

# 淀粉基食品薄膜在肉制品保鲜中的应用

迟敏, 李利元, 黄东杰\*

(沧州市食品药品检验所, 沧州 061001)

**摘要:** 肉制品作为具有高生物价值的蛋白质、矿物质、维生素和众多生物活性化合物等基本营养素的来源, 被人们广泛接受和喜爱。但是肉制品在不当环境下储存极易腐败变质, 亟需寻求绿色、高效的保鲜技术。近年来, 淀粉作为一种可成膜多糖被广泛用于制备生物可降解薄膜以用于食品包装, 通过作为抗氧化抗菌生物活性物质载体或隔绝氧气等来维持肉制品的新鲜度, 目前基于淀粉与成膜材料联合制备的复合膜已成为肉制品防腐保鲜技术的研究热点。因此, 本文通过综述淀粉的基本性质、基于淀粉制备的食品复合膜的结构及特性, 以及重点阐述淀粉基食品薄膜与精油、天然提取物、纳米复合材料等联用在肉制品保鲜中的研究进展, 以期对淀粉基食品薄膜在肉制品保鲜中的应用提供理论参考。

**关键词:** 淀粉; 食品薄膜; 肉制品保鲜

## Application of starch-based food films in preservation of meat products

CHI Min, LI Li-Yuan, HUANG Dong-Jie\*

(Cangzhou Institute for Food and Drug Control, Cangzhou 061001, China)

**ABSTRACT:** Meat products are widely accepted and loved as a source of essential nutrients such as proteins, minerals, vitamins, and numerous bioactive compounds with high biological value. However, meat products are highly susceptible to spoilage when stored in improper environments, and there is an urgent need to find green and efficient preservation technologies. In recent years, starch, as a film-forming polysaccharide, has been widely used to prepare biodegradable films for food packaging. It can maintain the freshness of meat products by serving as a carrier of antioxidant and antibacterial bioactive substances or isolating oxygen. Currently, composite films based on the combination of starch and film-forming materials have become a research hotspot for preservative and freshness preservation technology of meat products. Therefore, this paper summarized the basic properties of starch, the structure and characteristics of food composite films based on starch, and focused on the study of the combination of starch-based food films with essential oils, natural extracts, and nanocomposites in the preservation of meat products, in order to provide a theoretical reference for the application of starch-based food films in the preservation of meat products.

**KEY WORDS:** starch; food films; meat product preservation

## 0 引言

肉类是现代世界各地饮食的重要组成部分, 营养丰

富, 消化率高。肉类蛋白质具有很高的生物学价值, 而且富含必需氨基酸。此外, 肉类是大多数矿物质的良好来源, 尤其是易于吸收的铁。瘦肉也是硫胺素、核黄素、烟酸以

基金项目: 河北省重点研发计划项目(20327116D)

Fund: Supported by the Key Research and Development Project of Hebei Province (20327116D)

\*通信作者: 黄东杰, 工程师, 主要研究方向为食品药品。E-mail: 109745572@qq.com

\*Corresponding author: HUANG Dong-Jie, Engineer, Cangzhou Institute for Food and Drug Control, Cangzhou 061001, China. E-mail: 109745572@qq.com

及其他 B 族维生素的极好来源。同时肉类也可以为人体提供丰富的必需脂肪酸,如亚油酸、亚麻酸和油酸<sup>[1]</sup>。因此,定期摄入肉类可以促进身体健康,也可以有效防止营养不良。但是由于肉类含有丰富的营养成分,适中的 pH 和高水分含量,十分适宜微生物增殖、酶促自溶以及氧化。因此,与其他食物相比,肉类是最易腐烂的食物之一,需要适当地加工和处理以延长保质期<sup>[2]</sup>。而且,与鲜肉相比,碎肉增加了肉与空气和微生物的接触面积导致碎肉制品更易变质。目前认为造成肉制品腐败的主要原因是化学氧化和微生物增殖<sup>[3]</sup>。化学氧化主要是指脂质和蛋白质的氧化,影响这些氧化反应的因素是营养成分、空气、光线及温度等。氧化会导致肉制品的颜色、外观、风味和质地发生种种不良变化,并降低其营养价值。这些反应产生的主要产物(氢过氧化物、短链醛和酮等)会导致肉类产生异味以及发生其他的负面变化<sup>[4]</sup>。另外,在肉制品的加工处理过程中可能会引入有害微生物,这些微生物的生长和增殖会导致肉制品发生化学和感官上的变化<sup>[5]</sup>,因此,减缓化学氧化以及抑制微生物增殖是延长肉制品保质期的主要途径。

传统的肉制品保鲜技术最常用的有冷冻保鲜、高温灭菌保鲜、化学保鲜技术以及真空保鲜技术等,但是这些技术都存在一定缺陷,比如需要大型的冰箱或冰柜、与防腐剂(山梨酸钾、抗坏血酸等)一起联合使用、抽真空设备以及对包装材料的特殊要求等,而且还容易造成防腐剂残留超标、影响肉制品的食用品质,导致食品安全问题。因此,急需追寻高效、绿色、安全的肉制品保鲜技术<sup>[6]</sup>。近年来,可食用薄膜或涂层应用到肉制品的保鲜中也成为研究的热点<sup>[7]</sup>。可食用薄膜或涂层成本低,可以防止水分、气体和脂类的流失,还可以保存肉制品的营养特性,且不会影响肉制品的风味、颜色和味道。目前,多糖、蛋白质和脂质被用来制作可生物降解的可食用薄膜或涂层。多糖具有成本低、水溶性好、不需要溶剂、适合包衣的化学结构、易加工、热稳定性好等特点而广泛应用于可食用薄膜或涂层中<sup>[8]</sup>。其中淀粉被认为是食品包装工业中塑料的替代品。

淀粉是自然界中最丰富的天然聚合物之一,具有可再生性、成本效益、消耗性、生物降解性和可食用性<sup>[9]</sup>,开发以淀粉为基础的可食性薄膜已被越来越多的应用于食品保鲜中。一方面,与最常用的合成抗氧化剂相比,如丁基羟基甲苯(butylated hydroxytoluen, BHT)和丁基羟基苯甲醚(butylated hydroxyanisole, BHA),淀粉的安全性更高,更容易被消费者接受<sup>[10]</sup>。另一方面,淀粉基食品薄膜也可用作塑料的替代品,减少塑料使用对环境造成的污染,而且淀粉基食品薄膜与生物活性物质一起使用,也可用于延长肉制品的保质期<sup>[11]</sup>。

目前已有大量文献研究了淀粉基食品薄膜对肉制品保鲜的作用效果,但是尚未发现有關於淀粉基薄膜在肉制品保鲜中应用的相关综述,因此,本文介绍了淀粉的基本性质、基于淀粉制备的食品复合膜的结构及特性,着重探

讨了淀粉基食品薄膜与精油(essential oils, EOs)、天然提取物、纳米复合材料等联用在肉制品保鲜中的应用新进展,以期对淀粉基食品薄膜的高值化开发利用和肉制品的绿色、高效保鲜提供理论参考。

