

戴妍, 陈德会, 刘忠洪, 等. 壳蛋新鲜度评价、影响因素及保持的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 495–502. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070207

DAI Yan, CHEN Dehui, LIU Zhonghong, et al. A Review of Egg Freshness Evaluation, Influence Factors and Preservation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(8): 495–502. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070207

· 专题综述 ·

壳蛋新鲜度评价、影响因素及保持的研究进展

戴妍¹, 陈德会¹, 刘忠洪¹, 路蕴¹, 张静¹, 常海军^{2,*}

(1. 重庆化工职业学院, 环境与质量检测学院, 重庆 401228;

2. 重庆工商大学环境与资源学院, 重庆市特色农产品加工储运工程技术研究中心, 重庆 400067)

摘要: 壳蛋新鲜度是衡量壳蛋品质的关键要素, 本文梳理壳蛋新鲜度的评价方法、影响因素以及延缓壳蛋新鲜度指标劣变的方法, 并对未来壳蛋新鲜度的研究方向进行展望。无损检测和有损检测法相结合能客观、动态、实时评价壳蛋新鲜度。蛋鸡年龄、饲料配方、贮运和环境条件等对壳蛋新鲜度影响较大, 选用年轻蛋鸡、全营养饲料配方、低温贮藏、减少贮运过程中机械损伤可较好地维系壳蛋新鲜度特性。杀菌、包装、涂膜法可延缓壳蛋新鲜度指标的劣变, 部分/全部采用绿色、高效、节能型非热杀菌方式, 活性、可生物降解型智慧包装/涂膜技术, 可有效抑制壳蛋微生物繁殖引起的腐败变质, 延缓壳蛋新鲜度指标的劣变。未来壳蛋新鲜度的研究可以围绕无损检测技术、饲料配方、模拟实际生产、贮运销售环节, 优化非热杀菌-包装涂膜技术等开展, 以期为实现壳蛋品质提升与蛋品产业升级提供更多思路。

关键词: 壳蛋, 新鲜度, 评价体系, 影响因素, 劣变

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)08-0495-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070207



本文网刊:

A Review of Egg Freshness Evaluation, Influence Factors and Preservation

DAI Yan¹, CHEN Dehui¹, LIU Zhonghong¹, LU Yun¹, ZHANG Jing¹, CHANG Haijun^{2,*}

(1. Department of Environmental and Quality Inspection, Chongqing Chemical Industry Vocational College, Chongqing 401228, China;

2. College of Environment and Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing Engineering Research Center for Processing, Storage and Transportation of Characterized Agro-Products, Chongqing 400067, China)

Abstract: Shell egg freshness is the key factor of evaluating egg quality. This review summarizes evaluation methods, influence factors of shell egg freshness, methods of retarding shell egg freshness deteriorations and future research directions of shell egg freshness. The results shows that egg freshness can be possibly evaluated by combination of destructive testing technology and non-destructive testing technology in an objective, dynamic and on-line manner. Hen age, diet, storage, transportation and environmental conditions can make a great influence on shell egg freshness. The characteristics of shell egg freshness can be possibly well maintained by adopting young hen, balanced nutrition diets, low temperature storage and avoiding mechanical damages during transportation and storage. Sterilization, packaging and coating methods can probably retard shell egg freshness deteriorations. Partially/totally adopting green, high efficient and energy-saving non-conventional food sterilization methods, and active, biodegradable and intelligent packaging/coating

收稿日期: 2022-07-19

基金项目: 重庆市自然科学基金面上项目 (cstc2019jcyjmsxmX0472); 重庆市教委科学技术研究项目 (KJQN202204504); 大学生创新创业训练计划 (HZY202214315013)。

作者简介: 戴妍 (1986-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 畜产品加工与质量控制, E-mail: daiyanshuhuhu@163.com。

* 通信作者: 常海军 (1980-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 畜产品加工理论与技术和畜产品品质及质量控制, E-mail: changhj909@163.com。

methods can possibly avoid microbial spoilage and retard egg freshness deteriorations during egg preservation. More researches of non-destructive testing technologies, diet formulations, simulating actual production, storage, transportation and sales, as well as optimization of non-conventional food sterilization-packaging and coating technologies need to be further explored, thus achieving quality improvement and industry promotion of shell eggs.

Key words: shell egg; freshness; evaluation methods; influence factors; deterioration

壳蛋生产和消费市场巨大,据最新数据显示,2019 年国内壳蛋消费量达 132 万吨^[1],该产量达到全世界总壳蛋消费产量的 40%,后续伴随着全球人口的增长,壳蛋生产消费还将增加。壳蛋由蛋壳、蛋白和蛋黄组成,它富含多种必需氨基酸,蛋白质量 100% 达到参考蛋白的标准,生物学效价达到 93.7%,具有很高的营养价值和功能特性,可供消费者日常食用和后续加工^[2-4]。然而,壳蛋易受到生产、贮藏、销售、加工等过程的影响,导致其物理、化学、营养与感官特性等食用品质发生不良改变,同时易受到微生物的侵染,引发腐败变质^[5-7]。壳蛋品质最终影响消费者的可接受程度与喜好。壳蛋新鲜度作为衡量壳蛋与蛋制品品质的重要参数,关系到食品工业加工原料与最终产品品质能否达标,同时倒逼蛋品工业升级,为消费者提供高品质壳蛋或蛋制品^[8]。

