

袁冬雪, 常婧瑶, 殷永超, 等. 油凝胶替代动物脂肪在肉制品中应用的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(14): 467-474. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070277

YUAN Dongxue, CHANG Jingyao, YIN Yongchao, et al. Recent Advances in the Application of Oleogel as Fat Replacers in Meat Products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(14): 467-474. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070277

· 专题综述 ·

油凝胶替代动物脂肪在肉制品中应用的研究进展

袁冬雪, 常婧瑶, 殷永超, 孔保华, 刘 骞*
(东北农业大学食品学院, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要: 动物脂肪对肉制品的多汁性以及风味起着重要作用, 但其含有大量的饱和脂肪酸和胆固醇, 过量摄入会对人体造成潜在的危害。然而, 单纯地降低肉制品中的脂肪含量会对产品的品质产生负面影响。因此, 如何降低肉制品中的脂肪含量并保持产品的品质已经成为肉类工业中亟待解决的问题。以植物油为主的油凝胶具有较好的脂肪酸组成, 而且油凝胶具有与动物脂肪相似的性质, 能够在一定程度上赋予肉制品润滑、醇厚的口感以达到替代肉制品中动物脂肪含量并保持最终产品的品质特性的目的。因此, 本文全面综述了油凝胶的制备方法和形成机理, 以及不同种类油凝胶替代动物脂肪在肉制品中的应用情况, 以期能为生产新型健康的低饱和脂肪酸含量和低胆固醇含量的肉制品提供理论依据。

关键词: 油凝胶, 动物脂肪, 肉制品, 品质

中图分类号: TS251.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)14-0467-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070277



本文网刊:

Recent Advances in the Application of Oleogel as Fat Replacers in Meat Products

YUAN Dongxue, CHANG Jingyao, YIN Yongchao, KONG Baohua, LIU Qian*

(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Although animal fat plays an important role in the juiciness and flavor of meat products, excessive intake will cause potential harm to the human body because it contains a large amount of saturated fatty acids and cholesterol. However, simply reducing the fat content in meat products will have a negative impact on the quality of the products. Therefore, how to reduce the fat content in meat products and maintain product quality has become an urgent problem in the meat industry. The vegetable oil-based oleogel not only has superior fatty acid composition but also has similar properties to animal fat. Moreover, the oleogel can confer meat products the smooth and mellow taste, which can effectively reduce the content of animal fat without destroying the original quality characteristics of the products. Therefore, this article comprehensively reviews the formation mechanism and preparation methods of oleogel, as well as the application of different types of oleogel in the field of low-fat meat products. This article may provide further insights for the production of new and healthy meat products with low saturated fatty acid content and low cholesterol content.

Key words: oleogel; animal fat; meat products; quality

动物脂肪在肉制品加工的过程中对产品的嫩度及多汁性起着重要的作用^[1]。然而, 动物脂肪中含有大量的饱和脂肪酸和胆固醇^[2], 已有很多证据表明,

过多的摄入饱和脂肪酸和胆固醇会对人体健康造成潜在的威胁^[3]。因此降低肉制品中的动物脂肪含量势在必行。然而, 单纯地降低肉制品中的动物脂肪含

收稿日期: 2021-07-23

基金项目: 黑龙江省省属本科高校中央支持地方高校改革发展资金(优秀青年人才项目)(2020YQ15)。

作者简介: 袁冬雪(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工工程, E-mail: y18800433749@163.com。

* 通信作者: 刘骞(1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜产品加工工程, E-mail: liuqian@neau.edu.cn。

