

基于生物可降解材料的活性包装在熟肉制品中的应用进展

陈文文¹, 朱立贤¹, 罗欣¹, 张一敏^{1*}, 郝剑刚², 张文华³

(1.山东农业大学食品科学与工程学院, 山东 泰安 271018; 2.国家肉牛牦牛产业技术体系乌拉盖站, 内蒙古 乌拉盖 026321; 3.国家肉牛牦牛产业技术体系中卫站, 宁夏 中卫 755000)

摘要: 肉制品不仅营养丰富, 而且是微生物的良好生长介质。在贮藏运输过程中科学合理的包装方式能够有效抑制肉制品的腐败变质, 从而保证肉制品品质。活性包装作为目前迅速发展的新技术之一, 在驱除氧气、控制二氧化碳含量、抗氧化和抑菌方面已取得一定的研究成果, 并在肉制品加工产业中得到应用。同时可降解的环保材料能够减少塑料污染, 符合绿色环保的发展理念, 并有助于实现食品包装产业的可持续发展。本文综述了基于生物可降解材料的活性包装在肉制品加工产业中的应用现状, 以及该类活性包装对熟肉制品货架期、脂肪氧化和蛋白氧化等品质的影响及其机制, 以期推进活性包装在熟肉制品中的应用并为相关研究提供理论指导。

关键词: 熟肉制品; 活性包装; 货架期; 活性成分; 生物可降解材料

Recent Progress in the Application of Biodegradable Active Packaging in Cooked Meat Products

CHEN Wenwen¹, ZHU Lixian¹, LUO Xin¹, ZHANG Yimin^{1*}, HAO Jiangang², ZHANG Wenhua³

(1.College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

2.Urago Station of National Beef Cattle Industrial Technology System, Urago 026321, China;

3.Zhongwei Station of National Beef Cattle Industrial Technology System, Zhongwei 755000, China)

Abstract: Meat products are nutritious but they also serve as good growth medium for microorganisms. Proper packaging forms for the storage and transportation of meat products are important to inhibit meat spoilage and hence ensure its quality. Active packaging is one of the new technologies that is being developed rapidly. Studies have shown that active packaging has achieved some results in the removal of oxygen, the control of carbon dioxide content, oxidation inhibition and microbial inhibition and thus has been successfully applied in the meat processing industry. Meanwhile, biodegradable and environmentally friendly materials can reduce plastic pollution, conforming with the concept of green and eco-friendly development and meeting the requirements for the sustainable development of the food packaging industry. Therefore, this review presents the application status of active packaging based on biodegradable materials in the processing of meat products, and deeply explores the effects and the underlying mechanisms of active packaging on the shelf life, lipid oxidation and protein oxidation of processed meat products. It is expected that the information gathered here will promote the development and application of active packaging in processed meat products and provide new ideas for relevant research.

Keywords: processed meat products; active packaging; shelf life; active components; biodegradable materials

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191107-270

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2020) 03-0075-07

引文格式:

陈文文, 朱立贤, 罗欣, 等. 基于生物可降解材料的活性包装在熟肉制品中的应用进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(3): 75-81.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191107-270. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2019-11-07

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YFD040150503); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-37); 山东省“双一流”奖补资金项目(SYL2017XTTD12);

山东省现代农业产业技术体系牛产业创新团队加工与质量控制岗位项目(SDAIT-09-09)

第一作者简介: 陈文文(1996—)(ORCID: 0000-0001-9717-4290), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉品加工与质量控制。

E-mail: 2388551886@qq.com

*通信作者简介: 张一敏(1985—)(ORCID: 0000-0001-5240-7126), 女, 副教授, 博士, 研究方向为肉品加工与质量控制。

E-mail: ymzhang@sdau.edu.cn



CHEN Wenwen, ZHU Lixian, LUO Xin, et al. Recent progress in the application of biodegradable active packaging in cooked meat products[J]. Meat Research, 2020, 34(3): 75-81. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191107-270. <http://www.rlyj.net.cn>

随着人们环保意识的增强和对食品安全品质要求的不断提高,消费者更趋向于选购化学防腐剂含量少的健康、安全、无公害食品。肉制品在贮藏运输过程中受微生物、酶、氧气等因素的影响极易发生腐败变质。包装材料与食品品质密切相关,目前应用于熟肉制品的包装材料与广泛应用于生鲜肉制品的有很大区别。熟肉制品的包装材料要求具有良好的密封性、低透氧率、较好的阻油性和阻湿性以及较强的抗拉强度^[1],如低密度聚乙烯、高密度聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯和聚偏二氯乙烯等。