近年来,为了能更为客观地监测壳蛋品质变化,研究者们主要研究了生产方式、贮藏、运输、杀菌等对壳蛋新鲜度的影响。为更好地评价壳蛋新鲜度,部分研究结合壳蛋新鲜度常规指标,将更多无损检测方法引入到壳蛋新鲜度的评价体系;为进一步提升壳蛋品质,延长货架期,部分研究采用杀菌、涂膜、冷藏、气调包装等方式延缓壳蛋贮藏过程中新鲜度的劣变。目前,国内外关于壳蛋新鲜度的研究,鲜有深入探讨和梳理。因此本文深入剖析壳蛋新鲜度的评价体系,壳蛋新鲜度的影响因素以及延缓壳蛋新鲜度指标劣变的方法,为实现壳蛋品质的提升及蛋品产业升级提供更多思路。

1 壳蛋新鲜度的评价方法

1.1 评价壳蛋新鲜度的常规方法

在绝大多数中国市场,新鲜壳蛋往往不经过加工而直接销售,一般壳蛋从产蛋到最终食用的保质期为 21~28 d。由于影响壳蛋新鲜度的因素较多,给精准预测壳蛋新鲜度增加了难度。其中,衡量壳蛋新鲜度的重要常规参数包括:哈夫单位(Haugh unit)、蛋清 pH、蛋黄指数、浓稀蛋白比例、S-卵白蛋白(S-ovalbumin)含量、失重率、气室内径/高度(Air chamber diameter/height)、壳蛋相对密度、蛋壳厚度、蛋形指数等^[9-12],衡量壳蛋新鲜度的常规参数属于有损检测技术(Destructive testing technology)范畴。这类壳蛋新鲜度常规指标的检测仍然具有不能覆盖壳蛋新鲜度的动态变化、耗时、检测后的壳蛋不能食用等短板。因此,需要辅助无损检测技术(Non-destructive testing technology),从而在线(On line)、动态监测壳蛋新鲜度变化,确保壳蛋生产及质量的标准

化^[13-14]。

1.2 评价壳蛋新鲜度的其他方法

采用无损检测技术监测壳蛋新鲜度的变化,具有快速、不需要进行预处理等诸多的优势,其中主要的检测方法有可见/近红外光谱(Visible/near infrared spectroscopy)、拉曼光谱(Raman spectroscopy)、超声波(Ultrasound technique)、计算机视觉效应(Machine vision)、低场脉冲核磁共振(Low-field nuclear magnetic resonance)、核磁共振成像(Magnetic resonance imaging)、电子鼻(Electronic nose)、介电谱(Dielectric spectroscopy)、脉冲红外热成像(Pulsed infrared thermography)等,如图 1 所示^[5,14-15]。

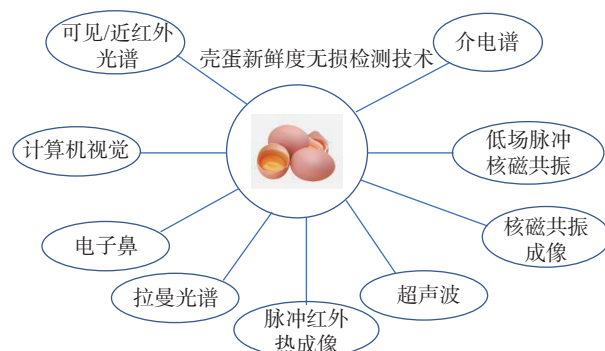


图 1 壳蛋新鲜度的无损检测技术^[14]

Fig.1 Non-destructive method of shell eggs^[14]

由于壳蛋的蛋壳具有致密的气孔,其孔径为 4~40 μm ,具有很好的光散射特性,通过可见/近红外光谱(300~1100 nm),可对与壳蛋新鲜度有关的成分进行有效判别,另外辅助建立预测模型,可以更好地预测壳蛋新鲜度。壳蛋角质层由蛋白质覆盖在蛋壳表面,壳蛋角质层会随着壳蛋新鲜度的变化而发生变化,拉曼光谱($100\sim 3000\text{ cm}^{-1}$)通过采集壳蛋顶端、钝端以及中间位置的角质层情况,从而预测壳蛋新鲜度变化。通过低强度超声波接收信号差异也可以预测壳蛋新鲜度理化指标的变化。壳蛋具有一定的透明度,气室尺寸和蛋黄的椭圆度能够借助透射光识别,借助计算机视觉体系,建立预测模型,从而动态/在线全面监测壳蛋新鲜度变化。电子鼻是识别气味的传感器,它能够精准识别壳蛋腐败过程中产生的不良气味,例如氨氧化物(Ammonia oxides)、烷烃(Alkanes)和醇类(Alcohols)等,通过传感器产生特定信号,后面根据模式识别算法(Pattern recognition algorithms)对壳蛋新鲜度等级进行判别。核磁共振技术包括高场核磁共振和低场核磁共振技术,与高场核磁共振技术相比,低场核磁共振技术采用永久性磁铁结构,无

需配备复杂冷却和保护设备,可节省该设备的生产成本,广泛应用于食品体系,该技术与核磁共振成像技术相结合,通过监测豫弛特性(Relaxation characteristics),从而动态监控壳蛋新鲜度指标的变化。壳蛋含具有导电特性的 73% 水、13% 的水合蛋白质、微量的 Na^+ 和 K^+ , 可通过介电谱(频率 1~200 kHz)预测壳蛋新鲜度变化。脉冲红外热成像技术,则将空间和光谱信息融合,采用高压脉冲热激发成像技术预测壳蛋新鲜度变化。表 1 总结了无损检测技术在壳蛋新鲜度检测的研究现状。