量,会对最终产品的品质造成不利的影响。Hyuk 等^[4]研究发现,与传统配方的香肠相比,低脂配方的乳化肠的硬度、弹性等质构参数显著降低,蒸煮损失明显提高,乳化稳定性有所下降。近年来,有很多专家学者利用植物油来替代肉制品中的动物脂肪,以达到降低产品中饱和脂肪酸和胆固醇含量的目的,但是在肉制品加工的过程中直接加入植物油,会对肉糜的流变特性产生显著的负面影响,同时也降低了肉糜本身的粘度。Youssef 等^[5]研究表明,利用菜籽油完全替代牛脂肪虽然能明显地降低乳化肉糜制品中的饱和脂肪酸和胆固醇的含量,但却出现了严重的“漏油”现象,使得产品的质地坚硬,大大降低了产品的整体可接受性。造成这种现象的主要原因是由于植物油的液滴直径远远小于动物脂肪颗粒,而较小的直径增大了油滴的比表面积,从而导致肉蛋白形成过于致密的网络结构,最终使产品失去柔嫩多汁的特点。由此可见,在降低肉制品中动物脂肪含量的同时又能保持最终产品的品质特性已经成为肉品科学领域亟待解决的问题和研究热点。

近年来,利用植物油和凝胶剂制备固体结构化的油凝胶来替代肉制品中的动物脂肪越来越受到人们的关注。油凝胶是指将凝胶剂(乙基纤维素、植物甾醇、生物蜡、单甘油酯、脂肪酸等)添加在液态植物油中,经过加热、搅拌溶解以及冷却等一系列加工过程,凝胶剂分子以自组装或结晶的方式形成一维聚集体,这些聚集体再相互缠结形成三维的网络结构,油脂分子陷落其中,使整个体系呈现凝胶化状态^[6]。油凝胶中的植物油不饱和脂肪酸含量高达 80%,饱和脂肪酸和胆固醇的含量极低,而且在凝胶化过程中,植物油的脂肪酸组成没有发生任何变化,所以利用油凝胶来替代肉制品中的动物脂肪能够满足人们对健康的追求^[7];与此同时,油凝胶呈现出凝胶或结晶等固体状态,具有与动物脂肪相似的理化特性和感官特性,在替代肉制品中的动物脂肪的同时,又能保持产品的良好品质。在肉品科学领域中,利用油凝胶替代肉制品中的动物脂肪已经取得了一定的进展。本文全面综述了油凝胶的制备方法和形成机理,以及不同种类油凝胶替代动物脂肪在肉制品中的应用情况,以期生产新型健康的低饱和脂肪酸含量和低胆固醇含量的肉制品提供理论依据。

1 油凝胶的制备方法及形成机理

1.1 油凝胶的制备方法

油凝胶是由液体油和凝胶剂经过一系列的加工步骤制得的具有三维网络结构的凝胶状态的物质^[8]。常用的凝胶剂包括:乙基纤维素、生物蜡、植物甾醇、单硬脂酸甘油酯(单甘油酯)、脂肪酸及其衍生物、蛋白质以及亲水胶体等。其中,在肉制品中应用较多的有:乙基纤维素、生物蜡、植物甾醇和单甘油酯。油凝胶的制备方法包括:直接分散法、乳液模板法、溶剂交换法和物理吸附法(图 1)。