近年来出现了天然高分子生物可降解包装材料,即以生物可降解物质(如淀粉、纤维素、壳聚糖、乳清蛋白、大豆蛋白、明胶等多糖蛋白及脂类物质)为原料制成的薄膜^[2-4]。与传统包装材料相比,这种包装材料能够在保障食品安全性的同时显著降低环境污染^[5]。除此之外,活性包装材料中有益成分的释放能够更好的保证肉制品的营养及风味,延缓熟肉制品的腐败变质,从而延长货架期^[6]。生物活性肽通常用于抑制病原菌的生长^[7-8]。天然提取物和精油中含有丰富的酚类化合物,也同样具有抗菌和抗氧化作用^[9]。由于这些物质具有脂溶性,能够减少亲水性薄膜的透水性^[10-11],因而将天然提取物添加到生物可降解薄膜中或作为涂层发挥作用,可以改善肉制品品质和延长货架期。因此,本文综述了在可降解包装膜中添加活性成分后对薄膜抑菌、抗氧化性能的影响及其在熟肉制品中的应用进展,以期能为基于生物可降解材料的活性包装在熟肉制品中的应用提供理论参考。

1 可降解活性包装材料对熟肉制品中微生物生长的影响

微生物污染是影响食品货架期的重要原因。微生物繁殖过程中能够生成生物胺、有机酸等物质,还会加速脂质氧化以及其他氧化过程,使肉制品产生不被消费者接受的刺激性气味^[12]。对于低温肉制品而言,蒸煮加热过程中能够杀灭食品中绝大多数微生物,因此微生物污染主要发生在之后的冷却、包装、贮藏和运输过程中。而抑菌包装能够有效抑制肉制品中微生物的生长,减少食源性疾病的发生,维持肉制品良好的感官特性和延长货架期^[13]。

1.1 可降解活性包装材料的抑菌性

抗菌包装是将抗菌剂以衬垫、涂层或者将其直接加入基质膜等方式制成的抗菌包装材料。除此以外,人们也在寻找可用作包装材料的天然抗菌性聚合物,如壳聚糖、天然可降解多糖以及蛋白质。许多天然抗菌剂的主

要来源是中草药和香辛料,其主要以精油和提取物的形式存在,如迷迭香精油、牛至精油、肉桂精油、百里香提取物、葡萄籽提取物、黄精提取物和柑橘提取物等。从植物中提取的精油所具有的抗菌作用主要来源于酚类物质,如丁香酚和麝香草酚等。研究表明,植物精油的抑菌作用机制主要包括以下几个方面:1)破坏微生物细胞壁和细胞膜结构,增加细胞膜通透性,使内容物渗出,导致细胞失活甚至死亡^[14-15];2)影响蛋白质合成和能量代谢进程,使细菌无法正常生长^[16];3)抑制菌体生长和分生孢子的产生与萌发^[17];4)影响DNA拓扑异构酶活性,从而阻碍细胞的DNA代谢活动,造成菌体死亡^[18]。薄膜抗菌物质的释放取决于多种因素,包括抗菌物质和聚合物链之间的静电作用、渗透作用、抗菌药物引起的结构变化以及环境条件等^[19-20]。天然抗菌物质的抑菌作用主要通过分子迁移作用实现的,而目前关于抗菌物质在肉制品中的迁移规律有待进一步研究。抗菌物质添加量过高也会对肉制品的风味产生不良影响,因此确定合适的添加量也十分重要。以可食用薄膜作为载体,添加活性成分,由于精油在食品表面能够缓慢释放,因此所需抗菌成分比直接应用的少。由于抗菌物质和聚合物链之间会产生静电作用和渗透作用等,因而活性成分添加量及释放速率也会对肉制品包装聚合物薄膜的特性造成影响^[21]。

1.2 可降解活性包装材料的抑菌性在熟肉制品中的应用

壳聚糖本身能够减少肉类食品中病原微生物的生长,壳聚糖及其衍生物等分子可作为制作抗菌薄膜的优良材料^[22-24]。相关研究者将壳聚糖和真空包装联合使用研究其对烤猪排品质的影响,结果表明:壳聚糖联合真空包装的抑菌性能较传统包装好,并且烤猪排的感官特性也较传统包装更好。由于壳聚糖黏性较大,当壳聚糖添加量大于2.5%时会导致包装薄膜发黏;而添加量低于2.0%时,壳聚糖薄膜的抗菌性和抗氧化活性不显著。因此,壳聚糖薄膜中的壳聚糖添加量为2.0%~2.5%时,壳聚糖薄膜可发挥抗菌、抗氧化功效,有效抑制微生物生长。28 d贮藏期间,与不添加壳聚糖的真空包装对照组相比,烤猪肉中菌落总数降低了2.53~2.67 (lg (CFU/g)),且不存在发黏现象^[25]。但由于壳聚糖的抑菌谱较窄,因此其应用范围有限。最新研究发现,以生物可降解材料为基膜,添加天然提取物质的活性包装膜在熟肉制品中的应用具有可行性^[26]。已有研究表明,在包装基质中添加细菌素、酶和多肽类物质,能够延缓肉制品中病原微生物和腐败微生物的生长^[27-28]。



表1 可食性抑菌活性包装薄膜在熟肉制品中的应用研究
Table 1 Recent studies on application of edible antimicrobial active packaging films in cooked meat products