由表 1 可以看出,无损检测技术随着计算机视觉/核磁共振技术成像、预测模型的建立,在壳蛋新鲜度动态监测发挥了很重要的作用,采用无损检测技术可以有效辅助有损检测方式,从而全面监测壳蛋新鲜度变化,但是无损检测技术预测壳蛋新鲜度的精度会受到诸多因素的影响,例如,壳蛋颜色、表面污染物情况、检测位置与检测环境、仪器的响应速度、开发周期与开发成本等^[14],未来无损检测技术还需要根据实际壳蛋新鲜度情况进行调整,在减少开发成本的前提下,提升壳蛋新鲜度预测的精确度。

2 壳蛋新鲜度的影响因素

壳蛋由外面一层薄蛋壳(天然物理屏障)保护内容物免于受到机械损伤与微生物污染,能够减少内容物中水分流失,延缓失重情况。然而蛋壳非全封闭的结构,它存在微小的气孔,可选择性地透过环境中的气体、水分与微生物,不可避免地引起壳蛋新鲜度指标的劣变^[23-25]。例如,失重率、蛋清 pH、气室尺寸、S-卵白蛋白含量增加,哈夫单位、蛋黄指数的下降预示壳蛋新鲜度指标的劣变。影响壳蛋壳蛋新鲜度的因素比较多,主要分为生产因素和环境因素。

2.1 影响壳蛋新鲜度的生产因素

影响壳蛋新鲜度的生产因素主要有:蛋鸡年龄、遗传学因素(genetics)、饲料配方、饲养条件^[23]等,该类生产因素可能从源头上造成壳蛋新鲜度指标的差异。表 2 总结了蛋鸡品种优化、饲料配方和饲养管理等对延缓壳蛋新鲜度指标劣变的情况。简而言之,年轻蛋鸡生产的壳蛋较老年蛋鸡蛋壳较厚、失重率较低。部分区域的壳蛋生产企业对蛋鸡遗传学因素有一定要求,认为纯种(purebred hens)和两用型(dual-purpose hens)蛋鸡可以更好维系动物福利和生物多样性,在消费者群体或市场中占有优势。饲料配方、饲养条件对于壳蛋新鲜度具有重要影响。需要在商品化饲料的基础上,进行有效的营养补充,比如添加抗氧化剂、脂溶性维生素、色素及 Ω -3 型脂肪酸等,提升壳蛋的营养价值、新鲜度及抗氧化特性等。无论是笼养还是自由放养蛋鸡,都面临些许问题,比如笼养蛋鸡生产的壳蛋表面附着粪便,影响清洁度,自由放养型蛋鸡面临饲料供给不足与环境污染情况,因此,可以尝试自由觅食-放养相结合的方式饲养蛋鸡,提升新鲜度指标的同时,需要有效控制环境污染引发的食品安全问题。

2.2 影响壳蛋新鲜度的环境因素

除了饲养环节,壳蛋新鲜度还主要受环境因素(贮运条件)所影响,例如,不合适的贮藏温度和较长的贮藏时间同样会引起壳蛋新鲜度指标的劣变。影响壳蛋新鲜度的环境因素主要有:贮藏环境条件(如贮藏温度和湿度)^[24]和运输条件^[25]等。表 2 总结了贮运过程中壳蛋新鲜度指标变化的情况。总之,在环境因素中,贮运温度、时间及机械振动显著影响壳蛋新鲜度指标,比如在贮藏过程中,蛋清高度和哈夫单

表 1 无损检测技术在壳蛋新鲜度检测的研究
Table 1 Research of non-destructive testing techniques applied to freshness evaluation of shell eggs

分析方法	研究对象	预测壳蛋新鲜度指标	预测算法	最佳预测算法模型精确度	参考文献
可见/近红外光谱 (480~900 nm)	91枚白来航鸡壳蛋	蛋形指数、蛋黄指数、哈夫单位、气室内径和蛋壳厚度	偏最小二乘回归	$R_p=0.891$	[16]
超声波	300枚市售壳蛋分为两组(第1组: 22~25 ℃贮藏;第2组: 5 ℃贮藏)并贮藏5周	失重率、气室高度、浓蛋白高度、哈夫单位、蛋黄高度与直径(蛋黄指数)	超声相对波速与新鲜度指标变化的相关性	-	[15]
拉曼光谱 (100~3000 cm^{-1})	125枚壳蛋蛋壳顶端、中间和钝端表面	哈夫单位、气室内径和蛋清pH	偏最小二乘回归	哈夫单位: $R_p=0.908$, $R_c=0.842$ 蛋清pH: $R_p=0.940$, $R_c=0.941$ 气室内径: $R_p=0.872$, $R_c=0.902$	[10]
	107枚市售新鲜壳蛋	壳蛋质量与体积	线性回归	壳蛋质量: $P=99.88\%$ 壳蛋体积: $P=98.26\%$	[17]
计算机视觉效应	210枚完整市售新鲜壳蛋,于 25 ℃、湿度20%的条件下贮藏30 d	检测蛋黄高度、直径和蛋清pH、蛋黄和蛋清密度、哈夫单位	人工神经网络(非线性回归法)	哈夫单位: $R^2=0.93$ 蛋清pH: $R^2=0.87$	[18]
低场脉冲核磁共振	市售新鲜壳蛋(贮藏0、7 d)	蛋清pH、哈夫单位	-	-	[19]
电子鼻	市售新鲜壳蛋(贮藏0、3、6、9、12、15、18、20 d)	贮藏时间、哈夫单位、气味、感官	偏最小二乘回归	贮藏时间: $R^2=0.9441$ 哈夫单位: $R^2=0.9511$ 气味: $R^2=0.9725$ 感官: $R^2=0.9530$	[20]
介电谱	150枚完整市售白壳蛋	气室尺寸	模型树	$P=87.5\%$	[21]
脉冲红外热成像	18枚市售壳蛋(按尺寸分级)	气室尺寸	-	-	[22]