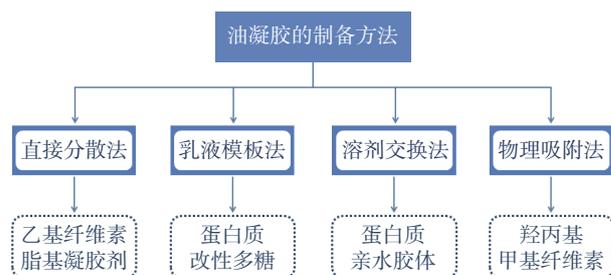


图 1 油凝胶的制备方法

Fig.1 Preparation method of oleogel

直接分散法的制备过程通常先将凝胶剂分散到高于其熔点的油相中,然后在剪切或者静置的状态下使整个混合体系冷却,此时凝胶剂形成结晶或自组装形成网络,液体油被截留在其中,从而产生油凝胶^[9];而对于部分亲水性凝胶剂聚合物(蛋白质、多糖等),其在油相(疏水性溶剂)中的分散有限,因此无法通过直接分散法来制备油凝胶^[10]。所以,乳液模板法的制备流程需要先引入水相,在乳化剂的作用下与油相形成乳液模板,而这一类凝胶剂可以作为乳液模板中的乳化剂,当液体油与凝胶剂充分结合后,再将乳液模板进行干燥以除去其中的水相,最终形成油凝胶^[11];溶剂交换法同样需要先引入水相,在水介质中使蛋白质等凝胶剂的疏水基团暴露,使得凝胶剂在疏水相互作用和二硫键的作用下形成稳定的网络结构。然后加入中间溶剂(如丙酮等)替代混合体系中的水,当水被中间溶剂替代完成后,缓慢地加入液体油,直至所有的中间溶剂被油取代^[12];物理吸附法则是指将聚合物凝胶剂先溶解在水中,然后在常温或低温的状态下干燥成粉末,形成多孔材料,这种多孔材料可以吸附大量的液体油从而形成油凝胶^[13]。其中,在肉制品中应用较多的是直接分散法,表 1 是利用直接分散法制备油凝胶的具体参数和流程。

1.2 油凝胶的形成机理

1.2.1 乙基纤维素油凝胶形成机理 乙基纤维素是一种半结晶状的纤维素聚合物的衍生体,其中纤维素主链羟基末端的部分氢原子被乙氧基取代^[25]。乙基纤维素是一种食品级的高分子聚合物,无毒无害,而且价格低廉,因此,乙基纤维素油凝胶在食品科学领域中被广泛研究^[26]。乙基纤维素作为凝胶剂形成油凝胶的主要原因是其在油相中可以通过分子间的氢键自组装形成“珊瑚”状的三维凝胶网络,如图 2 所示,使得液体油被截留在乙基纤维素形成的网络结构中,从而形成较为稳定的油凝胶结构^[14,27]。这类油凝胶的形成条件是将混合体系加热至聚合物的玻璃化转变温度(通常为 140 °C)使乙基纤维素分散在油相中,当混合体系冷却时,通过聚合物链之间的氢键形成一个三维网络。因此,乙基纤维素油凝胶的机械性能与温度有着密切的关系。Davidovich-Pinhas 等^[28]研究发现凝固温度对乙基纤维素油凝胶的凝胶强度有着显著的影响。这是因为不同的凝固温度下,乙基

表 1 制备油凝胶的具体参数和流程
Table 1 Specific parameters and process of preparing oleogel

凝胶剂	油相	制备流程	参考文献
乙基纤维素	菜籽油	将乙基纤维素和菜籽油的混合体系加热至150 °C, 同时磁力搅拌, 待凝胶剂完全溶解, 冷却诱导油凝胶形成	[14]
	橄榄油	将乙基纤维素和橄榄油混合系统在30 min内加热至140 °C, 继续加热10 min, 同时进行机械搅拌, 待乙基纤维素完全溶解, 冷却以诱导油凝胶	[15]
	亚麻籽油	将乙基纤维素和亚麻籽油加热到130 °C, 同时用磁力搅拌器搅拌。乙基纤维素全部溶解后开始冷却, 直至形成油凝胶	[16]
巴西棕榈蜡	大豆油	将巴西棕榈蜡和大豆油在150 °C下加热至巴西棕榈蜡完全溶解, 然后在水浴中迅速冷却	[17]
米糠蜡	大豆油	将米糠蜡和大豆油混合体系加热至90 °C, 持续2 h后停止加热, 然后将混合体系每隔7 min搅拌30 min	[18]
蜂蜡	芝麻油	将蜂蜡和芝麻油在水浴中真空加热至70 °C, 待凝胶剂完全溶解, 将混合体系进行冷却	[19]
植物甾醇	亚麻籽油	在搅拌下加热植物甾醇和亚麻籽油, 当温度达到80 °C时持续30 min, 然后将混合物在室温下冷却, 直到形成凝胶	[20]
	葵花籽油	将植物甾醇和葵花籽油混合体系在连续搅拌下加热至100 °C, 持续约20~30 min, 然后在室温下冷却20 min	[21]
单甘油酯	葵花籽油	在磁力搅拌下, 将单甘油酯和葵花籽油的混合体系在90 °C下加热15 min, 然后冷却至室温	[22]
	葵花籽油	将单甘油酯和葵花籽油在75 °C加热30 min, 并以400 r/min的速度持续搅拌, 然后冷却获得油凝胶	[23]
	大豆油	将单甘油酯和大豆油加热至85 °C, 并以500 r/min的速度持续搅拌, 凝胶剂溶解后, 混合体系在85 °C保持30 min, 然后在20 °C下冷却24 h以形成油凝胶	[24]

