中录入关键指标信息,该系统可以实现食品质量安全预警功能,对照之前设定的安全指标分析参数,参照相应的国家安全生产标准和行业、企业的自身管理标准法规,自动生成洁蛋质量风险评估图,生产一线的实时数据在线反馈给监管层,如果指标值超标,系统发出预警,公司可以及时采取措施降低风险,实现安全生产。例如发现蛋品中存在兽药残留,微生物数量超标等问题,系统自动发出警告,检测样品的危害因子,直至发现危害源头,确定危害样品和责任人,排查安全隐患,及时发现问题,整改问题,为洁蛋安全生产提供保障^[9]。

智能管理系统可以有效提高企业生产管理效率和蛋品的质量安全,也大大提升了政府监管部门的工作效率,对提高企业的食品安全信用,增强消费者的食品安全信心和政府监管具有较大意义。

5.2 外部监管机构系统

作为第三方,外部检测机构可以得到比自检更权威、更具公信力的检测报告,其中包括检测结果、检测人员的基本信息。构建外部监管机构系统录入检测机构的基本信息,及相应的检测报告、送检时间等,对外部检测机构做好信息记录,同大数据安全管理平台共同形成洁蛋溯源质量安全监管体系。

6 安全控制系统设计与实现

6.1 系统架构设计

基于全产业链技术搭建洁蛋溯源平台,洁蛋全产业链节点信息采集和分析系统整体架构主要包括功能层、业务处理层、数据处理层、数据采集层以及基础资源层5个层次,详见图3。基础资源层包括检测设备的输出、关系型数据管理系统、实验室模拟仿真数据系统及第三方接口来源数据,通过简单网络管理协议(SNMP)数据采集技术、Teinet/SSH远程数据采集技术、Agent/apt采集等进行采集数据,随后经过数据采集层将数据进行分类,数据处理层进行分析;业务处理层包括监测

配置、资源管理、业务管理、查询、告警管理及统计分析,此模块的输出即为功能展现层;功能层包括功能中心、告警视图及系统配置等,用来实现安全控制系统的顺利运转,为蛋品质量安全控制管理

提供保障,功能中心是展示给消费者、养殖户、企业、监管部门、检测机构等的门户,根据应用对象的不同,通过操作界面向不同群体提供个性化服务。

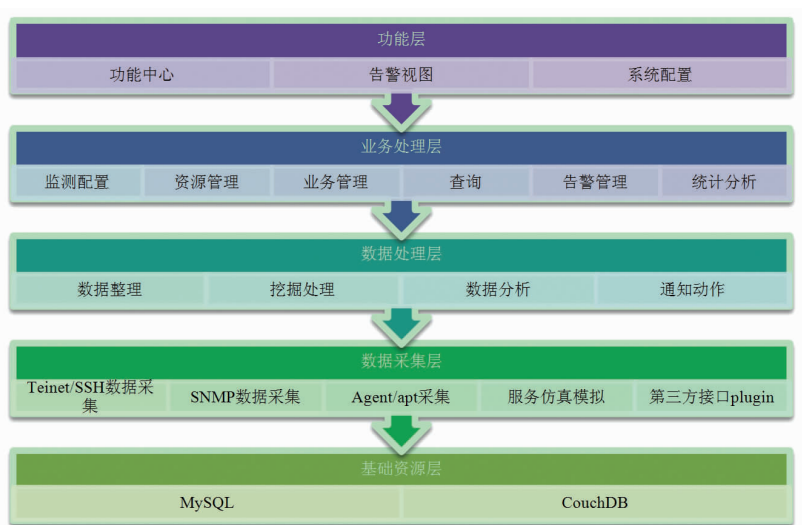


图 3 食品安全数据采集和分析系统整体架构

Fig.3 The overall architecture of the food safety data collection and analysis system