表 2 壳蛋新鲜度影响因素的研究

Table 2 Research of factors affecting shell egg freshness

影响因素	研究对象	研究结论	参考文献
蛋鸡年龄	海兰褐蛋鸡年龄(21~70周)	随着蛋鸡年龄增加,壳蛋质量、断裂强度和哈夫单位显著下降	[26]
蛋鸡遗传学因素	2种意大利纯种、2种杂交蛋鸡生产的壳蛋,贮藏1~21 d	Robusta maculata蛋鸡生产的壳蛋具有较好的蛋壳厚度,在贮藏期哈夫单位相对稳定	[27]
饲料配方	2种富硒改良饲料配方饲养海兰褐蛋鸡,于4℃贮藏0、14、28 d	0.4 ppm有机硒的原始配方饲养海兰褐蛋鸡具有较高的哈夫单位	[28]
蛋鸡遗传学因素+饲料配方	选用本地和商品化品种蛋鸡,分别采用商品化饲料、玉米/大豆/黑小麦、玉米/小麦饲料饲养	商品化蛋鸡饲喂商品化饲料后,生产出的壳蛋质量最重,蛋壳厚度最厚	[29]
饲料配方	采用3种饲料配方(对照组、添加1、2 g/kg菊花提取物),于4℃贮藏0、28 d	菊花提取物的添加未对壳蛋新鲜度指标有任何负面影响	[30]
饲养条件	将笼养和自由觅食蛋鸡(26周、51周)所产壳蛋贮藏0、7、14和21 d	笼养组蛋蛋壳哈夫单位和壳蛋质量显著高于自由觅食组	[31]
环境变化	采集春季、夏季、秋季、冬季市售新鲜白壳与黄壳壳蛋	夏季壳蛋质量与尺寸显著减少,新鲜度指标下降显著	[32]
贮藏条件	将市售壳蛋进行贮藏时间(2、30 d)和贮藏温度(2、12和25℃)处理	随着贮藏时间的延长、贮藏温度的升高,壳蛋质量、蛋壳质量、蛋清高度、哈夫单位显著下降	[33]
	将壳蛋进行贮藏温度(6、15和22℃)与贮藏时间(3、18和28 d)处理	发现6℃仅引起壳蛋气室和失重率变大	[34]
	探讨机械损伤对壳蛋贮藏新鲜度的影响	破损壳蛋对其他未破损壳蛋的新鲜度指标影响不显著	[35]
	将新鲜罗曼粉壳蛋采用5个贮藏温度-时间变化处理,并贮藏0~30 d	需要尽可能延长壳蛋低温贮藏时间,延缓壳蛋新鲜度的劣变	[36]
运输条件	使用轿车、厢式货车模拟壳蛋实际运输振动情况,并常温贮藏0~21 d	运输中的振动能够加速贮藏期间壳蛋新鲜度的劣变	[25]

位随贮藏温度的升高呈现显著下降的趋势,随着贮藏温度的上高,壳蛋新鲜度的劣变可能与蛋清稀薄化、pH 升高、蛋黄膜弱化与伸展及蛋黄吸水等有关。运输中振动能够加速哈夫单位和蛋黄膜强度的下降,引起壳蛋新鲜度的劣变,因此采用低温冷藏、减少贮运过程中的振动环节(减少振动幅度与振动频率)及时间,可能会延缓壳蛋新鲜度指标的劣变情况。在不能改变壳蛋新鲜度的生产条件(先天因素)下,需要进一步改善壳蛋贮运条件,减少贮藏温度和时间对于壳蛋新鲜度的影响。

由表 2 可以看出,蛋鸡年龄、饲料配方、贮运条件等对壳蛋新鲜度指标影响更为显著。因此采用年轻蛋鸡、营养强化饲料(强化维生素、多不饱和脂肪酸等必需营养元素)^[37]、降低贮运过程中温度、避免运输过程中的机械损伤,可以在一定时期较好地维系壳蛋新鲜度特性,另外在壳蛋贮运方面的研究,还需要更多模拟实际场景,从而更为深入了解壳蛋新鲜度的变化特点。

3 延缓壳蛋新鲜度下降的方法

由于壳蛋表面残留粪便等污染物,易受到食源性致病菌(如 *L. monocytogenes*、*Salmonella enteritidis*)等不良影响^[38-39],往往会造成壳蛋感官、新鲜度指标的劣变,引发食品安全隐患^[40]。因此,除了采用低温冷藏,还需要结合杀菌、包装和涂膜法等,有效抑制微生物引起的腐败变质,延缓壳蛋新鲜度指标的劣变。

3.1 杀菌

基于壳蛋的杀菌方式主要有辐照(irradiation)、微波(microwave)、超声波(ultrasound)、热杀菌(ther-

mal pasteurization)、热-臭氧巴氏杀菌(heat-ozone pasteurization)及化学杀菌(chemical treatment)等,其中辐照、微波、超声波、化学杀菌等属于非热杀菌(non-conventional food sterilization technologies)方式,它和热杀菌方式(thermal sterilization technologies)^[41]一样可以起到抑制壳蛋病原微生物侵害,延缓壳蛋新鲜度指标劣变的作用^[42]。壳蛋传统加热杀菌方式,依靠外部的热传递(巴氏 55℃ 或湿热 57℃),达到蛋壳表面有害微生物灭活或抑制的效果,然而如果长时间采用传统加热杀菌方式将不可避免造成壳蛋营养成分损失,影响壳蛋新鲜度指标,还会消耗大量能源,引发环境污染。因此,壳蛋杀菌还需要结合非热杀菌方式,有效提升杀菌效率的同时,减少传统杀菌方式引起的环境污染,延缓壳蛋新鲜度指标的劣变^[43],表 3 总结了杀菌方式对壳蛋新鲜度指标影响的研究情况,简而言之,壳蛋杀菌方法中的化学杀菌、臭氧杀菌较其他杀菌方式,操作更为容易、避免壳蛋直接受热影响壳蛋新鲜度指标(如哈夫单位的下降,延缓失重率和气室高度的增加),同时可有效抑制蛋壳表面有害微生物的繁殖。