基质	活性成分	活性物质添加量/%	目标菌	减少量	熟肉制品	参考文献
海藻酸钙	芦笋	1.0	菌落总数	0.10~0.50 (lg (CFU/g))	山羊肉香肠	[29]
		2.0		0.10~0.80 (lg (CFU/g))		
	榄仁	1.0	菌落总数	0.51~0.70 (lg (CFU/g))	羊肉香肠	[30]
				0.34~0.64 (lg (CFU/g))		
木薯淀粉	‘赤霞珠/维欧尼’葡萄籽提取物	8.0	单增李斯特菌 (<i>Listeria monocytogenes</i>)	1.00~2.00 (lg (CFU/cm ²))	即食鸡肉	[31]
	牛至精油	2.0	金黄色葡萄球菌 (<i>Staphylococcus aureus</i>)	3.00~6.00 (lg (CFU/cm ²))	火鸡	[32]
多糖	迷迭香精油	2.0	单增李斯特菌	2.00~6.00 (lg (CFU/cm ²))		
	葡萄籽提取物	15.0	中温链球菌	3.00 (lg (CFU/g))	切片鸡胸肉	[33]
壳聚糖	百里香精油	0.8	肠杆菌科 (<i>Enterobacteriaceae</i>)	4.00 (lg (CFU/g))	香肠	[34]
	迷迭香精油	0.8	肠杆菌科	3.92 (lg (CFU/g))		
蛋白质	牛至+百里香 (体积比55:0.45)	0.5	嗜冷菌	0.30~0.80 (lg (CFU/g))	碎牛肉	[35]
	大豆蛋白	5.0	绿脓假单胞菌 (<i>Pseudomonas aeruginosa</i>)	0.74 (lg (CFU/g))	牛肉饼	[36]
明胶	牛至+百里香 (体积比1:1)	1.0	大肠菌群	1.13 (lg (CFU/g))		
	牛至精油	1.0	单增李斯特菌	1.27 (lg (CFU/g))		
明胶	柠檬酸	1.0	菌落总数	1.60 (lg (CFU/g))		
	乳酸链球菌素	0.5~1.0	单增李斯特菌	1.90 (lg (CFU/g))		
明胶	牛至精油	1.0	菌落总数	约3.00 (lg (CFU/g))	熏干腊肠	[37]
	柠檬酸	1.0	菌落总数	约3.00 (lg (CFU/g))	牛肉	[38]
明胶	牛至精油	1.0	单增李斯特菌	2.00~3.00 (lg (CFU/g))	鸡肉肠	[39]
	柠檬酸	1.0	菌落总数	约3.00 (lg (CFU/g))		

表1总结了可食用抑菌活性包装薄膜在熟肉制品中应用的近期研究,为控制肉制品中的微生物生长提供理论参考。Xu Yixiang等^[31]选用‘赤霞珠’和‘维欧尼’葡萄籽提取物与淀粉、纤维素纳米晶制备2种淀粉/纤维素纳米晶体/葡萄籽提取物可食用活性薄膜,将其应用于即食鸡肉中进行抑菌活性的探究;在即食鸡肉表面接种4.00 (lg (CFU/cm²))的单增李斯特菌ATCC 7644和金黄色葡萄球菌ATCC 29213,并将其置于4℃条件下冷藏,在贮藏0、1、3、10 d进行微生物测定发现:与对照组相比,2种薄膜对单增李斯特菌均具有明显抑制作用,使即食鸡肉中的菌落总数下降了1.00~2.00 (lg (CFU/cm²)),且淀粉/纤维素纳米晶体/‘维欧尼’葡萄籽提取物膜对即食鸡肉中菌落生长的抑制效果比添加‘赤霞珠’的薄膜更好。2.6%月桂酸精氨酸涂覆的聚乳酸薄膜在熟火腿片上中能够抑制单增李斯特菌和鼠伤寒沙门氏菌 (*Salmonella typhimurium*) 的生长,但添加高剂量月桂酸精氨酸的薄膜透明度降低^[40]。研究表明,添加迷迭香、百里香和牛至等植物精油的可降解薄膜对多种革兰氏阳性菌和阴性菌有较好的抑制作用^[41],且精油使用量较少,因此将其应用于熟

肉制品中不仅能够保证肉制品良好的感官风味而且可以延长货架期。

抗菌包装还可以与其他技术如纳米技术和微胶囊化技术等共同作用,增加抗菌物质的活性,减少抗菌物质的添加量,增加抗菌包装的安全性。Khezrian等^[42]研究表明,与聚乙烯薄膜相比,纳米蒙脱土-羧甲基纤维素薄膜、纳米蒙脱土壳聚糖薄膜与2%芫荽精油和1%无花果提取物结合使用,能够使骆驼肉中的微生物减少1~4 (lg (CFU/g)),并有效延长骆驼肉的货架期。Benavides等^[43]将百里香精油和微胶囊技术结合制备不同分散度的乳液,经离子凝胶化将其封装在海藻酸钙微粒中,结果表明所制备的微球抗微生物活性显著。抗菌化合物的微胶囊化有助于提高其复合稳定性,避免与食品的相互作用,增加抗菌物质的有效活性,延长食品货架期。此外,对于抗菌包装的研究不能仅限于发现新的抗菌活性成分和开发新的抑菌包装薄膜,还应进一步研究抗菌活性物质的抑菌途径及其作用机理,以便更好的应用于实际生产。