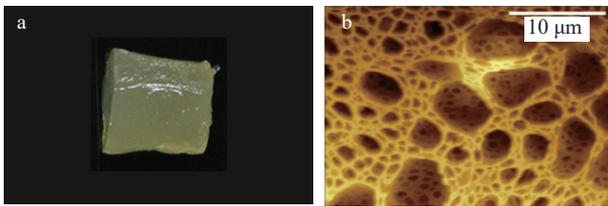


图 2 乙基纤维素油凝胶宏观结构(a)和微观结构(b)^[27-28]

Fig.2 Macrostructure (a) and microstructure (b) of ethylcellulose oleogel^[27-28]

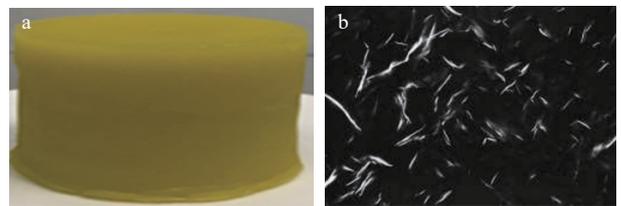


图 3 天然生物蜡油凝胶宏观结构(a)和微观结构(b)^[33-34]

Fig.3 Macrostructure (a) and microstructure (b) of natural biological wax oleogel^[33-34]

纤维素聚合物通过氢键的结合能力不同, 较高的凝固温度使得交联的过程变得更缓慢有序, 从而产生更加稳定的网络结构; 除此之外, 表面活性剂的添加也有助于形成更加稳定致密的油凝胶结构。Liu 等^[29] 证明脱水山梨醇单棕榈酸酯可以通过改变乙基纤维素分子之间及其与溶剂分子之间的相互作用, 从而产生网络结构更加致密稳定的乙基纤维素油凝胶。

1.2.2 生物蜡油凝胶形成机理 以天然生物蜡为基质的油凝胶已经被 FDA 认定为是一种可以安全使用在食品加工中的脂肪替代物^[30]。生物蜡按照来源的不同可分为植物源生物蜡(向日葵蜡、米糠蜡、巴西棕榈蜡、小烛树蜡等)和动物源生物蜡(蜂蜡、虫胶蜡等), 其中, 在肉制品中应用较多的有米糠蜡、蜂蜡、巴西棕榈蜡等^[31]。天然生物蜡可以通过形成结晶或发生聚集产生网络结构, 从而限制了液体油的移动, 并使得整个混合体系呈现出凝胶的状态^[32]。图 3 是由蜂蜡诱导橄榄油、亚麻籽油和鱼油形成的油凝胶, 呈现稳定的圆柱状(图 3a)^[33]。与乙基纤维素油凝胶不同的是, 生物蜡油凝胶的微观结构呈现出倾向于二维或一维的“针状”或“血小板状”的晶体结构(图 3b)^[34]。天然生物蜡中含有大量的不同碳链长度的蜡酯、游离脂肪酸、脂肪醇和碳氢化合物, 因此通过改善工艺参数就能够改变天然生物蜡的成核与结晶速率, 从而为不同的食品制备出不同性状的油凝胶。