3.2 包装

除了杀菌方式,还可以采用包装延缓壳蛋新鲜度指标的劣变。食品包装能够很好地保护食品免受环境污染和其他因素(气味、振荡、灰尘、温度、物理损伤、光线、微生物和湿度)的影响,延长其货架期^[44-45]。例如,采用真空包装^[46]、气调包装^[47]处理壳蛋,可有效抑制蛋清高度、哈夫单位和蛋黄指数的下降,延缓壳蛋失重情况,表 3 总结了食品包装对延缓壳蛋新鲜度指标劣变的研究情况。壳蛋包装主要以

真空包装和气调包装为主,考虑包装成本、壳蛋本身特性,气调包装使用相对较多,通过引入特殊气体屏障(如 CO₂、N₂、H₂),从而延长壳蛋货架期,通入 CO₂ 或 H₂ 的气调包装相比通入 N₂ 和空气,贮藏壳蛋的哈夫单位较高,然而 CO₂ 的使用可能会加速温室效应,造成环境污染,因此后续气调贮藏壳蛋研究可以再考虑其他惰性气体,部分代替或直接取代 CO₂ 的使用,减少环境污染,同时有效延长壳蛋货架期。

3.3 涂膜

食品涂膜(可食性涂膜)技术和包装技术同样起到保护食品免受更多不良生理生化反应和微生物污染引起的腐败变质^[48]。由于涂膜材料直接与食品接触,因此涂膜处理时必须选择无毒无害型涂膜材料,相比食品包装,涂膜可以部分解决合成/塑料食品包装引起的食品安全、环境污染等问题。壳蛋可食性涂膜材料的选择与开发一直是研究的重点,复合涂膜材料主要由多糖、油脂、蛋白及其混合物组成。油脂本身作为涂膜材料,可追溯到 1807 年。蛋白质通过改性,也可与其他化合物结合形成良好涂膜,多糖中的壳聚糖本身就是一种抑菌物质,在涂膜材料中也有广泛应用。涂膜可有效延缓壳蛋蛋黄指数、蛋白系

数、哈夫单位的下降,减少失重率和气室直径升高的情况。表 3 总结了涂膜对延缓壳蛋新鲜度劣变的研究现状。壳聚糖-玉米油复合涂膜、大米蛋白提取物、巴西绿色蜂胶涂膜材料作为可食性涂膜(绿色涂膜),显著延缓贮藏壳蛋失重等情况,因此,当在壳蛋表面涂上一层薄膜,能有效防止外界微生物侵染及机械损伤引起的壳蛋新鲜度指标劣变。后续研究可以考虑在绿色可食性涂膜的基础上添加生物活性成分,结合杀菌、包装、微胶囊包埋技术等,构建壳蛋自动化涂膜生产线,从而进一步延缓壳蛋新鲜度指标劣变,提升壳蛋品质,另外也需要考虑提升消费群体对涂膜壳蛋的接受程度。

由表 3 可以看出,延缓壳蛋新鲜度劣变的方法,除贮运环节采用低温冷藏、减少机械损伤等措施外,未来还需要在非热杀菌、活性包装与绿色涂膜领域精准发力。非热杀菌的应用,可以部分/全部替代热杀菌方式,减少能源浪费,注重环境保护,提高杀菌效果的同时,延缓壳蛋新鲜度指标的劣变。在包装、涂膜方面的研究,需要在考虑在延缓壳蛋新鲜度劣变、延长货架期的同时,更为注重包装、涂膜材料的生物可降解性,提高消费群体的可接受程度,注重开发绿色与智能包装、涂膜设备等。