2 可降解活性包装材料对熟肉制品氧化的影响

在肉制品加工贮藏过程中,脂质和蛋白质的氧化是造成其腐败和品质下降的重要原因。在大多数情况下,氧气的存在会加速脂肪氧化速率,促进霉菌、细菌和酵母菌等微生物的生长繁殖,造成肉制品变色,进而影响消费者的购买欲^[44]。同时,蛋白多肽链和氨基侧链对氧化敏感,以赖氨酸、脯氨酸、精氨酸和组氨酸为主的氨基酸氧化变质可产生影响肉类蛋白质功能的羰基化合物^[45],而且在肉制品加工过程中可能发生蛋白交联反应,引起熟肉制品出现营养成分流失、变味(酸败)、变色(褐变反应)等品质劣变现象,还可能形成有害物质,进而影响食品安全性。尽管目前使用的气调包装和真空包装在一定程度上能够保持氧敏感性食品品质,但少量残存的氧气仍然会导致脂肪氧化和蛋白质分解。

2.1 可降解活性包装材料的抗氧化性

抗氧化可降解活性包装通常是将抗氧化活性成分直接涂抹在可降解包装材料表面或者嵌入到可降解包装膜中。抗氧化活性成分主要通过捕集氧化前体物质及释放抗氧化成分来抑制氧化过程,延缓腐败进程。在开发新型活性包装材料的过程中,需要将活性物质与聚合物基质结合,结合过程中可能需要高温、高压、低pH值等条件。这种环境可能会导致热敏性活性成分的失活,而高压、充足二氧化碳、低温条件可以使得活性成分与聚合物结合,包装膜具有更好的抗氧化功效,从而减少活性物质的使用量,降低成本并获得更高的经济效益。目前,常用的抗氧化物质为丁羟基茴香醚和二丁基羟基

甲苯。由于消费者对天然产品需求的增加导致天然抗氧化剂的使用成为当前的研究热点。一些植物提取物和精油可以作为还原剂、金属离子螯合剂和单线态氧猝灭剂（其中起抗氧化作用的成分主要是酚酸类和萜类物质）发挥抗氧化效果^[46]。此外，一些动、植物蛋白及其水解产物本身也具有一定的抗氧化活性，如乳清蛋白、大豆蛋白及其水解物^[36-37]。与普通真空包装相比，抗氧化可降解活性包装具有良好的抗氧化能力，可以控制肉制品中的氧气水平以降低食品的脂质过氧化和蛋白质氧化，提高食品安全性和食用品质。

2.2 可降解活性包装材料的抗氧化性在熟肉制品中的应用

为了抑制熟肉制品脂质、蛋白质氧化进程，需要在加工过程或包装中加入抗氧化剂。Kong Baohua等^[47]从13种常用香料提取物中筛选出丁香、肉桂、肉豆蔻、小豆蔻、迷迭香和甘草6种总酚含量相对较高的提取物，并测定其1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除活性、铁还原能力、金属螯合力和硫代巴比妥酸值，最终选择添加量为0.05%的迷迭香、肉桂和丁香提取物作为熟肉饼贮藏期间的抗氧化剂，结果发现，与对照组相比，添加3种提取物均能抑制熟肉饼中的脂肪氧化，其效果与添加0.05%丁羟基茴香醚相当，贮藏7 d时处理组肉饼的硫代巴比妥酸值约为对照组的65%。Camo等^[48]研究了迷迭香萃取物喷涂、迷迭香提取物活性包装薄膜、牛至提取物活性包装薄膜和普通薄膜4种处理对羊排贮藏过程中品质变化的影响；结果表明，在低温条件下贮藏8 d时，4种包装下羊排的脂肪氧化程度呈现显著差异，其中添加牛至提取物的活性包装薄膜的抗氧化能力最强；与普通薄膜相比，添加活性成分的包装薄膜能更好地维持样品的感官风味。脂质氧化的抑制作用随着活性成分添加量的增加而增强，且与活性包装膜直接接触的样品脂肪氧化速率显著低于顶空释放抗氧化剂的样品。Ashrafi^[49]和Pabast^[50]等在可降解薄膜中添加精油，探究其对脂肪氧化的抑制作用，并得出相似结论。