1.2.3 植物甾醇油凝胶形成机理 植物甾醇(麦角甾醇、豆甾醇、 γ -谷维素、 β -谷甾醇等)是植物中的一种活性成分, 具有降低血液胆固醇水平、促进饱腹感等功能^[35]。目前, 在肉品科学领域中比较常见的是由 γ -谷维素和 β -谷甾醇形成的油凝胶。图 4a 是 Moschakis 等^[21] 利用葵花籽油制备的存储了 21 d 的植物甾醇油凝胶(总甾醇浓度从左至右分别为: 5%、10%、15%、20%), 从图中可以清楚地观察到, 植物甾醇油凝胶的稳定性非常强, 而且当总甾醇浓度为 5% 时的油凝胶的透明度较高。通常情况下, γ -谷维素和 β -谷甾醇在冷却的过程中一般不能立即形成凝胶结构, 需要借助机械外力(例如剪切)来促进凝胶的形成^[36]。并且, γ -谷维素和 β -谷甾醇都不能单独地进行自组装形成油凝胶, 需要按照一定比例将二者结合进行“共结晶”, 以形成稳定的油凝胶, 如图 4b 所示^[37]。这主要是因为 γ -谷维素上的羰基与 β -谷甾醇上的羟基通过分子间氢键作用形成弯曲的“楔形”空心结构, 这些空心结构相互堆积并交联截留住液体油最终形成凝胶结

醇、豆甾醇、 γ -谷维素、 β -谷甾醇等)是植物中的一种活性成分, 具有降低血液胆固醇水平、促进饱腹感等功能^[35]。目前, 在肉品科学领域中比较常见的是由 γ -谷维素和 β -谷甾醇形成的油凝胶。图 4a 是 Moschakis 等^[21] 利用葵花籽油制备的存储了 21 d 的植物甾醇油凝胶(总甾醇浓度从左至右分别为: 5%、10%、15%、20%), 从图中可以清楚地观察到, 植物甾醇油凝胶的稳定性非常强, 而且当总甾醇浓度为 5% 时的油凝胶的透明度较高。通常情况下, γ -谷维素和 β -谷甾醇在冷却的过程中一般不能立即形成凝胶结构, 需要借助机械外力(例如剪切)来促进凝胶的形成^[36]。并且, γ -谷维素和 β -谷甾醇都不能单独地进行自组装形成油凝胶, 需要按照一定比例将二者结合进行“共结晶”, 以形成稳定的油凝胶, 如图 4b 所示^[37]。这主要是因为 γ -谷维素上的羰基与 β -谷甾醇上的羟基通过分子间氢键作用形成弯曲的“楔形”空心结构, 这些空心结构相互堆积并交联截留住液体油最终形成凝胶结

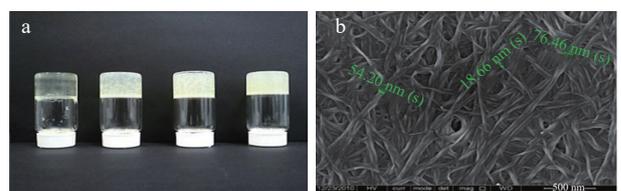


图 4 植物甾醇油凝胶宏观结构(a)和微观结构(b)^[21,37]

Fig.4 Macrostructure (a) and microstructure (b) of phytosterol oleogel^[21,37]