表 3 延缓壳蛋新鲜度劣变的研究
Table 3 Research of retarding shell egg freshness deterioration

研究方法	研究对象	研究结论	参考文献
辐照杀菌	新鲜壳蛋,经辐照杀菌(0~3 kGy),贮藏0~14 d	经1 kGy杀菌后,壳蛋哈夫单位和蛋清高度下降明显	[49]
	新鲜壳蛋,经415 nm蓝光辐射,强度(0~360 J/cm ²),贮藏0~5周)	蓝光辐射未对壳蛋新鲜度指标有影响	[50]
微波杀菌	未处理壳蛋为对照组,考察微波处理(2.45 GHz, 12.2 cm波长)20 s对贮藏0、5周壳蛋新鲜度的影响	微波处理未对壳蛋哈夫单位、蛋黄指数有明显影响	[51]
化学杀菌协同超声波杀菌	新鲜壳蛋,经超声(40 kHz, 250 W)与次氯酸钠(100、200 mg/L)相结合的方式处理	延缓壳贮藏壳蛋哈夫单位的下降,延缓失重率和气室高度的增加	[40]
化学杀菌	壳蛋经过流水、0.03%次氯酸钙、0.25%双氧水或1%过碳酸钠溶液处理,贮藏28 d	该处理后的壳蛋失重率、气室深度、蛋清和蛋黄pH较低,哈夫单位和蛋黄指数较高	[52]
臭氧杀菌	新鲜壳蛋,经过臭氧杀菌(处理浓度:2、4、6 ppm;处理时间:2、5 min)后于24 ℃贮藏6周	臭氧杀菌(处理浓度:2、4、6 ppm;处理时间:2 min)的贮藏壳蛋失重率和蛋清pH较低,蛋黄指数较高,哈夫单位较高	[42,53]
巴氏杀菌	壳蛋采用3种杀菌方式(干热杀菌、湿热杀菌、微波杀菌)处理	湿热处理法处理组壳蛋在35 ℃、相对湿度36%贮藏15 d时与未处理壳蛋失重率、蛋清pH和黏度无显著差异	[54]
	壳蛋通过热蒸汽处理0.6~3.6 s后,贮藏30 d	热蒸汽处理未对哈夫单位、蛋清和蛋黄pH造成影响	[55]
真空包装	壳蛋采用真空包装处理,然后在5、22 ℃贮藏42 d	真空包装处理组壳蛋蛋清高度、哈夫单位和蛋黄指数较高,失重率、蛋清pH较低	[43]
气调包装	壳蛋经阻隔塑料包装后充入N ₂ 、空气、CO ₂ 处理,分别在5、22 ℃贮藏42 d	采用100% CO ₂ 处理的贮藏壳蛋具有较高哈夫单位,较低的pH	[56]
	壳蛋采用100%空气、0.5%H ₂ -空气、3%H ₂ -空气包装,贮藏30 d	H ₂ -空气包装处理组延缓壳蛋新鲜度的劣变	[57]
涂膜	壳蛋采用大豆分离蛋白-蒙脱土纳米颗粒-偏亚硫酸钠涂膜处理,25 ℃贮藏8周	涂膜组壳蛋的失重率显著低于未涂膜处理组,货架期能够维持8周	[58]
	采用壳聚糖涂膜、壳聚糖-玉米油复合涂膜、海藻酸钠-冰醋酸复合涂膜处理壳蛋,30 ℃贮藏21 d	壳聚糖-玉米油复合涂膜处理组壳蛋在贮藏21 d后失重率、气室直径、蛋黄指数、蛋白系数、哈夫单位都优于其他处理组	[59]
	采用虫胶、溶菌酶-壳聚糖涂膜处理壳蛋,贮藏5周	虫胶涂膜处理壳蛋的哈夫单位较高,失重率较低	[60]
	以未涂膜壳蛋为对照组,涂膜组壳蛋分别采用大米蛋白提取物、巴西绿色蜂胶、大米提取物/巴西绿色蜂胶处理,20 ℃贮藏6周	4.25%大米蛋白提取物、4.08%巴西绿色蜂胶涂膜处理延缓了壳蛋的失重率的升高	[61]

4 结论与展望

新鲜度是衡量壳蛋品质最为重要的指标。本文

总结并梳理壳蛋新鲜度的评价方法、壳蛋新鲜度的影响因素以及延缓壳蛋新鲜度指标劣变的方法,现得

出如下结论:无损检测法辅助常规检测法,能够实现动态、实时、高效、全面、客观监测壳蛋新鲜度的变化;选用年轻蛋鸡、全营养饲料配方饲养蛋鸡,降低贮运温度,避免贮运过程的机械损伤,从而延缓壳蛋新鲜度指标的劣变;传统杀菌辅助结合非热杀菌方式,开发活性、无毒无害、智慧包装和涂膜技术,可有效阻隔环境影响,抑制微生物繁殖引起的腐败变质,延缓壳蛋新鲜度指标的劣变。

今后需从以下几方面开展深入研究:进一步提升无损检测技术预测壳蛋新鲜度的准确度,拓宽应用范围;深入研究饲料配方对提升壳蛋新鲜度指标的作用;模拟实际生产、贮运、销售环节,研究壳蛋新鲜度指标的变化;结合并改良非热杀菌-包装涂膜技术,延缓环境因素造成的壳蛋新鲜度指标劣变。