6.2 系统功能

食品安全数据采集和分析系统分为 3 个功能模块,包括管理员系统、企业系统、政府监管系统,系统整体功能设计见图 4。其中管理员系统包括系统管理、管理员账号管理、企业会员管理、监管机构会员管理、产业链管理、知识库管理及统计分析管理等,管理员为有需要的企业或者监管部门等开设账户,设置系统的用户信息,以及负责系统的管理和运营。企业系统包括账号管理、原始数据上传、产业链节点数据采集、风险评估预测、数据溯源等,企业可以设置生产过程中的关键节点及指标,操作人员上传实时监测数据,进行风险评估和预测风险值。一旦发现不合格产品,根据上传的数据可以进行溯源追踪,确定问题来源,对蛋品生产实现高效管控。政府监管系统包括账号管理、监管信息(原始数据、企业排名等信息)、抽检数据录入等。利用政府监管系统对信息分析筛选,更直观的了解企业相关信息,为消费者和企业提供更多有价值的信息,也为政府的质量安全监督工作提供极大便利。运用互联网技术建立全产业链追溯系统,从养殖到餐桌的全链条监控,保障洁蛋安

全^[28]。

6.3 蛋品质量安全溯源系统建设

利用洁蛋全产业链数据,在计算机硬件和大数据的基础上,建立洁蛋质量安全溯源系统^[29],更好的实现对洁蛋的管理和监控。洁蛋质量安全溯源系统包括养殖管理系统、食品生产智能监测系统、规范操作卫生环境监控系统等,参考陶启的研究方法^[4],构建“云+管+端”的构架,如图 5 所示。其中“云”是指大数据云平台,将收集的蛋品数据存储的平台信息库,采用数据分析计算等来进行风险评估、预测预警以及追踪溯源、洁蛋品质分析等。“管”即企业管理,通过云平台实时监控生产情况,生产管理系统和加工管理系统及时对可能产生风险的参数值进行调整,贮运管理系统对蛋品运输过程中的环境条件进行监控,温度过高,湿度大,温度变化快等都会不同程度的影响蛋品品质,通过管理系统可以有效把控最佳贮运条件,最大程度保证蛋品品质。“端”即信息采集端口,通过不同的传感器在全产业链主节点中收集指标信息,降低管理成本及人力成本,减少人工记录带来的误差,提高准确值^[30]。在生产过程中,通