多项研究表明，所选提取物的总酚含量与抗氧化能力间呈正相关，因此酚类化合物的含量可以作为评价其抗氧化能力的指标^[51-52]。壳聚糖中添加花生皮渣和辣椒皮渣2种提取物均能降低鸡肉产品的脂质氧化；其中，花生皮渣提取物中的总酚含量较高，效果较好，同样证明了总酚含量与抗氧化能力呈正相关的理论^[53]。此外，Park等^[54]评估了用精油中的氧化成分替代精油制成的薄膜在肉制品包装中应用的可行性，以玉米醇溶蛋白为聚合物基质，丁香酚为抗氧化剂，加入低密度聚乙烯薄膜中，制备抗氧化玉米醇溶蛋白复合薄膜，并对牛肉饼进行真空包装，结果发现，添加丁香酚的样品表现出较强的抗氧化性，脂肪氧化水平显著降低且肉色稳定性较好。

尽管已有大量研究表明添加天然抗氧化活性成分的薄膜能够有效延缓氧化进程，但目前关于薄膜生产方式对活性成分抗氧化能力的影响却未见报道。由于肉制品相关研究中所使用的抗氧化剂、聚合物及其肉类基质不同，导致难以进行整合比较。因此，未来关于抗氧化活性包装在肉制品中的研究应趋向于确定抗氧化剂、聚合物和肉制品的类型和含量，以及探究成膜方式对肉制品氧化的影响。

3 可降解活性包装材料对熟肉制品肉色的影响

肉色是影响消费者购买欲的重要因素，消费者通常通过肉色来评价肉品新鲜度及食用品质。影响肉制品肉色的因素有很多，主要包括pH值、加工方式、包装方式、贮藏条件（温度和时间）及微生物等^[55-57]。这些因素都是通过加工前后改变肌红蛋白的状态和含量，进而影响熟肉制品的肉色。而肌红蛋白状态的变化在很大程度上取决于氧气含量，因此不同包装方式对肉色影响较大。目前市场上常用的包装方式为真空包装和气调包装。研究表明，与高氧气调包装相比，一氧化碳气调包装能够更好地保持牛排在贮藏期间的肉色稳定性，这可能是由于在贮藏期间，高氧气调包装加快了肉品氧化进程，使得肌红蛋白转变为氧合肌红蛋白，进一步氧化为高铁肌红蛋白所导致^[58]。Suman等^[59]研究发现，可使用乳酸增强剂结合气调包装来保证肉色稳定性。近年来，研究人员开始探究活性包装对肉品品质的影响，结果表明，添加绿茶提取物的壳聚糖薄膜能够提高薄膜的抗氧化和抑菌性能，有效抑制冷藏过程中猪肉肠的脂肪氧化和微生物生长，从而保证香肠感官品质和肉色稳定性^[60]。Ribeiro-Santos等^[61]使用乳清蛋白作为基膜，添加肉桂和迷迭香混合精油（1%~5%）作为抗氧化剂，将其用于包装意大利腊肠，腊肠的脂肪氧化值显著降低，同时增加了肉色稳定性，最终达到延长保质期的效果。

4 结 语

与传统包装方式相比，基于生物可降解材料的活性包装在提高肉制品品质、延长货架期方面具有明显优势，但在其应用方面仍然存在一些问题。随着活性成分的添加，薄膜的微观结构会发生变化，进而降低薄膜的拉伸强度；同时，活性成分对高温、高压条件的敏感性较强，因此将其应用于工业化生产仍具有巨大挑战。而活性成分的抑菌作用主要是通过酚类物质的迁移实现的，但活性成分的迁移量和毒性尚未明确，因此可能会影响人体健康，进而引起食品安全问题。此外，与普通包装相比，活性包装的工艺相对复杂，成本相对较高，因此尚未普及使用。并且一些活性包装在体外实验中表



现出较高的抑菌抗氧化活性,而在实际应用过程中却出现活性减弱或丧失的现象,因此如何有效保持活性成分的稳定性有待进一步研究。

活性包装能够通过调控肉制品包装内环境,进而实现抑菌和抗氧化功效。而有些生物可降解材料本身具有抑菌和抗氧化功能,通过与天然活性成分的协同作用,能更好地抑制肉制品中微生物生长和氧化进程,因此基于生物可降解材料的活性包装在肉制品中具有良好的应用前景。但是已发现的天然活性成分十分有限,因此也应致力于发现更多的天然活性成分,并研究其在包装贮存过程中的作用机理,以及在工业化生产过程中的高温条件下,维持薄膜中天然提取物的抑菌、抗氧化功效及良好的物理性能。

近年来活性标签、时间温度指示卡、无线射频识别标签、新鲜度指示卡等智能包装技术和纳米材料的出现,不仅能够将肉类产品的品质特性及时反馈给生产企业,而且能够增强肉品溯源性和肉制品安全性。因此,未来将结合活性包装、智能包装、纳米包装材料的优势,更好地保证食品营养和感官特性以及延长肉制品货架期。因此,多种包装技术的结合将成为未来肉品包装技术领域的新趋势。