参考文献

- [1] YANG N. Egg production in China: Current status and outlook[J]. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2021, 8(1): 25–34.
- [2] BERTECHINI A G, MAZZUCO H. The table egg: A review[J]. *Ciência E Agrotecnologia*, 2013, 37: 115–122.
- [3] JACOB J P, MILES R D, MATHER F B. Egg quality[J]. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS), University of Florida PS, 2000: 24.
- [4] BOBUŞ A G, ERDOĞDU F, EKİZ H I. Comparison of conventional far-infrared (IR) heating to continuous IR heating-cooling for surface pasteurization of shell eggs contaminated by *Salmonella enterica serotype* Enteritidis[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022, 46(1): e16168–e16177.
- [5] LOFFREDI E, GRASSI S, ALAMPRESE C. Spectroscopic approaches for non-destructive shell egg quality and freshness evaluation: Opportunities and challenges[J]. *Food Control*, 2021, 129: 108255–108265.
- [6] AHMADI F, RAHIMI F. Factors affecting quality and quantity of egg production in laying hens: A review[J]. *World Applied Sciences Journal*, 2011, 12(3): 372–384.
- [7] GAST R K. Microbiology of shell egg production in the United States[J]. *Producing Safe Eggs*, 2017: 25–44.
- [8] KAROUI R, KEMPS B, BAMELIS F, et al. Methods to evaluate egg freshness in research and industry: A review[J]. *European Food Research and Technology*, 2006, 222(5): 727–732.
- [9] HUANG Q, QIU N, MA M H, et al. Estimation of egg freshness using S-ovalbumin as an indicator[J]. *Poultry Science*, 2012, 91(3): 739–743.
- [10] LIU Y L, REN X N, YU H, et al. Non-destructive and online egg freshness assessment from the egg shell based on Raman spectroscopy[J]. *Food Control*, 2020, 118: 107426–107434.
- [11] 饶珏睿, 韩佃刚, 董俊, 等. 鸡蛋新鲜度指标与贮藏天数相关性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(8): 3041–3047.
- [12] RAO J R, HAN D G, DONG J, et al. Study on the correlation between egg fresh index and storage time[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2021, 12(8): 3041–3047.
- [13] DUTTA R, HINES E L, GARDNER J W, et al. Non-destructive egg freshness determination: An electronic nose based approach[J]. *Measurement Science and Technology*, 2003, 14(2): 190–198.
- [14] SUN L, YUAN L, CAI J, et al. Egg freshness on-line estimation using machine vision and dynamic weighing[J]. *Food Analytical Methods*, 2015, 8(4): 922–928.
- [15] QI L, ZHAO M C, LI Z, et al. Non-destructive testing technology for raw eggs freshness: A review[J]. *SN Applied Sciences*, 2020, 2(6): 1–9.
- [16] ABOONAJMI M, AKRAM A, NISHIZU T, et al. An ultrasound based technique for the determination of poultry egg quality[J]. *Research in Agricultural Engineering*, 2010, 56(1): 26–32.
- [17] DONG X G, ZHANG B B, DONG J, et al. Egg freshness prediction using a comprehensive analysis based on visible near infrared spectroscopy[J]. *Spectroscopy Letters*, 2020, 53(7): 512–522.
- [18] WANG Y Y, WANG Z H, SHAN Y Y. Assessment of the relationship between ovomucin and albumen quality of shell eggs during storage[J]. *Poultry Science*, 2019, 98(1): 473–479.
- [19] HARNSOONGNOEN S, JAROENSUK N. The grades and freshness assessment of eggs based on density detection using machine vision and weighing sensor[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 1–12.
- [20] LAGHI L, CREMONINI M A, PLACUCCI G, et al. A proton NMR relaxation study of hen egg quality[J]. *Magnetic Resonance Imaging*, 2005, 23(3): 501–510.
- [21] YIMENU S M, KIM J Y, KIM B S. Prediction of egg freshness during storage using electronic nose[J]. *Poultry Science*, 2017, 96(10): 3733–3746.
- [22] SOLTANI M, OMID M. Detection of poultry egg freshness by dielectric spectroscopy and machine learning techniques[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 62(2): 1034–1042.
- [23] FRENI F, QUATTROCCHI A, DI GIACOMO A, et al. Assessment of eggs freshness by means of pulsed infrared thermography[C]//Proceedings of the 14th Quantitative Infrared Thermography Conference, Berlin, Germany. 2018: 25–29.
- [24] RODRÍGUEZ-NAVARRO A B, DOMÍNGUEZ-GASCA N, MUÑOZ A, et al. Change in the chicken eggshell cuticle with hen age and egg freshness[J]. *Poultry Science*, 2013, 92(11): 3026–3035.
- [25] YIMENU S M, KOO J, KIM J Y, et al. Kinetic modeling impacts of relative humidity, storage temperature, and air flow velocity on various indices of hen egg freshness[J]. *Poultry science*, 2018, 97(12): 4384–4391.
- [26] 尤子牵, 李冰雁, 贾飞, 等. 运输后贮藏过程中鸡蛋品质变化的研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(17): 279–285.
- [27] YOU Z Q, LI B Y, JIA F, et al. Study on hen egg quality during storage after transportation[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(17): 279–285.
- [28] CHANG-HO K, SONG J H, LEE J C, et al. Age-related changes in egg quality of Hy-Line brown hens[J]. *International Journal of Poultry Science*, 2014, 13(9): 510–514.
- [29] RIZZI C. Albumen quality of fresh and stored table eggs: Hen genotype as a further chance for consumer choice[J]. *Animals*, 2021, 11(1): 135–152.
- [30] GAJČEVIĆ Z, KRALIK G, HAS-SCHÖN E, et al. Effects of organic selenium supplemented to layer diet on table egg freshness and selenium content[J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2009, 8(2): 189–199.
- [31] FRANCO D, ROIS D, ARIAS A, et al. Effect of breed and diet type on the freshness and quality of the eggs: A comparison between Mos (indigenous Galician breed) and Isa brown hens[J]. *Foods*, 2020, 9(3): 342–352.
- [32] GRČEVIĆ M, KRALIK Z, KRALIK G, et al. Quality and oxidative stability of eggs laid by hens fed marigold extract supplemented diet[J]. *Poultry Science*, 2019, 98(8): 3338–3344.

