

预制方便食品保鲜包装技术及货架期预测的研究进展

肖玮, 巩雪, 董静, 刘佳, 智慧

(哈尔滨商业大学 包装科学与工程技术实验室, 哈尔滨 150028)

摘要: **目的** 分析预制方便食品的发展前景, 并研究预制方便食品变质的影响因素以及保鲜包装技术和货架期预测方法在预制方便食品中的应用, 为相关科研人员及餐企解决预制食品营养风味不足和货架期较短等问题提供参考。**方法** 综述近些年食品保鲜包装技术在预制方便食品领域的研究与应用, 以及不同食品特性所采用的几种食品货架期预测方法。**结果** 利用合适的保鲜包装技术对预制方便食品进行处理, 能够保证其品质, 减少食物资源浪费, 并能有效延长食品货架期。**结论** 预制方便食品具有良好的发展前景, 先进食品保鲜包装技术的研发和可靠的货架期预测方法的应用, 对提高产品质量与安全具有重要意义, 也是相关餐饮企业提高竞争力的有效手段。

关键词: 预制食品; 保鲜包装; 货架期; 预测模型

中图分类号: TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)09-0037-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.09.005

Research Progress of Fresh-keeping Packaging Technology and Shelf Life Prediction in Prepared Convenience Food

XIAO Wei, GONG Xue, DONG Jing, LIU Jia, ZHI Hui

(Packaging Science and Engineering Technology Laboratory, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze the development prospect of prepared convenience food, and study the influence factors which cause metamorphism of prepared convenience food as well as fresh-keeping packaging technology and shelf life prediction methods, so as to provide reference for researchers and food companies to solve nutrition deficiency and extend shelf life. The recent research and application of food fresh-keeping packaging technology in prepared convenience food were reviewed, and the prediction methods of food shelf life for different food characteristics were also introduced. Treatment of prepared convenience food with suitable fresh-keeping packaging technologies could guarantee the food quality, reduce the food resource waste and effectively prolong the shelf life of food. Prepared convenience food has good development prospect. The research and development of advanced fresh-keeping packaging technology and the application of reliable shelf-life prediction methods are of great significance to improve the product quality and safety, and are also effective means to improve the competitiveness of relevant catering enterprises.

KEY WORDS: prepared convenience food; fresh-keeping packaging; shelf life; prediction model

随着人们生活节奏的加快以及经济条件的提高, 传统耗时的烹饪方式已不能满足人们的需求。近年

来, 方便、快捷、营养、安全的预制食品在市场上越发常见^[1-4]。预制方便食品是指食物原料以及各种配

收稿日期: 2023-03-17

基金项目: 哈尔滨商业大学“青年创新人才”支持计划项目(2020CX24)

作者简介: 肖玮(1986—), 女, 博士, 工程师, 主要研究方向为食品包装材料与食品贮藏技术。

料,经清洗、分切、调制等预加工而成的食品,主要包括开封后可直接食用的食品,只需要经过加热处理的食品,需要简单加工的分装食物原材料及调味品,需自行烹饪与调味的半成品生料等4类^[5]。预制方便食品省时便捷的特点越来越受到餐饮企业和消费者关注,在餐饮工业化的趋势影响下,预制食品的发展是餐饮企业发展的新途径^[6-8]。通过《2022年中国预制菜行业发展趋势研究报告》可以看出,近十年来我国生产预制菜的餐企注册数量呈逐步上升趋势。我国部分省市已经出台相关政策来支持预制方便食品的发展,如山东省在2022年2月成立预制菜产业联盟,广东省在2022年3月出台《加快推进广东预制菜产业高质量发展十条措施》等^[9]。但随着国家对食品监督管理的加强以及人们健康意识的增强,消费者对预制食品新鲜度、安全与营养提出了更高要求,增加了预制食品的配送、储存以及监控难度^[10-11]。企业在生产预制方便食品时将更加注重食品保鲜包装技术的应用,以保证食品达到安全、营养以及风味等多指标的要求,同时还需适当延长预制食品的货架期,以适应消费者需求,并在一定程度上避免食物资源的浪费^[12]。本研究旨在对预制方便食品变质的影响因素、保鲜包装技术及货架期预测等内容进行综述,为科研人员及餐企提供一定参考。

1 预制方便食品变质的影响因素

预制方便食品的品质特征主要表现为食品质地、风味、颜色、外观和营养价值,而这些特征在加工、运输及贮藏的过程中都会发生变化。微生物、氧气、光照、温度、水分等因素均是导致预制方便食品腐败变质的主要因素^[13-14]。