参考文献:

- [1] 周光宏. 肉品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 100.
- [2] ATARÉS L, CHIRALT A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 48: 51-62. DOI:10.1016/j.tifs.2015.12.001.
- [3] DE LÉIS C M, NOGUEIRA A R, KULAY L, et al. Environmental and energy analysis of biopolymer film based on cassava starch in Brazil[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 143: 76-89. DOI:10.1016/j.jclepro.2016.12.147.
- [4] HAN Y, YU M, WANG L. Physical and antimicrobial properties of sodium alginate/carboxymethyl cellulose films incorporated with cinnamon essential oil[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 15(1): 35-42. DOI:10.1016/j.foodres.2017.11.001.
- [5] KAEWPRACHU P, OSAKO K, BENJAKUL S, et al. Biodegradable protein-based films and their properties: a comparative study[J]. Packaging Technology and Science, 2016, 29(2): 77-90. DOI:10.1002/pts.2183.
- [6] ROONEY M L. Active food packaging[M]. Berlin: Springer, 1995: 74-110.
- [7] TAYLOR T M. Handbook of natural antimicrobials for food safety and quality[M]. Amsterdam: Elsevier Ltd, 2015: 211-228.
- [8] MCMILLIN K W. Advancements in meat packaging[J]. Meat Science, 2017, 132: 153-162. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.04.015.
- [9] ALVES-SILVA J M, DIAS D S S M, PINTADO M E, et al. Chemical composition and *in vitro*, antimicrobial, antifungal and antioxidant properties of essential oils obtained from some herbs widely used in Portugal[J]. Food Control, 2013, 32(2): 371-378. DOI:10.1016/j.foodcont.2012.12.022.
- [10] BENAVIDES S, VILLALOBOS-CARVAJAL R, REYES J E. Physical, mechanical and antibacterial properties of alginate film: effect of the crosslinking degree and oregano essential oil concentration[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110(2): 232-239. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2011.05.023.
- [11] TEIXEIRA B, MARQUES A, PIRES C, et al. Characterization of fish protein films incorporated with essential oils of clove, garlic and oregano: physical, antioxidant and antibacterial properties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59(1): 533-539. DOI:10.1016/j.lwt.2014.04.024.
- [12] SAGGIORATO G A, GAI O I, TREICHEL H, et al. Antifungal activity of basil essential oil (*Ocimum basilicum* L.): evaluation *in vitro* and on an Italian-type sausage surface[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(1): 378-384. DOI:10.1007/s11947-009-0310-z.
- [13] WANG H, LIU H, CHU C, et al. Diffusion and antibacterial properties of nisin-loaded chitosan/poly(L-lactic acid) towards development of active food packaging film[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(8): 1657-1667. DOI:10.1007/s11947-015-1522-z.
- [14] LÜ Fei, LIANG Hao, YUAN Qipeng, et al. *In vitro* antimicrobial effects and mechanism of action of selected plant essential oil combinations against four food-related microorganisms[J]. Food Research International, 2011, 44(9): 3057-3064. DOI:10.1016/j.foodres.2011.07.030.
- [15] HAYOUNI E A, BOUIX M, ABEDRABBA M, et al. Mechanism of action of *Melaleuca armillaris* (Sol. Ex Gaertn) Sm. essential oil on six LAB strains as assessed by multiparametric flow cytometry and automated microtiter-based assay[J]. Food Chemistry, 2008, 111(3): 707-718. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.04.044.
- [16] 王唯霖. 中草药提取物的抑菌机理及对大肠杆菌的耐药性研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015: 13-29.
- [17] TIAN J, BAN X, ZENG H, et al. Chemical composition and antifungal activity of essential oil from *Cicuta virosa* L. var. *latisepta*, Celak[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 145(2/3): 464-470. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01.023.
- [18] ROCHMAN M, BLOT N, DYACHENKO M, et al. Buffering of stable RNA promoter activity against DNA relaxation requires a far upstream sequence[J]. Molecular Microbiology, 2004, 53(1): 143-152. DOI:10.1111/j.1365-2958.2004.04126.x.
- [19] ORSUWAN A, SOTHORNVIT R. Development and characterization of banana flour film incorporated with montmorillonite and banana starch nanoparticles[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 174(11): 235-242. DOI:10.1016/j.carbpol.2017.06.085.
- [20] AVILA-SOSA R, PALOU E, JIMÉNEZ MUNGUÁ M T, et al. Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films[J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 153(1): 66-72. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2011.10.017.
- [21] CHEN X, LEE D S, ZHU X, et al. Release kinetics of tocopherol and quercetin from binary antioxidant controlled-release packaging films[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(13): 3492-3497. DOI:10.1021/jf2045813.
- [22] COMA V, MARTIAL-GROS A, GARREAU S, et al. Edible antimicrobial films based on chitosan matrix[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(3): 1162-1169. DOI:10.1111/j.1365-2621.2002.tb09470.x.