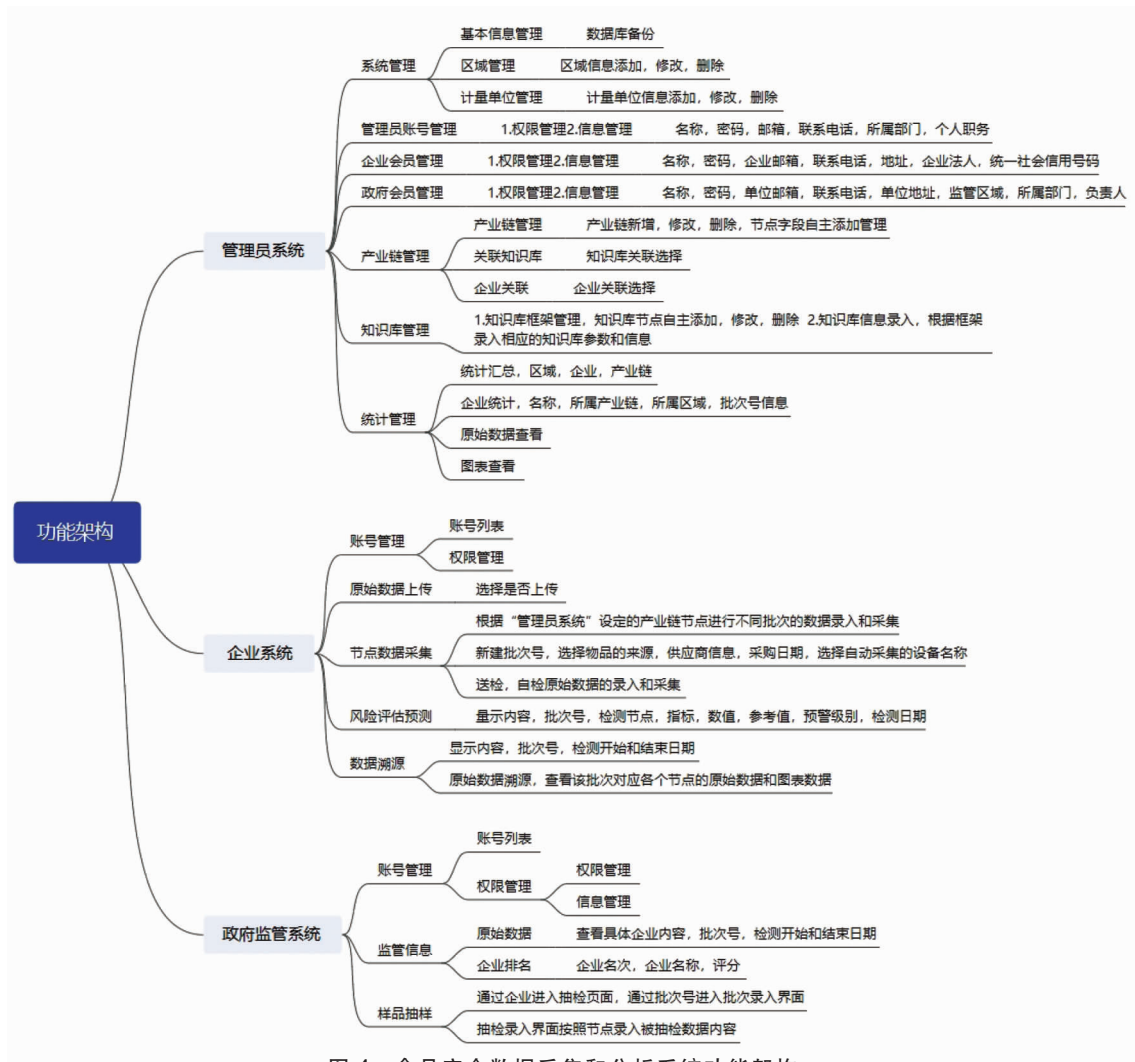


图 4 食品安全数据采集和分析系统功能架构

Fig.4 Functional architecture of food safety data collection and analysis system

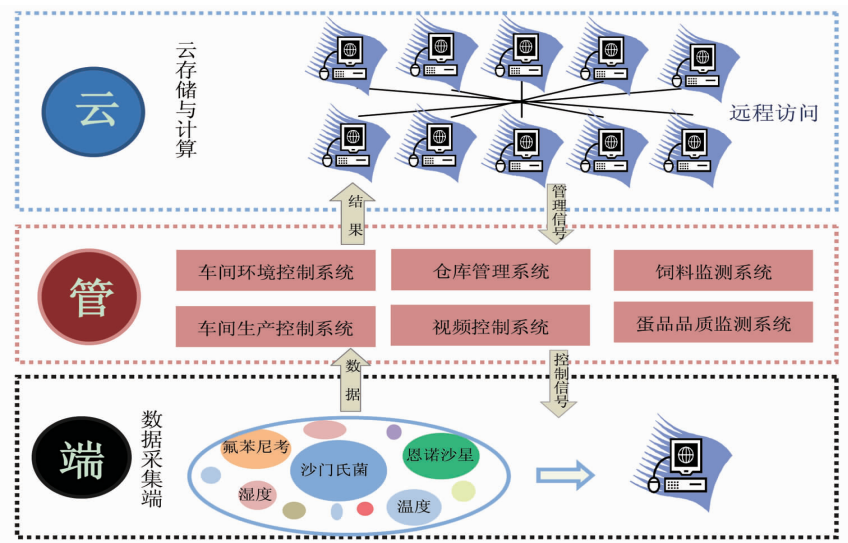


图 5 安全管理大数据云平台

Fig.5 Security management big data cloud platform

过温度传感器、湿度传感器、摄像头等监控生产一线的情况,加工时利用电子标签、微生物监测芯片、温度传感器收集生产信息,提供精准、高效、全面地蛋品安全大数据服务。具体数据采集类型、方法参考表3。