1.1 微生物

随着时间的延长,预制方便食品在运输和贮藏过程中会由于气体环境、温湿度的改变导致微生物大量繁殖^[15]。当预制方便食品被细菌、霉菌、病毒等污染便会引起食物中毒、病毒感染、食源性肠道传染病以及食源性寄生虫病等,对人类危害巨大。因此,应从生产、运输以及贮藏各环节对预制食品的微生物进行检测,主要包括菌落总数、大肠菌群、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌等^[16-17]。

1.2 温度

在适当的湿度和氧气等条件下,温度对预制方便食品腐败反应速度的影响相当明显^[18]。某些食品由于温度的升高而发生软化或低温冻结,使食品失去应有的物态和外形,或破坏食品的内部组织结构,严重影响品质。常选择耐温、耐热的包装材料,并在冷藏或冻藏条件下进行贮藏,避免因温度变化而导致的包装内食品变质。此外,温度升高也会促进微生物的生长。

在生产中,常用低温与真空、二氧化碳或放射杀菌等并用的方式来降低嗜温性细菌的增殖速度,阻止嗜热性细菌繁殖。孙灵霞等^[19]对不同贮藏温度下预制包装自热香菇鸡丁的货架期进行研究,结果表明,储藏温度对其感官指标、酸价,以及过氧化值及丙二醛等理化指标均有显著影响。

1.3 机械损伤

预制方便食品在贮藏、堆放、运输、搬运过程中可能会受到外界各种破坏力,如压力、冲击力(垂直跌落、水平冲击)、振动力、热应力等。如果所选用的包装防护方式不当,则会对包装内部的食物造成一定程度的机械损伤,导致食品腐败变质,因而要求预制方便食品包装材料具有足够的强度,并有一定的缓冲效果。

1.4 气体

导致预制方便食品腐败变质的气体主要是氧气,而二氧化碳(CO_2)和氮气则可在一定程度上延缓其变质过程。

氧气含量过高,会导致预制食品中的油脂氧化,产生的过氧化物会散发臭味,使感官体验变差,而且油脂氧化还会导致食品褐变反应加速、营养价值流失,甚至引起食物中毒。同时,氧气还会加快大部分细菌繁殖生长等,故在包装中应尽量降低氧气含量^[20]。但对于生鲜肉类预制食品,无氧包装会使其氧合肌红蛋白还原,产品会因变成暗褐色而失去市场价值,因此生鲜肉类必须采用有氧包装。另外,生鲜果蔬在流通及贮藏过程中也需要吸收一定含量的氧气来进行呼吸作用,保证其正常的代谢,维持其新鲜状态。

CO_2 是一种抑菌剂,高体积分数的 CO_2 ($>30\%$)能阻止引起食品腐败的大多数需氧微生物的生长繁殖,它能延长微生物生长繁殖的停滞期,延缓其对数生长期。同时, CO_2 溶于水后会使其pH降低,也会抑制微生物繁殖。

氮气稳定性好,不会与食品中的各种成分反应,在气调包装中可降低食品中脂肪、芳香物的氧化速度,抑制微生物的繁殖和果蔬类产品的呼吸。另外,在包装容器内充填氮气,可避免预制食品由于包装内部 O_2 或 CO_2 减少导致的外观变形,防止易碎食品受到外力或包装内环境负压而产生破损。

1.5 光照

光对食品有较大的破坏性,尤其是强光、紫外线等会引起光氧化作用,使部分营养物质发生氧化降解,导致食品品质的下降。有针对性地选择合适的包装材料可降低或完全阻挡光线射入包装内部,有效避免光对食品品质的影响。根据 Lambert-Beer 定律可知,不同成分或厚度的包装材料可达到不同程度的遮光效果,也可通过对包装材料加色处理或表面涂覆遮

光层的处理来改善其遮光性能。

1.6 水分

食品中水分含量的增加会导致化学反应快速进行,还能加快微生物生长,使酶的活力增强等。同时,食品含水量也影响食品的物理性质,如相对密度、黏度和软硬度等,从而影响食用时的口感、冷热感等。另外,食品含水量还会影响食品的形状、色泽、光泽和香气。可用高阻隔材料密封包装食品,减缓或阻止外界湿气渗入,或同时用干燥剂吸收渗透入包装内的水分,实现包装内部水分或湿度的控制。对于含水量较高的叶菜类食品,采用低温保鲜时会有大量水分从空气中析出,并在果蔬外表面凝结成水滴,在透湿性较差的包装内结露会更严重。结露的水因呼吸或气调组分里 CO_2 而呈酸性,附着在果蔬表面就会加速果蔬腐败。因此叶菜类食品采后一般会通风降温,通过打孔、加入活性剂等方法来避免结露的产生。