## 1 淀粉

在化学水平上,淀粉是一种聚合物,由通过糖苷键连接在一起的长链葡萄糖分子组成。在分子水平上,淀粉由两种主要的聚合物成分(直链淀粉和支链淀粉)组成,其性质和比例因来源而异<sup>[12]</sup>。天然淀粉一般以颗粒形式存在,呈球形、椭圆形或不规则形状,根据来源和成熟阶段的不同,直径约为 0.1 至 200  $\mu\text{m}$ <sup>[13]</sup>。但如果在超过一定温度下加热,它们会吸水并膨胀,一些直链淀粉从中浸出<sup>[14]</sup>。此外,淀粉糊化所需的高温 and 过量水分条件并不适用于所有淀粉食品。在相对较低的温度下,淀粉颗粒的结晶区域可以保持其完整性。但是,如果淀粉悬浮液继续加热,颗粒会继续吸水,结晶区域膨胀,最终导致淀粉颗粒破裂并形成亲水胶体溶液<sup>[15]</sup>。这个过程被称为淀粉的糊化。糊化后,当淀粉溶液冷却到足够低的温度时,淀粉分子氢键重组,有序结构重新建立<sup>[16-17]</sup>。同时,淀粉悬浮液的黏度增加并形成凝胶,这个过程被称为淀粉的老化。淀粉的结构和性能与淀粉基生物降解材料的形成和性能密切相关。淀粉属于天然多糖,可用于制造半透明或透明、无色、无味的生物可降解薄膜或淀粉薄膜<sup>[18-19]</sup>。淀粉可以以半结晶的亲水颗粒形式存在,直链淀粉和支链淀粉内部结构中的单位链长分布模式会影响淀粉的热性质和再生特性,从而影响淀粉基薄膜的性能。直链淀粉比例越高的淀粉制成的薄膜一般具有更好的成膜特性、更好的机械强度、伸长率以及气体阻隔性<sup>[20]</sup>,图 1 显示了淀粉的结构、性质及应用。

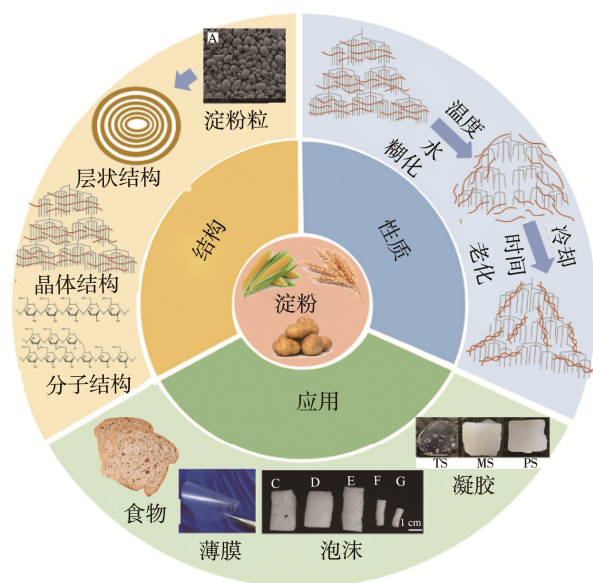


图 1 淀粉的结构、性质及应用<sup>[12,21-23]</sup>

Fig.1 Structure, properties and application of starch<sup>[12,21-23]</sup>

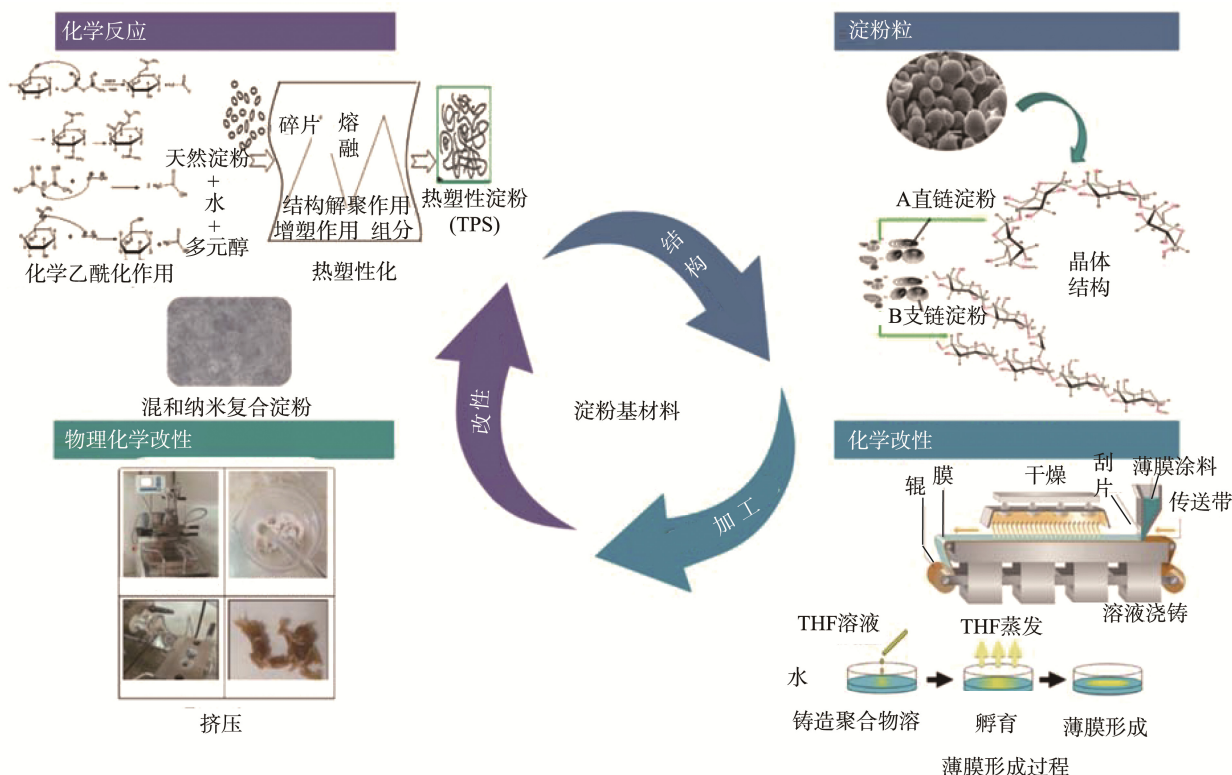
## 2 淀粉基食品薄膜

淀粉基食品薄膜通常是将淀粉分散液浇筑在光滑的表面或模具上,干燥后形成薄膜。具体来说,淀粉颗粒在过量的水中加热,在高温和水的作用下,淀粉颗粒发生糊化,即从半结晶相转变为无定形状态<sup>[24]</sup>。由于葡萄糖单元聚合物链的结合,淀粉冷却后会立即凝胶化,凝胶化淀粉分散体中解离的直链淀粉和支链淀粉重新结合以形成更有序的结构,即淀粉回生,这个过程影响了淀粉薄膜的渗透性、溶解度以及机械性能<sup>[25]</sup>。从本质上来说,淀粉并不是一种热塑性材料,但在存在增塑剂(如水和多元醇)、热和剪切应力的情况下,通过挤压使淀粉颗粒塑化导致增塑剂的结构破坏和扩散,淀粉表现为热塑性。淀粉通过热塑性材料转化工艺,以颗粒形式或糊化形式掺入制造的薄膜配方中<sup>[26-27]</sup>。但这些膜具有湿度敏感性的缺点,为了改善这些缺点,淀粉已与其他合成或生物可降解聚合物[如聚乳酸(poly(lactic acid), PLA)]混合或化学改性<sup>[28-30]</sup>。不同的淀粉基材料目前已有 Mater Bi®、Bioplast 和 Biopolar 品牌在市场上出售。淀粉基材料的特性取决于植物来源、作物条件和提取淀粉的遗传多样性等。图 2 显示了淀粉基材料演变过程中研究的结构、改性和加工技术的示意图。