构,因此,由 γ -谷维素和 β -谷甾醇形成的油凝胶非常稳定和透明^[38]。

1.2.4 单甘油酯油凝胶形成机理 单甘油酯具有疏水性的尾部和亲水性的头部,作为乳化剂在食品加工中已经被广泛应用^[39]。基于这种特殊结构,单甘油酯可以通过将疏水性的尾部暴露于脂质介质中和亲水性的头部在内部连接,在疏水介质中形成反向的双分子层,双分子层的连续积累形成三维网状立体结构,从而诱导油凝胶的形成^[40];除此之外,单甘油酯同样也可以在冷却的过程中通过自组装形成结晶的网络,从而截留更多的液体油(图5a)^[34]。因此,与其他凝胶剂相比,单甘油酯通常可以诱导形成更加稳定、强度更高的油凝胶,图5b是Eda等^[41]利用单硬脂酸甘油酯和聚甘油硬脂酸酯诱导的油凝胶,均呈现较强的凝胶状态。然而,研究表明不同单甘油酯添加量将直接影响油脂凝胶的物理性质和晶体结构,通常需要6%以上的单甘油酯才能够形成稳定的油凝胶^[42]。刘盼盼等^[43]研究不同含量的单甘油酯与大豆油形成的油凝胶的机械性能时发现,单甘油酯在大豆油中的临界成胶含量为7%,而且随着单甘油酯含量的增加,油凝胶的硬度和持油性也随之提高。这表明,单甘油酯的含量对最终油凝胶的性质有着重要的影响。

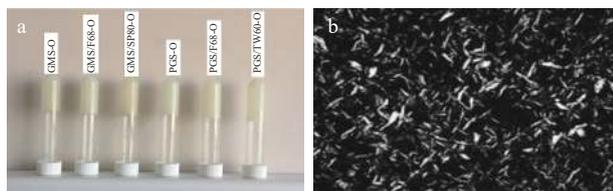


图5 单甘油酯油凝胶宏观结构(a)和微观结构(b)^[34,41]

Fig.5 Macrostructure (a) and microstructure (b) of monoglyceride oleogel^[34,41]

2 油凝胶替代动物脂肪在肉制品中的应用

2.1 乙基纤维素油凝胶替代动物脂肪在肉制品中的应用

乙基纤维素是纤维素的衍生物,纤维素是植物细胞壁中的一种结构性多糖,也是地球上最丰富的聚合物之一,因此乙基纤维素与其他低分子量有机凝胶剂相比价格较为低廉,已经在肉品科学领域中得到了广泛的研究^[44]。Zetzi等^[45]利用直接分散法诱导乙基纤维素和菜籽油形成油凝胶,并部分替代法兰克福香肠中的牛肉脂肪,与完全用牛肉脂肪制成的对照产品相比,含有油凝胶的法兰克福香肠在咀嚼性和硬度方面没有显著差异。通过观察法兰克福香肠肉糜的微观结构,发现用油凝胶制备的肉糜与对照组肉糜中的油滴的大小差异不显著。Youssef等^[5]假设肉制品的硬度在很大程度上取决于脂肪球直径的大小。在肉制品的生产过程中,脂肪球被截留在盐溶性蛋白质中,特别是肌球蛋白和肌动蛋白,它们在脂肪球周围形成界面蛋白膜。直径较小的脂肪球需要更多的界面蛋白膜,界面蛋白膜的增强增加了产品的硬度。

因此,用油凝胶生产的法兰克福香肠的质地与传统配方几乎无异。Barbut等^[46]将用乙基纤维素和菜籽油制备的油凝胶替代早餐香肠中的猪肉脂肪,通过研究最终产品的理化特性及感官特性,发现用油凝胶替代猪肉脂肪的产品的粘性与传统配方产品几乎无异,但其弹性有所降低,当在油凝胶中加入山梨糖醇酐单硬脂酸酯时,最终产品的硬度等质构特性极为相似,证明在利用乙基纤维素油凝胶替代动物脂肪时,可以添加适量的辅料以达到更好的替代效果。