2 预制方便食品保鲜包装技术

食品包装是食品生产的关键过程,食品包装技术的水平直接影响着食品的品质^[21]。目前,预制方便食品涉及到的保鲜包装技术主要有防潮包装、真空包装、气调包装以及活性包装等。

2.1 防潮包装技术

防潮包装技术是为了维持包装内部的水分含量不因外部水分含量发生改变的一种技术,可使包装内的湿度满足产品要求,保护内装食品的质量^[22],此技术一般靠选择合适的包装材料或吸潮剂来实现。虽然阻隔性最好的是玻璃、陶瓷和金属,但出于预制方便食品包装轻量化和便捷性的需求,最常用的是聚乙烯、聚丙烯、聚酯、聚偏二氯乙烯、防潮玻璃纸等塑料包装。这些材料可单独使用,也可通过多种材料制备复合材料来满足阻隔性要求较高的场合,复合材料的防潮性能是各层薄膜防潮性能的总和。水蒸气透过包装材料的速率,一般符合菲克气体扩散定律,可由此确定塑料薄膜的实际透湿度来确定合适的包装材料。加入吸潮剂的防潮方式可根据产品需求来计算用量。为了达到较好的防潮效果,一般要求包装内部顶隙空间较小,包装材料的透水性较低。

2.2 真空包装技术

真空包装技术起源于20世纪40年代,它指食品装入包装容器后,利用真空包装机抽出空气使其达到预定真空度,并完成封口的一种技术。真空包装内氧气的含量较低,能够防止食品氧化变质^[23-24]。但需注意的是,各种包装材料对气体的渗透速度会随环境温度的提高而增大,故真空包装的食品应在低温环境下运输或贮藏。此外,诸如松脆易碎食品、易结块食品、

易变形食品、有尖锐棱角且硬度较高会刺破包装袋的食品等不适宜采用真空包装,对这类食品一般考虑采用充气包装。

2.3 气调包装技术

气调包装技术是通过改变包装容器内气体环境,以理想气体(如 N_2 、 CO_2 等)部分或全部代替氧气,使包装容器内氧气含量降低,达到延缓生物体衰败和延长食品保质期的目的,同时,所充气体还能对内装物起到一定缓冲保护作用^[25-26]。通常气调包装是在抽真空后,立即充入理想气体,或者采用气体置换方法,用理想气体置换出包装内的空气^[27-28]。此外,对于生料类的果蔬预制食品,可利用果蔬呼吸作用(消耗 O_2 , 产生 CO_2)和包装材料的透气性来达到某种平衡,实现稳定的气调环境,从而达到保鲜目的,但这种方式建立最佳气氛状态的过程需要长时间的摸索,过程比较缓慢。

2.4 活性包装技术

该技术是通过在食品包装材料中添加活性成分或直接将活性物质同食品一起封装在包装内的形式,使包装系统具备吸附、脱氧、抗菌等功能^[29-30]。

在脂肪和油脂氧化初级阶段,过氧化物降解形成醛类物质,如己醛和庚醛等,这些醛类物质产生的气味可以被活性包装清除。杜邦公司推出了一种去除顶隙内醛类的薄膜产品,已被应用于快餐食品、谷类食品、乳制品、禽类产品和水产品中。

脱氧剂可通过合理剂量的活性物质来彻底清除包装内的氧气,弥补了真空或气调包装去氧不彻底的缺点。常用的脱氧剂有亚硫酸盐系、铁系以及葡萄糖氧化酶等。每种脱氧剂的脱氧速度区别很大,亚硫酸盐系脱氧剂属速效型,铁系脱氧剂属缓效型,可根据不同的脱氧需求进行选择。脱氧剂需在有一定水分的环境中使用,但是被包装物的含水量也不能过高,会影响吸氧效果,被包装物的含水量一般不应超过70%。对于体积和形状固定的包装容器,其包装材料需具备一定的强度,以避免脱氧后氧气消耗产生负压所带来的破坏;也可选用能产生二氧化碳的脱氧剂,或结合充气包装来避免包装收缩带来的外观影响。

抗菌包装是在包装材料中加入抗菌物质,通过接触或迁移实现抗菌功能。抗菌剂一般有化学型、生物型以及天然型等^[31]。Juthamas 等^[32]研究了含有壳聚糖复合抗菌剂的包装对新鲜米线预制食品的保鲜效果。结果表明,该方法能够使其比仅使用单一化学防腐剂产品的货架期延长28 d。尽管目前已有大量研究者对抗菌包装材料进行研究,但由于抗菌剂的活性会在与高分子包装材料熔融挤压时遭到破坏,能够商业应用的还比较少。