在淀粉薄膜制备的过程中,直链淀粉和支链淀粉的

比例以及其他添加物都会影响其微观结构<sup>[35]</sup>,不同来源的淀粉以及不同添加物都会影响淀粉薄膜的性能,近年植物源淀粉制备可食用薄膜的研究如表 1 所示。由表 1 还可得出,大多数淀粉基薄膜存在溶解性较高的现象,但加入合成高聚物可有效解决该问题<sup>[36]</sup>。另外,一些产品的机械性能较低,在用作肉制品保鲜包装时不利于储存及运输,因此仍需研究既有优良的机械性能、较低的溶解性,又有较强的生物降解性的淀粉基薄膜。

总体来说,淀粉因其成本低、易获取、可降解、良好的成膜能力、良好的生物相容性和良好的可组合性,且无任何有毒残留物而被广泛用于食品包装<sup>[46]</sup>。然而,淀粉基薄膜仍存在很多缺陷。例如,淀粉可以为微生物提供营养,但不利于食品储存<sup>[47]</sup>。其次,淀粉具有亲水性,这导致其具有低柔韧性、高脆性、高水蒸气和透氧性等特性<sup>[37]</sup>。因此,很少存在仅由淀粉制成的生物塑料,而是通过添加其他聚合物,例如甘油<sup>[38]</sup>、纤维素<sup>[41]</sup>、PBAT<sup>[36]</sup>等,形成更稳健的三维网络结构以增加性能。此外,淀粉薄膜很难通过挤压制造,通常采用湿法制造,因此需要更多的能量和较长的干燥时间<sup>[48]</sup>。淀粉是一种环保且廉价的生物塑料制造材料,但需要添加其他聚合物以提高其机械性能。因此,今后的重点研究方向是需要为淀粉基薄膜寻找更好、更环保、更便宜的附加聚合物。



注: 热塑性淀粉(thermoplastic starch, TPS); 四氢呋喃(tetrahydrofuran, THF)。

图 2 淀粉基材料的结构、改性及加工工艺示意图<sup>[31-34]</sup>

Fig.2 Structure, modification and processing of starch-based materials<sup>[31-34]</sup>

表 1 植物来源淀粉基可食用薄膜的特性  
Table 1 Properties of plant-derived starch-based edible films

制备材料	机械性能	热稳定性	水蒸气通过率	溶解性	参考文献
玉米淀粉+马黛茶多酚	抗拉强度: 44.9 MPa 杨氏模量: 96.6 Mpa 断裂伸长率: 27.9%	Tg: 103.7°C; Tm: 171.1°C	$8.1 \times 10^{-10} \text{ g}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	28.4%	[36-37]
土豆淀粉+甘油+醋酸	杨氏模量: 70.9 MPa 抗拉强度: 4.28 MPa 断裂伸长率: 6.61%	-	$(0.139 \pm 0.028) \text{ g} \cdot \text{mm}/(\text{kPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{day})$	-	[38]
木薯淀粉+浆果提取物+甘油	抗拉强度: 11.74 MPa 断裂伸长率: 11.74%	-	$1.243 \times 10^{-10} \text{ g}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	-	[39]
木薯淀粉+乳清+壳聚糖+甘油	-	-	-	在 5°C 的水中 浸泡 95min 后微溶	[40]
马铃薯淀粉+纤维素+聚乙二醇+茜素	-	-	-	水可溶性 10.4% 膨胀指数: 129.46%	[41]
腰果壳淀粉+核桃壳纤维素+石榴皮提取物	抗拉强度: 25.78 MPa 断裂伸长率: 91.02% 杨氏模量: 25.73 MPa	第一阶段热降解: 100°C 第二阶段热降解: 245°C 第三阶段热降解: 301.46°C	氧气传输率: $9.32 \text{ cm}^3/(\mu\text{mm}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{kPa})$	41.47%	[42]
玉米淀粉+明胶+甘油	抗拉强度: 23.61 MPa 断裂伸长率: 4.7%	-	$3.88 \text{ g} \cdot \text{mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{kPa})$	14.16%	[43]
木薯淀粉+木薯/甘蔗渣物质+甘油	抗拉强度: 11.57 MPa	-	$5 \times 10^{-10} \text{ g}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	30.94%	[44]
玉米淀粉+甘油+Satureja 精油	杨氏模量: 1.13 MPa 断裂伸长率: 66.05%	-	$2.41 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h})$	-	[45]
木薯淀粉+PBAT+胭脂树橙+甘油	抗拉强度: 6.5 MPa 断裂伸长率: 200%	第一阶段热降解: 128°C 第二阶段热降解: 285.22°C 第三阶段讲解: 422.82°C	$0.3 \times 10^8 \text{ mmHg}$	4%	[36]

注: 聚己二酸-共对苯二甲酸丁二醇酯: [poly(butylene adipate-co-terephthalate), PBAT]; -表示无数据。

### 3 淀粉基食品膜在肉制品保鲜中的应用

肉制品的颜色是影响消费者做出购买决策最重要的因素之一, 因为肉制品的颜色与肉类的新鲜度高度相关<sup>[49-50]</sup>。阻气性和选择渗透性是成功开发可食用薄膜或涂层的特征要求, 该作用类似于在薄膜中加入抗菌剂或抗氧化剂。但是合成的抗氧化剂和抗菌剂存在剂量残留问题, 因此, 肉制品及其衍生产品的保鲜必须减少合成抗氧化剂和抗菌剂的使用。