- [31] VLČKOVÁ J, TŮMOVÁ E, MÍKOVÁ K, et al. Changes in the quality of eggs during storage depending on the housing system and the age of hens[J]. *Poultry Science*, 2019, 98(11): 6187–6193.
- [32] JOUBRANE K, MNAYER D, HAMIEH T, et al. Evaluation of quality parameters of white and brown eggs in Lebanon[J]. *American Journal of Analytical Chemistry*, 2019, 10(10): 488–503.
- [33] LEE M H, CHO E J, CHOI E S, et al. The effect of storage period and temperature on egg quality in commercial eggs[J]. *Korean Journal of Poultry Science*, 2016, 43(1): 31–38.
- [34] GRASHORN M, JUERGENS A, BESSEI W. Effects of storage conditions on egg quality[J]. *Lohmann Information*, 2016, 50: 22–27.
- [35] 牡丹萌, 王风诺, 王世平. 鸡蛋新鲜度随储藏条件变化规律的研究[J]. *食品科技*, 2014, 39(5): 26–29, 33. [DU Danmeng, WANG Fengnuo, WANG Shiping. The laws of the egg freshness change with storage conditions[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39(5): 26–29, 33.]
- [36] 戴妍, 杨兵, 蒋文明, 等. 贮藏温度-时间变化对壳蛋新鲜度影响研究[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(18): 359–364. [DAI Yan, YANG Bing, JIANG Wenming, et al. Study on the effect of storage temperature-time changes on shell egg freshness[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(18): 359–364.]
- [37] ROSSI M, NYS Y, ANTON M, et al. Developments in understanding and assessment of egg and egg product quality over the last century[J]. *World's Poultry Science Journal*, 2013, 69(2): 414–429.
- [38] GILLESPIE I A, O'BRIEN S J, ADAK G K, et al. Food-borne general outbreaks of *Salmonella* enteritidis phage type 4 infection, England and Wales, 1992–2002: where are the risks?[J]. *Epidemiology & Infection*, 2005, 133(5): 795–801.
- [39] MAKTabi S, ZAREI M, RASHNAVADY R. Effect of sequential treatments with sodium dodecyl sulfate and citric acid or hydrogen peroxide on the reduction of some foodborne pathogens on eggshell[J]. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 2018, 19(2): 113–117.
- [40] 隆佳惠, 季荷, 刘浩威, 等. 超声协同次氯酸钠处理对鸡蛋室温贮藏过程中品质的影响[J]. *食品与发酵科技*, 2021, 57(3): 60–67. [LONG Jia-hui, JI He, LIU Haowei, et al. Effect of ultrasound combined with sodium hypochlorite treatment on the quality of eggs during storage at room temperature[J]. *Food and Fermentation Sciences & Technology*, 2021, 57(3): 60–67.]
- [41] ASAITHAMBI N, SINGH S K, SINGHA P. Current status of non-thermal processing of probiotic foods: A review[J]. *Journal of Food Engineering*, 2021, 303: 110567–110587.
- [42] MAXKWE E N, PERRY J J, LEE K. Flavor and appearance of whole shell eggs made safe with ozone pasteurization[J]. *Food Science & Nutrition*, 2014, 2(5): 578–584.
- [43] KAUTKAR S, PANDEY J P. An elementary review on principles and applications of modern non-conventional food processing technologies[J]. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2018, 7(5): 1–12.
- [44] HAN J W, RUIZ-GARCIA L, QIAN J P, et al. Food packaging: A comprehensive review and future trends[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2018, 17(4): 860–877.
- [45] SUHAG R, KUMAR N, PETKOSKA A T, et al. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review[J]. *Food Research International*, 2020, 136: 109582.
- [46] AYGUN A, SERT D. Effects of vacuum packing on eggshell microbial activity and egg quality in table eggs under different storage temperatures[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, 93(7): 1626–1632.
- [47] XU L, JIA F, LUO C Y, et al. Unravelling proteome changes of chicken egg whites under carbon dioxide modified atmosphere packaging[J]. *Food Chemistry*, 2018, 239: 657–663.
- [48] CANER C, YÜCEER M. Efficacy of various protein-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs during storage[J]. *Poultry Science*, 2015, 94(7): 1665–1677.
- [49] KIM H J, YUN H J, JUNG S, et al. Effects of electron beam irradiation on pathogen inactivation, quality, and functional properties of shell egg during ambient storage[J]. *Food Science of Animal Resources*, 2010, 30(4): 603–608.
- [50] LAKINS D G, ALVARADO C Z, LUNA A M, et al. Comparison of quality attributes of shell eggs subjected to directional microwave technology[J]. *Poultry Science*, 2009, 88(6): 1257–1265.
- [51] HU X, SUN X, LUO S, et al. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis on chicken eggshells using blue light[J]. *Agriculture*, 2021, 11(8): 762.
- [52] PAN D, LI R, LI Y, et al. Effects of manual washing with three alkaline sterilizing agent solutions on egg quality during storage[J]. *Food Chemistry*, 2022, 396: 133733.
- [53] YÜCEER M, ADAY M S, CANER C. Ozone treatment of shell eggs to preserve functional quality and enhance shelf life during storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(8): 2755–2763.
- [54] SHENGA E, SINGH R P, YADAV A S. Effect of pasteurization of shell egg on its quality characteristics under ambient storage[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2010, 47(4): 420–425.
- [55] ZION B, GOLLOP R, BARAK M, et al. External disinfection of shell eggs using steam in a Thermal Trap[J]. *Food Control*, 2021, 127: 108135.
- [56] ROCCULI P, TYLEWICZ U, PEKOSŁAWSKA A, et al. MAP storage of shell hen eggs, Part 1: Effect on physico-chemical characteristics of the fresh product[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42(3): 758–762.
- [57] WANG Y, WANG J, KUANG Y, et al. Packaging with hydrogen gas modified atmosphere can extend chicken egg storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2022, 102(3): 976–983.
- [58] DE ARAÚJO SOARES R, BORGES S V, DIAS M V, et al. Impact of whey protein isolate/sodium montmorillonite/sodium metabisulfite coating on the shelf life of fresh eggs during storage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 139: 110611.
- [59] 韦燕文, 蔡文韬, 袁学文, 等. 不同涂膜保鲜法对鸡蛋保鲜效果的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(22): 221–226. [WEI Yanwen, CAI Wentao, YUAN Xuewen, et al. The effect of different coating preservation methods on eggs[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(22): 221–226.]
- [60] YÜCEER M, CANER C. The effects of ozone, ultrasound and coating with shellac and lysozyme-chitosan on fresh egg during storage at ambient temperature—Part 1: Interior quality changes[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020, 55(1): 259–266.
- [61] PIRES P, BAVARESCO C, PIRES P, et al. Development of an innovative green coating to reduce egg losses[J]. *Cleaner Engineering and Technology*, 2021(2): 100065–100073.