此外,纳米包装材料具有许多优良特性,这使得

纳米抗菌材料在食品包装领域得到了大力发展, Shima 等^[33]研究了纳米复合包装材料对新鲜果蔬的保鲜效果, 研究表明, 含有纳米二氧化钛或纳米氧化锌的高分子材料能够有效降低果蔬的质量损失率和颜色变化, 并能够控制乙烯释放量, 可有效延长果蔬的货架期。但目前国际上还没有对纳米材料的安全性问题进行系统全面的评价, 因此纳米抗菌材料的研究还需继续探索。

2.5 智能包装技术

智能包装技术使包装具备警示、识别、防伪以及溯源等功能^[34], 智能包装技术的实现离不开包装材料及特种油墨的发展。

1) 变色材料。该材料是指随着环境温湿度、光照、气体、时间的变化或与微生物新陈代谢发生反应而改变颜色的新型材料^[35-37], 可有效解决食品安全、警示、促销等问题^[38-41]。还可通过受力即改变颜色的包装材料来提示消费者产品被开启过。

2) 变色防伪油墨。将防伪印刷油墨应用到包装材料上, 会在光照、温湿度、压力等条件下改变颜色, 具有方便识别、防伪特征明显的特点^[42]。常用的有光敏变色油墨、热敏变色油墨、湿敏变色油墨、压敏变色油墨、防涂改防伪油墨等; 按变色方式的差异又可分为可逆变色油墨和不可逆变色油墨。

3) 导电油墨。导电油墨在食品包装中的应用最具代表的就是赋予包装材料射频识别功能, 使食品具有可识别性、可溯源性, 提高了食品的安全质量。另外, 导电油墨也可用于制备超薄柔软电池, 将其印刷到包装材料上可为产品包装提供电源, 使产品包装能够开发出更多功能^[43]。

3 预制方便食品货架期的预测方法

食品货架期是指食品的质量和安​​全同时满足食用要求的最长​​期限。评价指标主要包括营养指标、卫生指标以及消费者在食用安全的前提下对其感官评价^[44]。利用不同的包装技术对预制食品进行保鲜包装, 所获得的货架期差异较大, 对预制食品进行货架期的指标预测, 可为其确定最佳的包装方式, 提高了产品食用价值, 避免造成浪费。货架期预测的过程可根据食品的特性确定主要评价指标, 根据指标类型选择合适的模型, 结合实验结果进行拟合确定食品的货架期^[45-46]。常用模型主要包括以温度变化为基础的模型、以微生物生长为基础的模型以及以感官评价指标为基础的模型。

3.1 基于温度的货架期预测模型

预制食品的货架期受温度影响较大, 在基于温度的货架期预测模型中, 最常用的是 Arrhenius 法^[47-48]。Arrhenius 法主要是用 Arrhenius 方程与反应动力学方

程相结合, 通过测定不同温度下各品质指标的变化情况, 找出不同温度下影响产品货架期的关键指标, 建立货架期预测模型^[49]。Arrhenius 方程与零级、一级动力学方程拟合所得反映食品货架期的预测公式分别如式(1)和式(2)所示。

$$t = -(C_t - C_0) / (K_0 \times e^{-E_a/RT}) \quad (1)$$

$$t = -(\ln C_t - \ln C_0) / (K_0 \times e^{-E_a/RT}) \quad (2)$$

式中: C_t 为贮藏 t 天后某理化指标的含​​量; C_0 为起始时刻某理化指标的含​​量; T 为绝对温度; K_0 为常数; E_a 为活化能, J/mol; R 为气体常数, 8.314。

3.2 基于微生物的动力学生长模型

基于微生物的动力学生长模型是以预制食品中特定腐败菌的生长规律为基础而建立的模型, 分为初级、二级和三级模型^[50]。初级模型用于表达微生物数量随时间变化的关系。根据微生物的生长呈指数增长的特点, 用微生物 t 时刻的数量与初始值之比的对数值和时间来描述微生物数量与时间的关系。常用的初级模型为 Modified Gompertz 模型, 其表达式如式(3)所示。

$$N(t) = N_0 + (N_{\max} - N_0) \cdot \exp \left\{ -\exp \left[\frac{\mu_{\max} e}{N_{\max} - N_0} (\lambda - 1) + 1 \right] \right\} \quad (3)$$