7 总结

近年来,洁蛋食品安全事件在欧洲和我国频发,引发政府部门和消费者担忧。食品全产业链涉及食品原料到消费的各个环节,食品危害可能在各个环节产生,也可能在上游环节产生后向下传递并最终危害消费者的生命健康。对各个环节分类监管,存在检测、监管成本大,溯源难度大等问题。本课题研究中将洁蛋全产业链划分为养殖、收贮、加工和流通4个主节点,在各主节点下设立关键子节点。通过4M1E法对全产业链进行全要素分析,进一步通过HACCP确定主要危害和关键控制点,建立风险评估方法,利用信息化技术构建蛋品安全管理平台和控制,从多维度监管蛋品的质量安全,可望降低管理成本,实现精准溯源。

参 考 文 献

- [1] 罗云波. 禽蛋大国的蛋品安全问题探析[J]. 农产品加工, 2010(11): 6-7.
LUO Y B. An analysis of the egg product safety issues in the largest poultry and egg countries[J]. Processing of Agricultural Products, 2010(11): 6-7.
- [2] 许洪, 许凌逸冲. 优质稻米全产业链绿色生产模式示范与实践[J]. 农业科技通讯, 2021(4): 24-26.
XU H, XU L Y C. Demonstration and practice of green production mode of high-quality rice industry chain[J]. Agricultural Science and Technology Newsletter, 2021(4): 24-26.
- [3] 湖北广电融媒体. 关于培育壮大农业产业化龙头企业的意见[EB/OL]. (2021-04-03)[2021-06-09] <https://mp.weixin.qq.com/s/JcBXuaKS6tDvvJYPE8-Ukg>. Hubei Radio and Television Financial Media. Opinions on cultivating and expanding leading enterprises in agricultural industrialization [EB/OL]. (2021-04-03)[2021-06-09] <https://mp.weixin.qq.com/s/JcBXuaKS6tDvvJYPE8-Ukg>.
- [4] 陶启, 崔晓晖, 赵思明, 等. 基于区块链技术的食品质量安全管理系统及在大米溯源中的应用研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(12): 102-110.
- TAO Q, CUI X H, ZHAO S M, et al. Research on food quality and safety management system based on blockchain technology and its application in rice traceability[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(12): 102-110.
- [5] 魏立斐, 朱嘉英, 衡旭日, 等. 基于区块链技术和HACCP管理的智能化水产品质量安全溯源系统的设计与实现[J]. 渔业现代化, 2020, 47(4): 89-96.
WEI L F, ZHU J Y, HENG X R, et al. Design and implementation of an intelligent aquatic product quality and safety traceability system based on blockchain technology and HACCP management[J]. Fishery Modernization, 2020, 47(4): 89-96.
- [6] 刘艳平. 浅谈4M1E法在印刷生产现场管理中的规范应用[J]. 印刷杂志, 2020(5): 4-6.
LIU Y P. A brief talk on the standard application of 4M1E method in printing production site management[J]. Print Magazine, 2020(5): 4-6.
- [7] 赵同钢, 徐科. 食品企业危害分析与关键控制点(HACCP)质量控制体系[M]. 北京: 经济管理出版社, 2003.
ZHAO T G, XU K. Food enterprise hazard analysis and critical control point (HACCP) quality control system [M]. Beijing: Economic Management Press, 2003.
- [8] LELIEVELD H L M, MOSTERT M A, HOLAH J. Handbook of hygiene control in the food industry[M]. London: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2005: 19-21.
- [9] 张兆顺. 浅析鸡的机器孵化中几个关键技术[J]. 现代畜牧科技, 2020(8): 25-26.
ZHANG Z S. Analysis of several key technologies in machine incubation of chickens[J]. Modern Animal Husbandry Technology, 2020(8): 25-26.
- [10] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 蛋与蛋制品: GB 2749-2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 3-5.
National Health and Family Planning. National food safety standard of eggs and egg products: GB 2749-2015[S]. Beijing: China Standards Press, 2015: 3-5.
- [11] WALLACE C A, HOLYOAK L, POWELL S C, et al. HACCP the difficulty with hazard analysis [J].