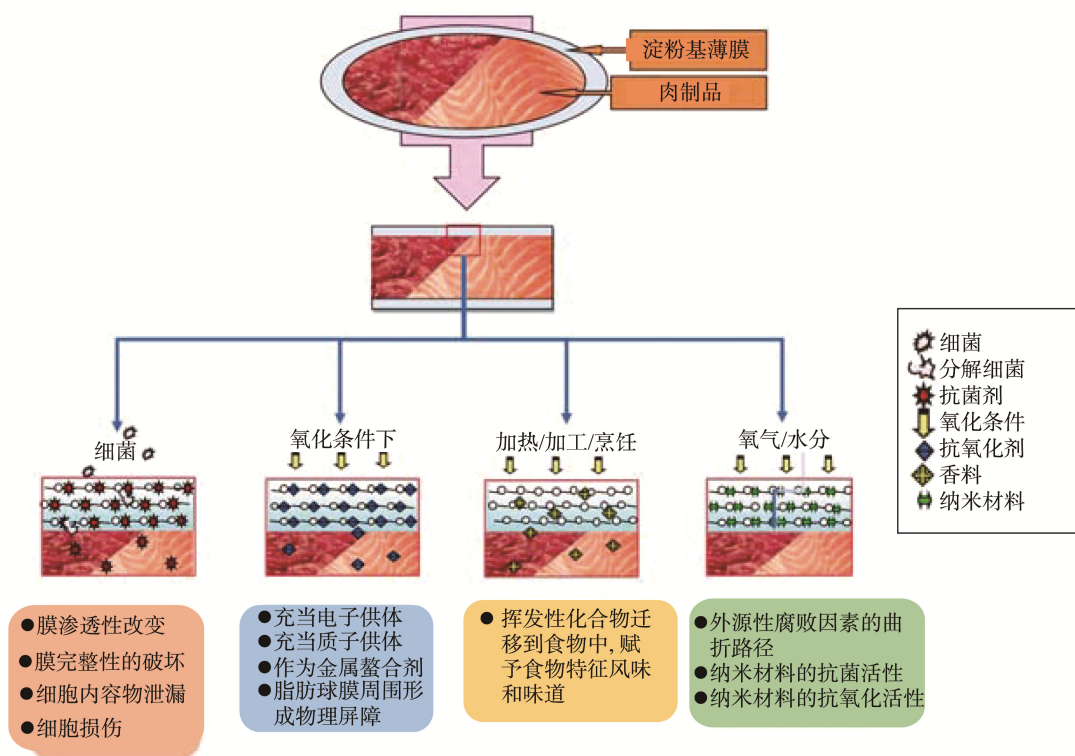
由于淀粉本身没有抗氧化性, 因此一般在淀粉中掺入具有抗氧化及抗菌特性的生物活性物质获得有利于食品保鲜的可食用薄膜, 因此将纯植物源淀粉用于肉制品

保鲜的研究较少。目前在淀粉中广泛使用和测试的活性成分有 EOs、天然提取物、纳米复合材料以及其他物质。一般来说, EOs 可延长食品在储存期间的稳定性, 抑制腐败或致病微生物的生长, 并防止氧化。图 3 显示了各种生物活性化合物与淀粉基薄膜结合后在肉制品中的作用机制。

#### 3.1 淀粉基薄膜混合 EOs 在肉制品保鲜中的应用

由于微生物生长会导致肉制品质量下降, 添加或增强淀粉基薄膜的抗菌活性是提高这些食品保质期的有效策略。草药和香料来源的 EOs 提供了广泛的活性化合物<sup>[52]</sup>, 在一定程度上可延长肉制品的保质期, 这主要与这些活性化合物具备可食用性、生物降解性等自然特性有关。



图3 各种生物活性化合物与淀粉基薄膜结合后在肉制品中的作用机制<sup>[51]</sup>Fig.3 Mechanism of action of various bioactive compounds in meat products after binding with starch based films<sup>[51]</sup>

含有草药提取物和植物副产品等活性成分的薄膜富含酚类化合物和萜类化合物, 它们往往会积极延缓肉类产品中微生物的增殖和生长, 尤其是含有香芹酚或百里酚的EOs。香芹酚(异丙基酚)是一种疏水性化合物, 积聚在微生物细胞膜中, 并诱导其膜的构象变化, 最终导致细胞死亡<sup>[53]</sup>。单萜, 如百里酚和薄荷醇, 会引起微生物细胞膜中脂质部分的扰动, 并改变其渗透性, 导致细胞内容物泄漏<sup>[54]</sup>。类似地, 从牛至中提取的EOs会改变微生物膜的渗透性, 导致磷酸盐、质子和钾的泄漏。由于薄膜和多酚之间的相互作用, 这些活性剂还提高了薄膜的阻隔性能<sup>[55]</sup>。

目前已有一些研究表明, 在淀粉膜中加入植物提取物和EOs(如迷迭香提取物、胸腺、木薯、绿茶、棕榈油、牛至和黑孜然)可以提高其抗氧化性能, 增强氧气屏障性能<sup>[56-59]</sup>。比如在木薯淀粉涂层中加入香橙EOs可以提高牛肉样品在储存期间的微生物稳定性<sup>[60]</sup>, 该试验表明, 在储存的第10 d和第14 d之间, 微生物的生长明显减少。用木薯淀粉包裹丁香和肉桂EOs保存牛肉片也有类似的结果<sup>[61]</sup>。淀粉与丁香EOs生物聚合物包装膜具有抗氧化作用, 可作为香肠的活性包装<sup>[60]</sup>。MOHAN等<sup>[62]</sup>研究表明通过混合香料(香茅和决明子EOs)的淀粉可食用薄膜包装可以延长羊肉的保质期。此外, RADHA等<sup>[61]</sup>还探究了玉米淀粉与香料EOs(丁香和肉桂)制作的可食用薄膜对冷藏(4°C)15 d期间生牛肉稳定性的影响, 据观察, 此淀粉基活性薄膜减少了

肉样品的微生物数量, 并提高了储存期结束时的颜色稳定性。这些结果表明淀粉基薄膜混合EOs在肉类产品中具有潜在的应用前景, 可作为控制微生物变质和延缓脂质氧化的额外屏障。同时含有牛至EOs的木薯淀粉膜在体外测试时也表现出令人满意的抗氧化和抗菌活性, 直到在冷藏条件下储存的第3 d, 含有牛至EOs的木薯淀粉膜都可以保护碎肉免受脂质氧化<sup>[63]</sup>。木薯淀粉薄膜与柠檬草EOs的应用也导致肉制品在储存期间微生物数量的减少<sup>[64]</sup>。来自*Zataria multiflora*和肉桂醛的EOs和玉米淀粉薄膜结合对在(4±1)°C下储存20 d的碎牛肉汉堡的物理化学和感官特性也产生不同的影响, 与不含EOs的淀粉基薄膜相比, 含有EOs的淀粉基薄膜在储存结束时的物理化学和感官参数方面表现出最佳效果<sup>[65]</sup>。

制备含EOs的淀粉基薄膜相对简单, 且具有优异的抗菌和抗氧化特性, 这有助于肉制品的安全和长期保存。然而, 这种类型的薄膜仍然受到诸如机械强度、水蒸气阻隔性和热稳定性降低等因素的限制, 还需要进一步探究。同时, 目前还没有关于EOs成分在聚合物基质中的稳定性的全面研究。例如, 这种抗氧化和抗菌活性在薄膜中停留的最长时间是多少, 这也需要在未来的研究中解决。而且尽管EOs对人类健康具有无数的特性, 但有关其膜的生物活性(细胞毒性、抗炎和抗癌活性研究)的信息仍然很少, 在这方面, 相信将研究导向这一领域可能会进一步扩大薄膜