乙基纤维素油凝胶不仅可以替代肉制品中的动物脂肪,并保持其良好品质,还可以改善产品的脂肪酸组成,增强产品的营养特性。同时,由于乙基纤维素油凝胶具有良好的热稳定,在一定程度上能够改善产品的硬度,使产品具有良好的质构特性。Joaquin等^[47]利用乙基纤维素与两种植物油(橄榄油和亚麻籽油)制备油凝胶,并替代猪肉汉堡中的脂肪,通过研究最终产品的理化特性及感官特性,发现乙基纤维素油凝胶的汉堡中健康的脂肪酸的含量更高,而且其硬度明显高于对照组。然而含有乙基纤维素油凝胶的汉堡的脂肪氧化程度较高,这可能是因为这类油凝胶在制备的过程中需要较高的温度,对于脂肪的氧化产生促进作用。Barbut等^[48]还将乙基纤维素诱导的菜籽油凝胶用于替代法兰克福香肠中的牛肉脂肪,分析油凝胶对产品中牛肉脂肪的替代效果,发现含有油凝胶的法兰克福香肠的粘性和弹性等质构参数与对照组相差不大,但是硬度值明显高于对照组。通过观察肉糜的光学显微镜照片,发现处理组的脂肪球的直径远小于对照组,使得处理组肉糜的抗压能力增强,这也解释了为什么含有油凝胶的法兰克福香肠的硬度明显高于对照组;除此之外,含有油凝胶的法兰克福香肠的蒸煮损失明显低于对照组,这可能是在相同体积的肉糜中较小的脂肪球以高密度聚集在一起,防止在加热过程(即蛋白质凝胶化过程)中水从基质中渗出。总之,乙基纤维素油凝胶不会给肉制品的品质特性带来负面影响,同时还可以改变产品中的脂肪酸组成,降低产品的胆固醇含量,因此利用乙基纤维素油凝胶替代肉制品中的动物脂肪是可行的。但是,乙基纤维素油凝胶在制备的过程中温度较高,这可能会破坏油凝胶中的部分营养成分并加速脂肪的氧化,可以考虑通过添加适量的抗氧化剂或者优化油凝胶制备方法加以避免,但还需要进一步的研究和开发。

2.2 生物蜡油凝胶替代动物脂肪在肉制品中的应用

天然生物蜡凝胶剂由不同的正构烷烃、脂肪酸和脂肪酸组成,是目前使用最多的凝胶因子^[49]。天然生物蜡主要来源于植物(向日葵蜡、米糠蜡、巴西棕榈蜡、小烛树蜡等)和动物(蜂蜡、虫胶蜡等),目前在肉制品中应用较多的有米糠蜡、蜂蜡、巴西棕榈蜡^[50]。Franco等^[51]利用蜂蜡采用直接分散法制备亚麻籽油凝胶,并分析油凝胶替代猪肉背脂对法兰克福香肠主要品质参数的影响,发现含有油凝胶香肠的脂

肪酸组成得到明显的改善,饱和脂肪酸和胆固醇的含量显著降低;与对照组相比,油凝胶香肠的粘性和咀嚼性等质构参数也有所增加。Maryam 等^[19]利用不同浓度的蜂蜡诱导芝麻油形成油凝胶并部分替代牛肉汉堡中的动物脂肪,通过分析牛肉汉堡的品质特性,发现处理组的蒸煮损失明显降低,这是因为油凝胶起到防止水分流失的作用;感官评价的结果显示,含有油凝胶的牛肉汉堡的整体可接受度更高,这可能与油凝胶中芝麻油的特殊味道和气味有关。但是含有油凝胶的汉堡的氧化稳定性较差,这主要归因于蜂蜡油凝胶的组成和生产方法,油凝胶的在制备过程中温度较高会形成自由基,加速氧化反应的进行。Martins 等^[52]利用蜂蜡诱导亚麻籽油形成油凝胶,并研究不同含量的油凝胶对肉基馅饼中的动物脂肪的替代效果,发现含有油凝胶的产品的脂肪酸组成得到了明显的改善,多不饱和脂肪酸含量显著增加, n-6/n-3 的比值明显降低;而且油凝胶含量为 30% 的肉基馅饼的整体可接受性也与对照组无异,但是硬度及粘结性等质构参数有所降低,相关研究表明,蜂蜡油凝胶属于抗剪切性较差的油凝胶。但考虑到最终产品的品质及营养特性,利用蜂蜡油凝胶来替代肉制品中的动物脂肪仍然具有较大的潜力。