- Food Control, 2014, 35(1): 233-240.
- [12] 黄选洋, 罗静如, FREEK T. 蛋鸡预防感染沙门氏菌的重要性[J]. 国外畜牧学(猪与禽), 2019, 39(12): 40-43.
- HUANG X Y, LUO J R, FREEK T. Importance of preventing salmonella infection in laying hens [J]. Foreign Animal Husbandry (Pig and Poultry), 2019, 39(12): 40-43.
- [13] 广东省卫生健康委员会. 广东省卫生健康委公布2020年10月全省突发公共卫生事件信息[EB/OL]. (2020-11-13)[2021-06-09] http://wsjkw.gd.gov.cn/zwg-k_zwwgk_jgk/content/post_3126190.html.
- Guangdong Provincial Health Commission. Guangdong Provincial Health Commission announces information on public health emergencies across the province in October 2020[EB/OL]. (2020-11-13)[2021-06-09] http://wsjkw.gd.gov.cn/zwgk_zwwgk_jgk/content/post_3126190.html.
- [14] 吕冰峰, 刘敏, 裴新荣. 2018年鸡蛋的国家食品安全监督抽检结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(1): 319-323.
- LV B F, LIU M, PEI X R. Analysis of the results of the national food safety supervision and sampling inspection of eggs in 2018[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2020, 11(1): 319-323.
- [15] 罗成. 鸡蛋中镉、铬、铅快速检测技术研究及风险监测[D]. 雅安: 四川农业大学, 2017.
- LUO C. Research on rapid detection technology and risk monitoring of cadmium, chromium and lead in eggs[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2017.
- [16] 滑朝红. "公司+经销商+农户"生产模式下商品肉鸡饲养的 HACCP 探讨[D]. 郑州: 河南农业大学, 2009.
- HUA Z H. Discussion on HACCP of commercial broiler breeding under the production model of "company + dealer + farmer"[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2009.
- [17] 中华人民共和国农业农村部. 辽宁省沈阳市发生野禽 H5N6 亚型高致病性禽流感疫情[EB/OL]. (2021-04-05)[2021-06-09]. http://www.moa.gov.cn/gk/yjgl_1/yqfb/202104/t20210412_6365683.html.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. A wild bird H5N6 subtype highly pathogenic avian influenza outbreak occurred in Shenyang City, Liaoning Province[EB/OL]. (2021-04-05)[2021-06-09]. http://www.moa.gov.cn/gk/yjgl_1/yqfb/202104/t20210412_6365683.html.
- [18] 王瑞, 宋梦佳, 刘磊, 等. 基于大数据的决策支持平台建设研究[J]. 中国管理信息化, 2021, 24(7): 99-101.
- WANG R, SONG M J, LIU L, et al. Research on the construction of decision support platform based on big data[J]. China Management Information Technology, 2021, 24(7): 99-101.
- [19] 李学龙, 龚海刚. 大数据系统综述[J]. 中国科学: 信息科学, 2015, 45(1): 1-44.
- LI X L, GONG H G. Overview of big data system [J]. Science in China: Information Science, 2015, 45(1): 1-44.
- [20] ZHU W, LU H, CUI X. Distributed relation discovery in internet of things [C]. 2014 International Conference on Cloud Computing and Big Data (CCBD), 2014: 39-46.
- [21] ZHU W, CUI X, HU C, et al. Complex data collection in large-scale RFID systems[C]. 2014 International Conference on Smart Computing (SMART-COMP), 2014: 25-32.
- [22] 郭允栋, 贾才华, 张宾佳, 等. 基于食用植物油加工环节安全风险评估方法的研究[J]. 中国食品学报, 2021, 21(7): 276-282.
- GUO Y D, JIA C H, ZHANG B J, et al. Research on safety risk assessment method based on the process of edible vegetable oil [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(7): 276-282.
- [23] SINHA P, LAMBERT M B, TRUMBULL V L. Evaluation of statistical methods for left-censored environmental data with nonuniform detection limits[J]. Environmental Toxicology and Chemistry / SETAC, 2006, 25(9): 2533-2540.
- [24] MA Y, HOU Y, LIU Y, et al. Research of food safety risk assessment methods based on big data[C]. IEEE International Conference on Big Data Analysis. IEEE, 2016.
- [25] 张再明, 王莹, 李成凤, 等. 规模化笼养蛋鸭新技术及“公司+农户”无抗养殖新模式[J]. 养殖与饲料, 2020(1): 5-7.
- ZHANG Z M, WANG Y, LI C F, et al. New technology of large-scale cage-raising of laying ducks and a new model of "company + farmer" non-resistant breeding[J]. Cultivation and Feed, 2020(1): 5-7.
- [26] 王建伟, 宋峰, 张浩. 区域食品安全检测及风险预