式中: $N(t)$ 为 $t(h)$ 时刻微生物数量的对数值, $\lg(\text{CFU/g})$; N_0 为初始微生物数量, $\lg(\text{CFU/g})$; N_{\max} 为增加到稳定点期时最大的微生物数量, $\lg(\text{CFU/g})$; μ_{\max} 为微生物生长的最大比生长速率, $1/h$; λ 为微生物生长的迟滞期时间, h 。

二级模型用于描述温度等环境因素对微生物生长动力学参数的影响, 是在初级模型的基础上, 描述温度、水活度和 pH 值等环境变量对微生物生长动力学参数之间的函数关系。常见的模型有 Arrhenius 方程、平方根模型等。三级模型一般是建立在一级模型和二级模型基础上, 综合其函数关系, 利用计算机开发的系统模型。

3.3 基于感官评价的货架期预测

在众多评价方法中, 消费者对预制食品的感官评价最具有现实意义, 因为再好的产品不被消费者接受也是无用的。感官评价是根据评定人员的喜好程度对预制食品给出的感官评定分数, 根据调查数据确定其中某一分值作为判断货架期的截止点, 研究人员根据对消费者的调查数据或食品质量指标建立货架期模型。比较有代表的模型是威布尔危险值分析法^[51], 其模型曲线分布呈“U”型, 它比较适合水果、酸奶等具有在初期阶段过硬或过酸, 中期风味最佳, 后期过软或者过熟特征的食品进行货架期预测, 其表达式见式(4)。

$$\log(t) = \left(\frac{1}{\beta}\right) \log(H) + \log(a) \quad (4)$$

式中: H 为累积危险率函数。

3.4 其他模型

近年来,已有研究者利用人工神经网络以及响应面分析法对产品货架期进行预测。其预测过程不依赖于明确的品质变化模型,综合性较强,能够减少系统误差,但是其预测过程需要大量的实验样本,成本较高。

4 结语

随着消费者需求的提高,以及电商、物流、外卖行业的高速发展,虽然预制方便食品目前已成为食品工业的研究热点,保鲜包装技术在此领域也起到重要作用,但由于成本、监管等诸多因素,文中所述的保鲜包装技术并未在市场普遍应用。货架期的预测也由于食品种类、运输方式、存储环境、使用场合的不同,导致评价过程较为复杂,预测结果存在较大差异,食品实际质量不足以满足消费者需求。今后餐饮企业和科研人员应加快进行对预制食品保鲜包装技术及货架期预测方法的深入研究,各级政府部门也应加快出台或完善相关政策,推动我国预制食品行业向着标准化、规范化、专业化发展。

参考文献:

- [1] 李冬梅, 张雪迪, 毕景然, 等. 中式预制菜肴产业的传承与创新[J]. 中国食品学报, 2022, 22(10): 1-8.
LI Dong-mei, ZHANG Xue-di, BI Jing-ran, et al. Inheritance and Innovation of Chinese Prepared Dishes Industry[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(10): 1-8.
- [2] GAUTHIER I, FIESTAN G. Individual Differences in the Recognition of Prepared Food[J]. Journal of Vision, 2022, 22(14): 4101.
- [3] MCKERNAN C, LAVELLE F, MCCLOAT A, et al. A Qualitative Exploration of Consumers' Perceptions, Attitudes and Use of Smart Devices while Preparing Food in the Domestic Kitchen[J]. Proceedings of the Nutrition Society, 2023, 82(OCE1): 8.
- [4] FERTIG A R, LOTH K A, TROFHOLZ A C, et al. Compared to Pre-Prepared Meals, Fully and Partly Home-Cooked Meals in Diverse Families with Young Children are more Likely to Include Nutritious Ingredients[J]. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 2019, 119(5): 818-830.
- [5] 曾新安, 曹诗林, 马骥, 等. 预制食品供应链品质监控与区块链溯源技术研究进展[J]. 中国食品学报, 2022, 22(10): 48-57.
- [6] ZENG Xin-an, CAO Shi-lin, MA Ji, et al. Recent Advances on Quality Monitoring and Block-Chain Traceability Technology of Prefabricated Food Supply Chain[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(10): 48-57.
- [7] 徐秀义, 何余堂, 马玉芯, 等. 自热方便米饭的产业现状与发展对策[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(5): 71-74.
- [8] XU Xiu-yi, HE Yu-tang, MA Yu-xin, et al. The Industry Status and Development Strategies of Self-Heating Instant Rice[J]. Sichuan Food and Fermentation, 2018, 54(5): 71-74.
- [9] JIANG Ye-tao, WANG Xiao-yu, WU Zhen, et al. Purification of Xylooligosaccharides from Bamboo with Non-Organic Solvent to Prepare Food Grade Functional Sugars[J]. Results in Chemistry, 2021, 3: 100153.
- [10] 王雪娇. 预制食品对食物供应减损增效的促进作用研究[J]. 价格理论与实践, 2022(12): 159-163.
WANG Xue-jiao. Study on Promoting Effect of Prepared Food on Food Supply Loss Reduction and Efficiency Improvement[J]. Price: Theory and Practice, 2022(12): 159-163.
- [11] 王娟, 高群玉, 娄文勇. 我国预制菜行业的发展现状及趋势[J]. 现代食品科技, 2023, 39(2): 99-103.
WANG Juan, GAO Qun-yu, LOU Wen-yong. Development Status and Trends of the Pre-Prepared Food Industry in China[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(2): 99-103.
- [12] BRASINGTON N, BUCHER T, BECKETT E L. Correlations between Convenience Cooking Product Use and Vegetable Intake[J]. Nutrients, 2022, 14(4): 848.
- [13] PETIMAR J, ZHANG Fang, RIMM E B, et al. Changes in the Calorie and Nutrient Content of Purchased Fast Food Meals after Calorie Menu Labeling: A Natural Experiment[J]. PLoS Medicine, 2021, 18(7): 1003714.
- [14] 吴晓蒙, 饶雷, 张洪超, 等. 新型食品加工技术提升预制菜肴质量与安全[J]. 食品科学技术学报, 2022, 40(5): 1-13.
WU Xiao-meng, RAO Lei, ZHANG Hong-chao, et al. Quality and Safety Improvement of Premade Cuisine by Novel Food Processing Technologies[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 40(5): 1-13.
- [15] 李云飞. 食品冷链技术与货架期预测研究[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2015.
LI Yun-fei. Food Cold Chain and Shelf Life Prediction[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University