在肉制品包装领域以外的应用潜力。最后,还需要对更大规模的生产过程进行评估,例如连铸和挤压以及生物降解研究,以巩固添加 EOs 的淀粉基薄膜的广泛使用。

### 3.2 淀粉基薄膜混合天然提取物在肉制品保鲜中的应用

脂质和蛋白质的氧化是肉制品变质的主要原因,由于肉制品不受控制地产生自由基、活性物质等而发生氧化损害,这些变化导致肉制品的风味、颜色、质地和营养价值下降<sup>[66]</sup>。从植物、水果、动物或其副产品中提取的天然活性物质正在被探索作为淀粉基薄膜或涂层中的天然抗氧化剂,例如,绿茶、生姜、肉桂、百里香、唇形科草本植物(如牛至、玫瑰和鼠尾草)、浆果(小红莓、草莓、黑莓等)都含有丰富的酚类化合物,赋予了其重要的抗氧化能力<sup>[67]</sup>。这些天然来源的大部分活性成分充当自由基清除剂和氢供体,防止自由基和活性物质的产生和传播。

目前已有一些报道将天然活性提取物与淀粉基薄膜结合应用于肉制品保鲜中,如琼脂/马铃薯淀粉与紫甘薯花青素提取物组成的淀粉基薄膜<sup>[68]</sup>、含有石榴皮提取物和百里香 EOs 的壳聚糖-淀粉膜<sup>[69]</sup>、蒲公英和牛至提取物活性明胶淀粉膜<sup>[70]</sup>、菠萝皮提取物的聚乙烯醇-淀粉薄膜<sup>[71]</sup>等,这些天然活性提取物提高了淀粉基薄膜的抗氧化和抗菌性能,防止了脂质氧化反应。

由沙棘果渣提取物和酯化马铃薯淀粉膜制备的复合膜(sea buckthorn pomace extract-esterified potato starch film, SPF)可显著降低牛肉干在贮藏过程中的水分流失、亮度( $L^*$ )、红色值( $a^*$ )、硫代巴比妥酸活性物质(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)和总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N) ( $P<0.05$ ),具有抑制牛肉干质量劣化的保护作用。然而,薄膜中高含量的沙棘果渣提取物(6%)也会影响牛肉干的气味<sup>[72]</sup>。此外,SPF 能有效抑制牛肉干中常见腐败菌的生长。同样,有报道称,使用香茅和决明子提取物与罗望子籽淀粉复合薄膜,羊肉片的保质期在 10°C 存储时延长了一周,在 4°C 存储时延长 3 周<sup>[62]</sup>。在 TPS 中加入草药提取物(即苏木或肉桂粉)制备的淀粉基薄膜在碎牛肉中具有优异的抗菌活性,可有效地保持碎牛肉的红色并延缓微生物的生长,延长碎牛肉的保质期,可作为一种有前途的肉制品活性包装材料。同时,以石榴皮粉和木薯淀粉基制备的薄膜在羊肉的保鲜中也表现出了较强的抗氧化活性和抗菌能力<sup>[73]</sup>。在另一项研究中,与传统塑料包装相比,将含有马铃薯皮酚类提取物的活性可食淀粉基薄膜应用于熏制鲷鱼的保鲜中,结果表明熏制鲷鱼具有良好的抗氧化活性和感官特性,如令人愉悦的气味和味道,且鱼片的颜色也得到了改善<sup>[74]</sup>。

肉类和肉制品容易发生氧化反应,从而降低其质量和营养性,危及消费者的健康和安全。广泛使用抗氧化剂

是一个有效的解决策略。如今,由于合成抗氧化剂的复杂性,消费者倾向于使用天然抗氧化剂。植物中提取的天然活性物质具有较高的抗氧化活性和抗菌能力,但大量使用会对肉类及肉制品的感官品质产生不良影响。克服这一问题的一个有效尝试是应用淀粉食用膜/涂层作为这些化合物的载体,从而控制抗氧化剂的使用。淀粉食用膜/涂层中的天然抗氧化剂可以改善膜基质,提高肉的保质期,有利于感官品质,提高肉的营养价值。

### 3.3 淀粉基薄膜混合纳米复合材料在肉制品保鲜中的应用

纳米复合材料是带有纳米颗粒或纳米纤维或纳米材料的薄膜,这些材料为所开发的薄膜赋予了独特功能。纳米成分可以被引入到聚合物基体中以产生纳米复合材料。纳米复合材料显示出更好的模量,气体阻隔性能,机械、热和尺寸稳定性等。这些纳米复合材料易于加工,透明且密度低<sup>[75]</sup>。纳米颗粒的抗菌作用是由于它干扰微生物的重要细胞过程,破坏复制和诱导靶剂的氧化应激。这些颗粒阻碍了膜上的结合位点,并阻碍了酶的活性。目前常用的纳米复合材料包括纳米银、纳米氧化锌(ZnO)、纳米二氧化氯等,纳米形式的氧化镁、氧化铜和二氧化钛( $TiO_2$ )以及碳纳米管的包装材料也在开发中,用于肉制品抗菌包装<sup>[76]</sup>。

近年来基于淀粉基薄膜混合纳米复合材料在肉制品的保鲜中的研究众多,采用 PBAT 和 TPS 共混 ZnO 纳米复合薄膜减少了猪肉脂质氧化并延缓了微生物的生长,从而使得总活菌数(乳酸菌、酵母、霉菌数)较低。较高的 ZnO 浓度显示出对微生物的抑制作用,微生物的生长受残留氧、薄膜形态和纳米颗粒特性的控制。ZnO 纳米复合薄膜在冷藏条件下能有效地将猪肉保质期延长了 3 d 以上<sup>[77]</sup>。同时,有研究利用 Ag- $TiO_2$  纳米复合材料与 *Satureja khuzestanica* 精油(*Satureja khuzestanica* essential oil, SEO)复合制备玉米淀粉膜,并研究其对鸡柳中嗜冷细菌和细菌总数以及对新鲜鸡柳感官特性(颜色、气味、质地和整体接受度)的影响。研究结果表明,与对照组(用塑料袋包装的鸡柳)和普通薄膜[以 1.5~2 log(CFU/g)的速率]相比,Ag- $TiO_2$ -SEO 玉米淀粉膜可显著减少鸡柳的细菌总数,第 7 d 后,新鲜鸡柳的感官特性较对照组仍然保持较好水平,Ag- $TiO_2$ -SEO 玉米淀粉膜具有优异的抗菌能力,具有成为肉制品包装的潜力<sup>[78]</sup>。还有采用纤维素纳米晶体和两种葡萄果渣提取物[品丽珠(红色品种)和维欧尼(白色品种)]联合制备木薯淀粉活性纳米复合膜,该薄膜能有效地抑制鸡胸肉片中的脂质氧化、减少好氧中温菌、嗜冷菌和肠杆菌总数,维持鸡胸肉的理化性质和感官特性。SOUZA 等<sup>[79]</sup>研究了木薯淀粉活性纳米复合薄膜对即食鸡肉的抗菌效果,研究表明,鸡肉样品在 4°C 下储存一周后,木薯淀粉活性纳米复合薄膜对单核增生乳杆菌表现出优异的抑制效果,