- 警系统设计与实现[J]. 电子技术与软件工程, 2020(13): 172-173.
- WANG J W, SONG F, ZHANG H. Design and implementation of regional food safety detection and risk early warning system[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2020(13): 172-173.
- [27] YANG W, CUI X, LIU J, et al. Identification of potential collective actions using enhanced gray system theory on social media[J]. IEEE Access, 2016, 99: 1.
- [28] 杨宏园. 浅谈食品产业与网络技术的结合应用——以“食品安全溯源体系”为例[J]. 食品安全导刊, 2020(27): 153.
- YANG H Y. Talking about the combined application of food industry and network technology——Taking "food safety traceability system" as an example[J]. Food Safety Guide, 2020(27): 153.
- [29] TIAN F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology [C]. 13th International Conference on Service Systems and Service Management, 2016.
- [30] 徐睿, 孙霞, 郭业民, 等. 基于区块链技术的食品安全溯源体系应用于研究进展[J]. 食品质量安全检测学报, 2020, 11(20): 7610-7616.
- XU R, SUN X, GUO Y M, et al. Research progress in the application of food safety traceability system based on blockchain technology[J]. Journal of Food Quality and Safety Testing, 2020, 11(20): 7610-7616.

The Design and Implementation of the Safety Control System for the Entire Industrial Chain of Clean Eggs Based on 4M1E and HACCP

Sun Ruowen, Zhao Siming, You Juan, Yin Tao*

(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

Abstract Eggs, rich in nutrition, are favored by consumers. However, in recent years, food poisoning by *Salmonella*, and events that agricultural and veterinary drug residues exceed the standard occurred frequently, causing people to worry about the safety of clean eggs. Four main nodes in the whole industrial chain of clean eggs, namely breeding, storage, processing, and circulation, were selected to establish an entity-connection model (ER diagram). The total production factors (4M1E) in each sub-node, namely man, machine, material information, method, and environments at each main node were analyzed. Hazard analysis was conducted throughout the whole industrial chain of clean eggs; the critical control points (Critical Control Points, CCPs) determined, corresponding control measures proposed. Data collection specifications were established prior to conducting risk assessment. A security control system was designed for the entire industrial chain of clean eggs, including the quality and safety intelligent management system of clean eggs' entire industrial chain and the supervision system of external regulatory agencies. A system based on the "cloud + manage + end" logic of clean eggs whole industry chain traceability platform was established. The research of this subject provides a new idea for food safety control of clean eggs, which is expected to reduce the cost of safety management of clean eggs and achieve accurate traceability.

Keywords clean eggs; safety; 4M1E; HACCP; the entire industrial chain