- [23] PIRES J R A, DE SOUZA V G L, FERNANDO A L. Chitosan/montmorillonite bionanocomposites incorporated with rosemary and ginger essential oil as packaging for fresh poultry meat[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 17(2): 142-149. DOI:10.1016/j.foodpack.2018.06.011.
- [24] HASSANZADEH P, TAJIK H, ROHANI S M R, et al. Effect of functional chitosan coating and gamma irradiation on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2017, 141(12): 103-109. DOI:10.1016/j.radphyschem.2017.06.014.
- [25] YINGYUAD S, RUAMSIN S, REEKPRKHON D, et al. Effect of chitosan coating and vacuum packaging on the quality of refrigerated grilled pork[J]. Packaging Technology and Science, 2006, 19(3): 149-157. DOI:10.1002/pts.717.
- [26] CATARINO M D, ALVES-SILVA M D, FERNANDES R P, et al. Development and performance of whey protein active coatings with *Origanum virens* essential oils in the quality and shelf life improvement of processed meat products[J]. Food Control, 2017, 80(10): 273-280. DOI:10.1016/j.foodcont.2017.03.054.
- [27] AZIZ M, KARBOUNE S. Natural antimicrobial/antioxidant agents in meat and poultry products as well as fruits and vegetables: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 58(3): 486-511. DOI:10.1080/10408398.2016.1194256.
- [28] IRKIN R, ESMER O K. Novel food packaging systems with natural antimicrobial agents[J]. Journal of Food Science Technology, 2015, 52(10): 6095-6111. DOI:10.1007/s13197-015-1780-9.
- [29] NOOR S, BHAT Z F, KUMAR S, et al. Preservative effect of *Asparagus racemosus*: a novel additive for bioactive edible films for improved lipid oxidative stability and storage quality of meat products[J]. Meat Science, 2018, 139(5): 207-212. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.02.001.
- [30] KALEM I K, BHAT Z F, KUMAR S, et al. The effects of bioactive edible film containing *Terminalia arjuna* on the stability of some quality attributes of chevon sausages[J]. Meat Science, 2018, 140(6): 38-43. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.02.011.
- [31] XU Yixiang, REHMANI N, ALSUBAIE L, et al. Tapioca starch active nanocomposite films and their antimicrobial effectiveness on ready-to-eat chicken meat[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 16(2): 86-91. DOI:10.1016/j.foodpack.2018.02.006.
- [32] MORSY M K, KHALAF H H, SHARABA A M, et al. Incorporation of essential oils and nanoparticles in pullulan films to control foodborne pathogens on meat and poultry products[J]. Journal of Food Science, 2014, 79(4): 675-684. DOI:10.1111/1750-3841.12400.
- [33] SOGUT E, SEYDIM A C. The effects of chitosan- and polycaprolactone-based bilayer films incorporated with grape seed extract and nanocellulose on the quality of chicken breast fillets[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 101(3): 799-805. DOI:10.1016/j.lwt.2018.11.097.
- [34] EDA D S, ARSLAN B, ERTÜRK D, et al. Microbiological, physicochemical and sensory characteristics of turkish fermented sausages (sucuk) coated with chitosan-essential oils[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 97(11): 198-204. DOI:10.1016/j.lwt.2018.06.049.
- [35] AGRIMONTI C, WHITE J C, TONETTI S, et al. Antimicrobial activity of cellulosic pads amended with emulsions of essential oils of oregano, thyme and cinnamon against microorganisms in minced beef meat[J]. International Journal of Food Microbiology, 2019, 305(18): 1-9. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108246.
- [36] EMIROĞLU Z K, YEMİŞ G P, COŞKUN B K, et al. Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties[J]. Meat Science, 2010, 86(2): 283-288. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.04.016.
- [37] CATARINO M D, ALVES-SILVA M D, FERNANDES R P, et al. Development and performance of whey protein active coatings with *Origanum virens* essential oils in the quality and shelf life improvement of processed meat products[J]. Food Control, 2017, 80: 273-280. DOI:10.1016/j.foodcont.2017.03.054.
- [38] BATTISTI R, FRONZA N, JÚNIOR Á V, et al. Gelatin-coated paper with antimicrobial and antioxidant effect for beef packaging[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2017, 11: 115-124. DOI:10.1016/j.foodpack.2017.01.009.
- [39] MIN B J, HAN I Y, DAWSON P L. Antimicrobial gelatin films reduce *Listeria monocytogenes* on turkey bologna[J]. Poultry Science, 2010, 89(6): 1307-1314. DOI:10.3382/ps.2009-00451.
- [40] THEINSATHID P, VISESSANGUAN W, KRUEANATE J, et al. Antimicrobial activity of lauric arginate-coated polylactic acid films against *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* on cooked sliced ham[J]. Food Microbiology and Safety, 2012, 77(2): 142-149. DOI:10.1111/j.1750-3841.2011.02526.x.
- [41] RIBEIRO-SANTOS R, SANCHES-SILVA A, MOTTA J F G, et al. Combined use of essential oils applied to protein base active food packaging: study *in vitro*, and in a food simulant[J]. European Polymer Journal, 2017, 93(8): 75-86. DOI:10.1016/j.eurpolymj.2017.03.055.
- [42] KHEZRIAN A, SHAHBAZI Y. Application of nanocomposite chitosan and carboxymethyl cellulose films containing natural preservative compounds in minced camel's meat[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 106(1): 1146-1158. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2017.08.117.
- [43] BENAVIDES S, CORTÉS P, PARADA J, et al. Development of alginate microspheres containing thyme essential oil using ionic gelation[J]. Food Chemistry, 2016, 204(15): 77-83. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.02.104.
- [44] SERPEN A, GÖKMEN V, FOGLIANO V. Total antioxidant capacities of raw and cooked meats[J]. Meat Science, 2012, 90(1): 60-65. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.05.027.
- [45] MATSUI R, HONDA R, KANOME M, et al. Designing antioxidant peptides based on the antioxidant properties of the amino acid side-chains[J]. Food Chemistry, 2018, 245(15): 750-755. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.11.119.
- [46] 张瑞, 刘婷, 吴建平, 等. 牛至精油在食品保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(10): 290-294. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.016485.
- [47] KONG Baohua, ZHANG Huiyun, XIONG Youling L.. Antioxidant activity of spice extracts in a liposome system and in cooked pork patties and the possible mode of action[J]. Meat Science, 2010, 85(4): 772-778. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.04.003.
- [48] CAMO J, BELTRÁN J A, RONCALÉS P. Extension of the display life of lamb with an antioxidant active packaging[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1086-1091. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.04.031.
- [49] ASHRAFI A, JOKAR M, MOHAMMADI A N. Preparation and characterization of biocomposite film based on chitosan and