- Press, 2015.
- [14] PETIMAR J, GRUMMON A H, SIMON D, et al. Nutritional Composition and Purchasing Patterns of Supermarket Prepared Foods over Time[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2023, 64(2): 213-220.
- [15] AHMED S, SAMEEN D E, LU Rui, et al. Research Progress on Antimicrobial Materials for Food Packaging[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 62(11): 3088-3102.
- [16] 赵超凡, 陈树俊, 李文兵, 等. 预制菜产业发展问题分析[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(2): 104-109.
ZHAO Chao-fan, CHEN Shu-jun, LI Wen-bing, et al. Analysis of Issues in the Development of the Pre-Prepared Dishes Sector[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(2): 104-109.
- [17] 刘雪, 刘娇, 钟蒙蒙. 禽产品品质及其货架期预测研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2018.
LIU Xue, LIU Jiao, ZHONG Meng-meng. Study on Quality of Poultry Products and Shelf Life Prediction[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2018.
- [18] 樊沁昕, 谢忆雯, 高振洪, 等. 不同贮藏温度对自热食品货架期的影响[J]. *包装工程*, 2020, 41(15): 163-169.
FAN Qin-xin, XIE Yi-wen, GAO Zhen-hong, et al. Effect of Different Storage Temperature on Shelf Life of Self-Heating Food[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(15): 163-169.
- [19] 孙灵霞, 抄玉超, 李苗云, 等. 储藏温度对香菇鸡丁自热菜肴货架期的影响[J/OL]. *河南农业大学学报*, 2022: 1-12. <https://doi.org/10.16445/j.cnki.1000-2340.20220826.001>.
SUN Ling-xia, CHAO Yu-chao, LI Miao-yun, et al. Effect of Storage Temperature on the Shelf Life of Self Heating Dishes with Diced Chicken with Mushroom[J/OL]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2022: 1-12. <https://doi.org/10.16445/j.cnki.1000-2340.20220826.001>.
- [20] 王灵昭, 王善宇, 简冲, 等. 水产品加工与储藏过程中脂质氧化及其对品质影响的研究进展[J]. *江苏海洋大学学报(自然科学版)*, 2021, 30(2): 42-49.
WANG Ling-zhao, WANG Shan-yu, JIAN Chong, et al. Research Progress on Lipid Oxidation and Its Influence on Quality during Processing and Storage of Aquatic Products[J]. *Journal of Jiangsu Ocean University (Natural Sciences Edition)*, 2021, 30(2): 42-49.
- [21] 赵越, 姜启兴, 许艳顺, 等. 包装方式对红烧肉方便菜肴制品保鲜品质的影响[J]. *食品科技*, 2017, 42(6): 47-53.
ZHAO Yue, JIANG Qi-xing, XU Yan-shun, et al. Effect of Different Packaging Method on Preservation Quality of Soy Sauce-Stewed Pork Dishes[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(6): 47-53.
- [22] 蔡佳昂, 卢立新, 卢莉璟, 等. 全脂奶粉包装内外水分传质及其防潮包装货架期预测[J]. *包装工程*, 2022, 43(17): 42-48.
CAI Jia-ang, LU Li-xin, LU Li-jing, et al. Moisture Mass Transfer Inside and Outside Whole Milk Powder Packaging and Shelf Life Prediction of Moisture-Proof Packaging[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(17): 42-48.
- [23] 胡力, 王芳梅, 吕明珊, 等. 不同贮藏温度下真空包装鸡肉酱品质变化及货架期模型的建立[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(10): 132-138.
HU Li, WANG Fang-mei, LYU Ming-shan, et al. Quality Changes during Storage at Different Temperatures and Establishment of Shelf-Life Model of Vacuum Packaged Chicken Paste[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(10): 132-138.
- [24] 徐贞, 卢立新. 真空软包装香辣蟹贮藏品质变化及货架期预测[J]. *包装工程*, 2017, 38(11): 6-10.
XU Zhen, LU Li-xin. Quality Change and Shelf-Life Prediction of Spicy Crab with Vacuum Soft Packages[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(11): 6-10.
- [25] SÄNGERLAUB S, WITZGALL S, MÜLLER K, et al. Palladium-Based Oxygen Scavenger for Food Packaging: Choosing Optimal Hydrogen Partial Pressure[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2021, 28: 100666.
- [26] SUN Ye-ting, ZHAO Xiao-yan, MA Yue, et al. Inhibitory Effect of Modified Atmosphere Packaging on *Escherichia Coli* O157: H7 in Fresh-Cut Cucumbers (*Cucumis Sativus* L.) and Effectively Maintain Quality during Storage[J]. *Food Chemistry*, 2022, 369: 130969.
- [27] 梁荣蓉, 刘璐, 翟朝宇, 等. 黄焖鸡气调包装保鲜技术[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(12): 188-193.
LIANG Rong-rong, LIU Lu, ZHAI Chao-yu, et al. Effect of Modified Atmosphere Package on the Preservation of Braised Chicken Meat[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(12): 188-193.
- [28] HUANG Ji-chao, GUO Yu-chen, HOU Qin, et al. Dynamic Changes of the Bacterial Communities in Roast Chicken Stored under Normal and Modified Atmosphere Packaging[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(4): 1231-1239.