可延长即食鸡肉的货架期。

基于淀粉的生物聚合物与纳米复合材料(如纳米粘土、银、铜、ZnO、精油纳米颗粒等)联合被证明是肉类和肉类产品可生物降解包装的潜在候选者, 具有更好的机械、阻隔、热、抗菌和抗氧化性能。然而, 需要重点研究分析纳米复合薄膜中各组分各种性质、结构形态和尺寸。而且对纳米复合包装材料中迁移化合物的研究仍然非常局限于实验室动物的毒理学研究领域。纳米复合薄膜的生物降解性是另一个需要更多研究的领域。因此, 在选择合适的成分来开发可生物降解的纳米复合材料薄膜的同时, 应特别注意其薄膜特性、形态学、毒理学效应和生物降解性。

## 4 结 论

在过去的几十年里, 多种类型的可食用涂层被用于保存肉制品及其他产品中。几种可食用生物聚合物也被广泛研究用于涂层/薄膜的形成。淀粉资源丰富、安全、价廉, 是应用较为广泛的一种制备生物薄膜的材料。然而, 淀粉基薄膜中的大多数都具有一定的局限性, 还没有得到实质性的工业化/商业化, 以及消费者广泛的接受度。因此, 有必要进一步研究纳米复合材料和生物成分对淀粉基薄膜的影响。同时, 纳米技术的应用以及添加抗菌剂和抗氧化剂的有效性, 为开发用于肉类和肉制品保鲜的淀粉基薄膜开辟了一个新的研究领域。淀粉基薄膜的可持续应用和使用需要食品技术人员的协同努力, 以开发能够克服天然薄膜缺点的包装材料, 下一代包装材料需要具有可生物降解、可持续和天然的特性, 同时具有合成聚合物的强度和可塑性。与此同时, 也有必要对淀粉基薄膜的新技术进行进一步研究, 特别是在工业规模上, 以提高这些薄膜的性能并扩大这些薄膜作为各种食品包装的应用, 如水果和蔬菜、烘焙产品和肉类。可以探索的技术领域包括寻找降低成本的策略、增加工业规模(而不是实验室规模)的生产、优化成膜配方和工艺条件、评估薄膜的整个生命周期, 以及调查对包装食品安全和质量的影响, 同时减少浪费。

## 参考文献

- [1] AMARAL AB, SILVA MVD, LANNES SCDS. Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors—A review [J]. *Food Sci Technol*, 2018, 38: 1–15.
- [2] CHACHA JS, OFOEDU CE, XIAO K. Essential oil-based active polymer-based packaging system: A review of its effect on the antimicrobial, antioxidant, and sensory properties of beef and chicken meat [J]. *J Food Process Preserv*, 2022, 46(11): e16933.
- [3] HAJJI M, FALCIMAIGNE-GORDIN A, KSOUDA G, *et al.* A water-soluble polysaccharide from *Anethum graveolens* seeds: Structural characterization, antioxidant activity and potential use as meat preservative [J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 167: 516–527.
- [4] WANG L, ZHANG X, NIU Y, *et al.* Anticoagulant activity of two novel polysaccharides from flowers of *Apocynum venetum* L. [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 124: 1230–1237.
- [5] KALININA TS, ZLENKO DV, KISELEV AV, *et al.* Antiviral activity of the high-molecular-weight plant polysaccharides (Panavir®) [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 161: 936–938.
- [6] 曹云刚, 张瀚丹, 张鑫, 等.  $\epsilon$ -聚赖氨酸抑菌机制及其在肉类保鲜中的应用[J]. *精细化工*, 2022, 39: 1–6, 64.  
CAO YG, ZHANG HD, ZHANG X, *et al.* Bacteriostatic mechanism of  $\epsilon$ -polylysine and its application in meat preservation [J]. *Fine Chem*, 2022, 39: 1–6, 64.
- [7] 何守魁, 刘欣悦, 李慧珍, 等. 壳聚糖-丁香精油微乳液复合膜的制备及其对猪肉的保鲜作用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(17): 5650–5655.  
HE SK, LIU XY, LI HZ, *et al.* Preparation and pork preservation application of chitosan films incorporated with clove essential oil microemulsions [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(17): 5650–5655.
- [8] ZHENG Y, MONTY J, LINHARDT RJ. Polysaccharide-based nanocomposites and their applications [J]. *NIH Public Access*, 2015. DOI: 10.1016/J.CARRES.2014.07.016.
- [9] 侯籽利, 罗舒文, 陈艳婷, 等. 淀粉基可生物降解材料在食品包装中的研究进展[J/OL]. *化工新型材料*: 1–14. [2023-05-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2357.TQ.20220624.1443.002.html>  
HOU ZL, LUO SW, CHEN YT, *et al.* Research progress of starch based biodegradable materials in food Packaging [J]. *New Chem Mater*: 1–14. [2023-05-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2357.TQ.20220624.1443.002.html>
- [10] HASSAN B, CHATHA SAS, HUSSAIN AI, *et al.* Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 109: 1095–1107.
- [11] BHAGATH Y, MANJULA K. Influence of composite edible coating systems on preservation of fresh meat cuts and products: A brief review on their trends and applications [J]. *Int Food Res J*, 2019, 26(2): 377–392.
- [12] CHEN L, ZHANG H, MCCLEMENTS DJ, *et al.* Effect of dietary fibers on the structure and digestibility of fried potato starch: A comparison of pullulan and pectin [J]. *Carbohydr Polym*, 2019, 215: 47–57.
- [13] 张静贤. 微晶纤维素/淀粉基复合包装膜制备及性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.  
ZHANG JX. Preparation and properties of microcrystalline cellulose/starch based composite packaging film [J]. *Wuxi: Jiangnan University*, 2022.
- [14] LIU Y, CHAO C, YU J, *et al.* New insights into starch gelatinization by high pressure: Comparison with heat-gelatinization [J]. *Food Chem*, 2020, 318: 126493.
- [15] LIM MH, WU H, REID DS. The effect of starch gelatinization and solute concentrations on Tg' of starch model system [J]. *J Sci Food Agric*, 2000, 80(12): 1757–1762.
- [16] 陈龙, 程昊, 王谊, 等. 淀粉基可降解材料及其在食品工业中的应用[J]. *中国食品学报*, 2022, 22: 364–375.  
CHEN L, CHENG H, WANG Y, *et al.* Starch-based biodegradable materials and their applications in food industry [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2022, 22: 364–375.
- [17] LI C, HU Y, LI E. Effects of amylose and amylopectin chain-length distribution on the kinetics of long-term rice starch retrogradation [J]. *Food Hydrocolloid*, 2021, 111: 106239.
- [18] MOHAMED SA, EL-SAKHAWY M, EL-SAKHAWY MAM. Polysaccharides,

- protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review [J]. *Carbohydr Polym*, 2020, 238: 116178.
- [19] SKURTYS O, VELÁSQUEZ P, HENRIQUEZ O, *et al.* Wetting behavior of chitosan solutions on blueberry epicarp with or without epicuticular waxes [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2011, 44(6): 1449–1457.
- [20] TESTER RF, KARKALAS J, QI X. Starch—composition, fine structure and architecture [J]. *J Cere Sci*, 2004, 39(2): 151–165.
- [21] LI J, ZHOU M, CHENG G, *et al.* Fabrication and characterization of starch-based nanocomposites reinforced with montmorillonite and cellulose nanofibers [J]. *Carbohydr Polym*, 2019, 210: 429–436.
- [22] MENG L, LIU H, YU L, *et al.* How water acting as both blowing agent and plasticizer affect on starch-based foam [J]. *Ind Crop Prod*, 2019, 134: 43–49.
- [23] XIAO Y, LIU S, SHEN M, *et al.* Effect of different *Mesona chinensis* polysaccharides on pasting, gelation, structural properties and in vitro digestibility of tapioca starch-*Mesona chinensis* polysaccharides gels [J]. *Food Hydrocolloid*, 2020, 99: 105327.
- [24] BASIAK E, LENART A, DEBEAUFORT F. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films [J]. *Int J Biol Macromol*, 2017, 98: 348–356.
- [25] PODSHIVALOV A, ZAKHAROVA M, GLAZACHEVA E, *et al.* Gelatin/potato starch edible biocomposite films: Correlation between morphology and physical properties [J]. *Carbohydr Poly*, 2017, 157: 1162–1172.
- [26] TAPIA-BLÁCIDO D, SOBRAL PJ, AND-MENEGALLI FC. Development and characterization of biofilms based on *Amaranth* flour (*Amaranthus caudatus*) [J]. *J Food Eng*, 2005, 67(1–2): 215–223.
- [27] PARRA DF, TADINI C, PONCE P, *et al.* Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films [J]. *Carbohydr Poly*, 2004, 58(4): 475–481.
- [28] SHAMEKH S, MYLLÄRINEN P, POUTANEN K, *et al.* Film formation properties of potato starch hydrolysates [J]. *Starch-Stärke*, 2002, 54(1): 20–24.
- [29] YU H, SABATO S, D'APRANO G, *et al.* Effect of the addition of CMC on the aggregation behaviour of proteins [J]. *Radiat Phys Chem*, 2004, 71(1–2): 131–135.
- [30] 刘文勇, 王志杰, 刘家豪, 等. 淀粉薄膜的研究进展[J]. *包装学报*, 2020, 12: 25–35.
- LIU WY, WANG ZJ, LIU JH, *et al.* Research progress of starch films [J]. *J Pack*, 2020, 12: 25–35.
- [31] CASTAÑO J, RODRÍGUEZ-LLAMAZARES S, CARRASCO C, *et al.* Physical, chemical and mechanical properties of pehuen cellulosic husk and its pehuen-starch based composites [J]. *Carbohydr Poly*, 2012, 90(4): 1550–1556.
- [32] XU Y, MILADINOV V, HANNA MA. Synthesis and characterization of starch acetates with high substitution [J]. *Cere Chem*, 2004, 81(6): 735–740.
- [33] THUWALL M, BOLDIZAR A, RIGDAHL M. Extrusion processing of high amylose potato starch materials [J]. *Carbohydr Poly*, 2006, 65(4): 441–446.
- [34] DUFRESNE A. Preparation and properties of cellulose nanomaterials [J]. *Paper Biomater*, 2020, 5(3): 1–13.
- [35] IVANIČ F, JOČEC-MOŠKOVÁ D, JANIGOVÁ I, *et al.* Physical properties of starch plasticized by a mixture of plasticizers [J]. *European Polym J*, 2017, 93: 843–849.
- [36] LEAL IL, SILVAROSA YC, SILVAPENHA J, *et al.* Development and application starch films: PBAT with additives for evaluating the shelf life of Tommy Atkins mango in the fresh-cut state [J]. *J Appl Polym Sci*, 2019, 136(43): 48150.
- [37] SILVEIRA HP, ÁVILA S, APEA-BAH FB, *et al.* Sustainable use of *Ilex paraguariensis* waste in improving biodegradable corn starch films' mechanical, thermal and bioactive properties [J]. *J Polym Environ*, 2020, 28: 1696–1709.
- [38] ROMEIRA KM, ABDALLA G, GONÇALVES RP, *et al.* Residual starch packaging derived from potato washing slurries to preserve fruits [J]. *Food Bioprocess Technol*, 2021, 14: 2248–2259.
- [39] YUN D, CAI H, LIU Y, *et al.* Development of active and intelligent films based on cassava starch and Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) anthocyanins [J]. *RSC advances*, 2019, 9(53): 30905–30916.
- [40] ANTONIUS R, SIMAMORA L, SETIANI P, *et al.* Production of biodegradable package material from tofu industry byproduct [C]. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020.
- [41] EZATI P, TAJIK H, MORADI M, *et al.* Intelligent pH-sensitive indicator based on starch-cellulose and alizarin dye to track freshness of rainbow trout fillet [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 132: 157–165.
- [42] HARINI K, MOHAN CC, RAMYA K, *et al.* Effect of *Punica granatum* peel extracts on antimicrobial properties in Walnut shell cellulose reinforced bio-thermoplastic starch films from cashew nut shells [J]. *Carbohydr Polym*, 2018, 184: 231–242.
- [43] MALHERBI NM, SCHMITZ AC, GRANDO RC, *et al.* Corn starch and gelatin-based films added with guabiroba pulp for application in food packaging [J]. *Food Packag Shelf Life*, 2019, 19: 140–146.
- [44] CARDOSO T, ESMERINO LA, BOLANHO BC, *et al.* Technological viability of biobased films formulated with cassava by-product and *Spirulina platensis* [J]. *J Food Process Eng*, 2019, 42(5): e13136.
- [45] SALLAK N, MOGHANJOUGH AM, ATAEE M, *et al.* Antimicrobial biodegradable film based on corn starch/*Satureja khuzestanica* essential oil/Ag-TiO<sub>2</sub> nanocomposites [J]. *Nanotechnology*, 2021, 32(40): 405703.
- [46] ALI A, CHEN Y, LIU H, *et al.* Starch-based antimicrobial films functionalized by pomegranate peel [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 129: 1120–1126.
- [47] ZHAO Y, LI B, LI C, *et al.* Comprehensive review of polysaccharide-based materials in edible packaging: A sustainable approach [J]. *Foods*, 2021, 10(8): 1845.
- [48] SANTHOSH R, NATH D, AND SP. Novel food packaging materials including plant-based byproducts: A review [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2021, 118: 471–489.
- [49] UMARAW P, VERMA AK. Consumer perception changes meat products [J]. *J Meat Prod Meat Process*, 2016, (1): 58–64.
- [50] 张昭. 基于百里香精油微乳液层层自组装微胶囊的淀粉基薄膜的抗菌保鲜应用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- ZHANG Z. Antibacterial and fresh-keeping application of starch-based film based on thyme essential oil microemulsion layer self-assembled microcapsules [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019.
- [51] UMARAW P, MUNEKATA P, VERMA AK, *et al.* Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2020. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.01.032