- kombucha tea as active food packaging[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 108(3): 444-454. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2017.12.028.
- [50] PABAST M, SHARIATIFAR N, BEIKZADEH S, et al. Effects of chitosan coatings incorporating with free or nano-encapsulated Satureja, plant essential oil on quality characteristics of lamb meat[J]. *Food Control*, 2018, 91(9): 185-192. DOI:10.1016/j.foodcont.2018.03.047.
- [51] RADHA KRISHNAN K, BABUSKIN S, RAKHAVAN K R, et al. Potential application of corn starch edible films with spice essential oils for the shelf life extension of red meat[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2015, 119(6): 1613-1623. DOI:10.1111/jam.12932.
- [52] LIU Haiying, QIU Nongxue, DING Huihuang, et al. Polyphenols contents and antioxidant capacity of 68 Chinese herbals suitable for medical or food uses[J]. *Food Research International*, 2008, 41(4): 363-370. DOI:10.1016/j.foodres.2007.12.012.
- [53] SERRANO-LEÓN, JUAN S, BERGAMASCHI K B, et al. Chitosan active films containing agro-industrial residue extracts for shelf life extension of chicken restructured product[J]. *Food Research International*, 2018, 108(6): 93-100. DOI:10.1016/j.foodres.2018.03.031.
- [54] PARK H Y, KIM S J, KIM K M, et al. Development of antioxidant packaging material by applying corn-zein to LLDPE film in combination with phenolic compounds[J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(10): 273-279. DOI:10.1111/j.1750-3841.2012.02906.x.
- [55] SUMAN S P, NAIR M N, JOSEPH P, et al. Factors influencing internal color of cooked meats[J]. *Meat Science*, 2016, 120(10): 133-144. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.04.006.
- [56] MANCINI R A, RAMANATHAN R, SUMAN S P, et al. Effects of lactate and modified atmospheric packaging on premature browning in cooked ground beef patties[J]. *Meat Science*, 2010, 85(2): 339-346. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.02.001.
- [57] HOLLENBECK J J, APPLE J K, YANCEY J W S, et al. Cooked color of precooked ground beef patties formulated with mature bull trim[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 478. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.07.121.
- [58] 杨啸吟. 高氧与一氧化碳气调包装对冷却牛排肉色稳定性影响的机理探究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018: 27-31.
- [59] SUMAN S P, MANCINI R A, RAMANATHAN R, et al. Effect of lactate enhancement, modified atmosphere packaging, and muscle source on the internal cooked colour of beef steaks[J]. *Meat Science*, 2009, 81(4): 664-670. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.11.007.
- [60] SIRIPATRAWAN U, NOIPHA S. Active film from chitosan incorporating green tea extract for shelf life extension of pork sausages[J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 27(1): 102-108. DOI:10.1016/j.foodhyd.2011.08.011.
- [61] RIBEIRO-SANTOS R, DE MELO N R, ANDRADE M, et al. Whey protein active films incorporated with a blend of essential oils: characterization and effectiveness[J]. *Packaging Technology and Science*, 2018, 31(1): 27-40. DOI:10.1002/pts.2352.