- [29] ALMASI H, JAHANBAKHSI OSKOUIE M, SALEH A. A Review on Techniques Utilized for Design of Controlled Release Food Active Packaging[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 61(15): 2601-2621.
- [30] VILELA C, KUREK M, HAYOUKA Z, et al. A Concise Guide to Active Agents for Active Food Packaging[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 80: 212-222.
- [31] 唐智鹏, 陈晨伟, 谢晶. 抗菌活性包装膜及其控释技术的研究进展[J]. *包装工程*, 2018, 39(5): 99-104.
TANG Zhi-peng, CHEN Chen-wei, XIE Jing. Research Progress of Antibacterial Active Packaging Film and Its Controlled Release Technology[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(5): 99-104.
- [32] TANTALA J, MEETHONGCHAI S, SUETHONG W, et al. Mold-Free Shelf-Life Extension of Fresh Rice Noodles by Synergistic Effects of Chitosan and Common Food Preservatives[J]. *Food Control*, 2022, 133: 108597.
- [33] JAFARZADEH S, MOHAMMADI NAFCHI A, SALEHABADI A, et al. Application of Bio-Nanocomposite Films and Edible Coatings for Extending the Shelf Life of Fresh Fruits and Vegetables[J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2021, 291: 102405.
- [34] 赵燕妮. 基于 RFID 技术的食品、药品智能包装应用研究[J]. *物联网技术*, 2019, 9(1): 86-87.
ZHAO Yan-ni. Research on Application of Intelligent Packaging of Food and Medicine Based on RFID Technology[J]. *Internet of Things Technologies*, 2019, 9(1): 86-87.
- [35] CHENG Hao, XU Hao, MCCLEMENTS D, et al. Recent Advances in Intelligent Food Packaging Materials: Principles, Preparation and Applications[J]. *Food Chemistry*, 2022, 375: 131738.
- [36] EHSANI N, ROSTAMABADI H, DADASHI S, et al. Electrospun Nanofibers Fabricated by Natural Biopolymers for Intelligent Food Packaging[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022: 1-23.
- [37] ECHEGARAY N, GUZEL N, KUMAR M, et al. Recent Advancements in Natural Colorants and Their Application as Coloring in Food and in Intelligent Food Packaging[J]. *Food Chemistry*, 2023, 404: 134453.
- [38] 黄迎港, 王桂英. 气体传感器在食品智能包装中的应用研究进展[J]. *包装工程*, 2022, 43(15): 137-149.
HUANG Ying-gang, WANG Gui-ying. Research Progress of Gas Sensors in Smart Food Packaging[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(15): 137-149.
- [39] HALLOUB A, RAJI M, ESSABIR H, et al. Intelligent Food Packaging Film Containing Lignin and Cellulose Nanocrystals for Shelf Life Extension of Food[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2022, 296: 119972.
- [40] BAO Feng, LIANG Zhao, DENG Jing, et al. Toward Intelligent Food Packaging of Biosensor and Film Substrate for Monitoring Foodborne Microorganisms: A Review of Recent Advancements[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022: 1-12.
- [41] 何青萍. 预警型智能包装在食品安全中的应用和设计[J]. *包装工程*, 2022, 43(1): 167-176.
He Qing-ping. Application and Design of Early Warning Intelligent Packaging in Food Safety[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(1): 167-176.
- [42] 王聪聪. 光学变色防伪油墨的应用与发展[J]. *网印工业*, 2015(6): 51-53.
WANG Cong-cong. Application and Development of Optical Color-Changing Anti-Counterfeiting Ink[J]. *Screen Printing Industry*, 2015(6): 51-53.
- [43] 施彤, 邓巧云, 李大纲. 液相剥离法制备石墨烯导电油墨的研究进展[J]. *包装工程*, 2022, 43(21): 50-57.
SHI Tong, DENG Qiao-yun, LI Da-gang. Recent Advances in Preparation of Graphene Conductive Inks by Liquid-Phase Exfoliation[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(21): 50-57.
- [44] VIEIRA D M, ANDRADE M A, VILARINHO F, et al. Mono and Multilayer Active Films Containing Green Tea to Extend Food Shelf Life[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2022, 33: 100918.
- [45] WEN Yan-yi, LIU Jia, JIANG Lei, et al. Development of Intelligent/Active Food Packaging Film Based on TEMPO-Oxidized Bacterial Cellulose Containing Thymol and Anthocyanin-Rich Purple Potato Extract for Shelf Life Extension of Shrimp[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2021, 29: 100709.
- [46] SOOCH B S, MANN M K. Nanoreinforced Biodegradable Gelatin Based Active Food Packaging Film for the Enhancement of Shelf Life of Tomatoes (*Solanum Lycopersicum* L.)[J]. *Food Control*, 2021, 130: 108322.
- [47] 陈嘉聪, 黄永德, 朱文娟, 等. 基于 Arrhenius 方程建立湿米粉货架期预测模型的研究[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(33): 132-138.
CHEN Jia-cong, HUANG Yong-de, ZHU Wen-juan, et al. The Shelf Life of Wet Rice Noodle: Prediction Based on Arrhenius Equation[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(33): 132-138.