- [52] CHRISTAKI E, BONOS E, GIANNENAS I, *et al.* Aromatic plants as a source of bioactive compounds [J]. *Agriculture*, 2012, 2(3): 228–243.
- [53] BENARFA A, COMBES S, PREZIOSI-BELLOU L, *et al.* Antimicrobial activity of carvacrol related to its chemical structure [J]. *Lett Appl Microbiol*, 2006, 43(2): 149–154.
- [54] TROMBETTA D, CASTELLI F, SARPIETRO MG, *et al.* Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes [J]. *Antimicrob Agents Chem*, 2005, 49(6): 2474–2478.
- [55] GANIARI S, CHOULITOU DI E, OREOPOULOU V. Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2017, 68: 70–82.
- [56] HERNANDEZ-IZQUIERDO V, KROCHTA J. Thermoplastic processing of proteins for film formation-A review [J]. *J Food Sci*, 2008, 73(2): R30–R39.
- [57] MEHDIZADEH T, TAJIK H, ROHANI SMR, *et al.* Antibacterial, antioxidant and optical properties of edible starch-chitosan composite film containing *Thymus kotschyanus* essential oil [C]. *Veterinary Research Forum*, 2012.
- [58] PERAZZO KKNCL, CONCEIÇÃO ACDV, SANTOS JCPD, *et al.* Properties and antioxidant action of actives cassava starch films incorporated with green tea and palm oil extracts [J]. *PLoS One*, 2014, 9(9): e105199.
- [59] SUPUT D, LAZIC V, PEZO L, *et al.* Characterization of starch edible films with different essential oils addition [J]. *Polish J Food Nutr Sci*, 2016, 66(4): 277–285.
- [60] UTAMI R, KHASANAH L, NASUTION M. Preservative effects of kaffir lime (*Citrus hystrix* DC) leaves oleoresin incorporation on cassava starch-based edible coatings for refrigerated fresh beef [J]. *Intl Food Res J*, 2017, 24(4): 1464.
- [61] RADHA KK, BABUSKIN S, RAKHAVAN K, *et al.* Potential application of corn starch edible films with spice essential oils for the shelf life extension of red meat [J]. *J Appl Microbiol*, 2015, 119(6): 1613–1623.
- [62] MOHAN CC, BABUSKIN S, SUDHARSAN K, *et al.* Active compound diffusivity of particle size reduced *S. aromaticum* and *C. cassia* fused starch edible films and the shelf life of mutton (*Capra aegagrus hircus*) meat [J]. *Meat Sci* 2017, 128: 47–59.
- [63] GAO W, WU W, LIU P, *et al.* Preparation and evaluation of hydrophobic biodegradable films made from corn/octenylsuccinated starch incorporated with different concentrations of soybean oil [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 142: 376–383.
- [64] SUPARDAN MD, ANNISA Y, ARPI N, *et al.* Cassava starch edible film incorporated with lemongrass oil: Characteristics and application [J]. *Int J Adv Sci Eng Inf Technol*, 2016, 6(2): 216–220.
- [65] AMIRI E, AMINZARE M, AZAR HH, *et al.* Combined antioxidant and sensory effects of corn starch films with nanoemulsion of *Zataria multiflora* essential oil fortified with cinnamaldehyde on fresh ground beef patties [J]. *Meat Sci*, 2019, 153: 66–74.
- [66] PATEIRO M, BARBA FJ, DOMÍNGUEZ R, *et al.* Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: A review [J]. *Food Res Int*, 2018, 113: 156–166.
- [67] LORENZO JM, PATEIRO M, DOMÍNGUEZ R, *et al.* Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review [J]. *Food Res Int*, 2018, 106: 1095–1104.
- [68] CHOI I, LEE JY, LACROIX M, *et al.* Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato [J]. *Food Chem*, 2017, 218: 122–128.
- [69] MEHDIZADEH T, TAJIK H, LANGROODI AM, *et al.* Chitosan-starch film containing pomegranate peel extract and *Thymus kotschyanus* essential oil can prolong the shelf life of beef [J]. *Meat Sci*, 2020, 163: 108073.
- [70] BARBOSA TCM, GRISI CVB, FONSECA SB, *et al.* Effect of active gelatin-starch film containing *Syzygium cumini* and *Origanum vulgare* extract on the preservation of lamb burgers [J]. *Meat Sci*, 2022, 191: 108844.
- [71] KUMAR P, TANWAR R, GUPTA V, *et al.* Pineapple peel extract incorporated poly (vinyl alcohol)-corn starch film for active food packaging: Preparation, characterization and antioxidant activity [J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 187: 223–231.
- [72] GUO Z, HAN L, YU QL, *et al.* Effect of a sea buckthorn pomace extract-esterified potato starch film on the quality and spoilage bacteria of beef jerky sold in supermarket [J]. *Food Chem*, 2020, 326: 127001.
- [73] ESFAHANI A, MOHAMMADI NA, BAGHAEI H, *et al.* Fabrication and characterization of a smart film based on cassava starch and pomegranate peel powder for monitoring lamb meat freshness [J]. *Food Sci Nutr*, 2022, 10(10): 3293–3301.
- [74] LOPES J, GONCALVES I, NUNES C, *et al.* Potato peel phenolics as additives for developing active starch-based films with potential to pack smoked fish fillets [J]. *Food Packag Shelf Life*, 2021, 28: 100644.
- [75] VICKERS NJ. Animal communication: When i'm calling you, will you answer too? [J]. *Curr Biol*, 2017, 27(14): R713–R715.
- [76] KANDEEPAN G. Biodegradable nanocomposite packaging films for meat and meat products: A review [J]. *J Pack Technol Res*, 2021, 5(3): 143–166.
- [77] PHOTHISARATTANA D, WONGPHAN P, PROMHUAD K, *et al.* Blown film extrusion of PBAT/TPS/ZnO nanocomposites for shelf-life extension of meat packaging [J]. *Colloid Surf B*, 2022, 214: 112472.
- [78] SALLAK N, MOTALLEBI MA, ATAEE M, *et al.* Evaluation of the effect of corn starch film composed of Ag-TiO nanocomposites and *Satureja khuzestanica* essential oil on the shelf-life of chicken fillet [Z]. 2022.
- [79] SOUZA VGL, PIRES JR, RODRIGUES PF, *et al.* Bionanocomposites of chitosan/montmorillonite incorporated with *Rosmarinus officinalis* essential oil: Development and physical characterization [J]. *Food Pack Shelf Life*, 2018, 16: 148–156.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

## 作者简介

迟 敏, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品工程。

E-mail: h03337@163.com

黄东杰, 工程师, 主要研究方向为食品药品。

E-mail: 109745572@qq.com