- [48] NARDELLA S, CONTE A, DEL NOBILE M A. State-of-Art on the Recycling of By-Products from Fruits and Vegetables of Mediterranean Countries to Prolong Food Shelf Life[J]. *Foods* (Basel, Switzerland), 2022, 11(5): 665.
- [49] 沈旺旺, 高振洪, 樊沁昕, 等. 温度对自热食品理化指标影响及其货架期预测方法[J]. *包装工程*, 2021, 42(9): 141-151.
SHEN Wang-wang, GAO Zhen-hong, FAN Qin-xin, et al. Impact of Temperature on Physical and Chemical Properties of Self-Heating Food and Its Shelf Life Prediction Estimation[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(9): 141-151.
- [50] 孟云, 马俊伟, 廖超, 等. 凉皮中金黄色葡萄球菌生长预测模型的建立[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(4): 198-205.
MENG Yun, MA Jun-wei, LIAO Chao, et al. Establishment of Growth Predictive Model of *Staphylococcus Aureus* in Liangpi[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(4): 198-205.
- [51] 常少健, 刘义会, 王超凯, 等. 威布尔分析法在青稞发酵酒货架期预测中的应用[J]. *酿酒科技*, 2021(4): 122-124.
CHANG Shao-jian, LIU Yi-hui, WANG Chao-kai, et al. Application of Weibull Hazard Analysis in Predicting the Shelf Life of Highland Barley Wine[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2021(4): 122-124.

责任编辑: 曾钰婵