除动物蜡油凝胶外,利用植物蜡油凝胶替代肉制品中的动物脂肪也有研究。Taylor 等^[53]用米糠蜡和大豆油通过直接分散法制备油凝胶,将其作为动物脂肪替代品应用到法兰克福香肠中,研究用油凝胶替代猪脂肪对法兰克福香肠的理化特性和感官性能的影响,发现用米糠蜡油凝胶制备的法兰克福香肠的脂肪酸组成得到明显的改善,必需多不饱和脂肪酸(亚油酸和 α -亚麻酸)含量显著增高, n-6/n-3 的比值明显降低。Rodrigo 等^[18]以米糠蜡为胶凝剂,用直接分散法诱导大豆油制备油凝胶,并将其用于替代博洛尼亚香肠中的猪肉脂肪,通过研究最终产品的品质特性,发现含有油凝胶的香肠的产量、乳化稳定性、质构特性以及感官特性与对照组相差不大;而且油凝胶改善了博洛尼亚香肠的脂肪酸组成,使得最终产品的营养特性显著提高。因此,利用米糠蜡诱导植物油凝胶以替代肉制品中的动物脂肪是可行的。Arezou 等^[17]研究利用巴西棕榈蜡和大豆油制备的油凝胶对牛肉汉堡中的动物脂肪的替代潜力,发现利用油凝胶替代汉堡中的动物脂肪会使得其硬度以及咀嚼性等质构参数显著增加,其整体可接受性也与对照组相当。综上所述,利用天然生物蜡诱导的油凝胶替代肉制品中的动物脂肪具有很大的潜力,但是由于部分生物蜡油凝胶的抗剪切能力较低,会导致最终产品的硬度降低,可以考虑与其他凝胶剂复配使用,最大程度地保持肉制品原来的品质特性,但仍需进一步研究。

2.3 植物甾醇油凝胶和单甘油酯油凝胶替代动物脂肪在肉制品中的应用

相比于乙基纤维素和天然生物蜡,植物甾醇和

单甘油酯作为凝胶剂诱导形成油凝胶在肉制品中的研究与应用相对较少,但随着肉品科学不断的研究和发展,已有很多专家学者证明了植物甾醇油凝胶和单甘油酯油凝胶作为肉制品中的动物脂肪替代物具有较高的可行性^[42]。目前,在肉制品中应用的较多的植物甾醇是 γ -谷维素和 β -谷甾醇。Martins 等^[20]用 γ -谷维素和 β -谷甾醇诱导亚麻籽油制备油凝胶,并利用油凝胶分别替代猪肉饼中 25% 和 75% 的动物脂肪,通过研究最终产品的理化特性和感官特性,发现油凝胶的加入明显地改善了猪肉饼的脂肪酸组成, ω -6/ ω -3 的比值显著降低,而且对于两种脂肪替代程度,掺入油凝胶的肉饼与对照肉饼在质地参数如硬度、粘结性和咀嚼性方面没有差异,当油凝胶替代猪肉饼中 25% 的动物脂肪时,其整体感官可接受度较好。Franco 等^[54]研究利用 γ -谷维素、 β -谷甾醇和亚麻籽油制备的油凝胶对干发酵香肠中的动物脂肪的替代潜力,通过分析最终产品的营养及品质特性,发现油凝胶明显地改善干发酵香肠的脂肪酸组成, PUFA/SFA 的比值增高, n-6/n-3 的比值显著降低,而且含有油凝胶的香肠的硬度、弹性等质构参数与对照组相差不大,整体感官可接受度明显高于对照组。Panagiotopoulou 等^[55]利用 γ -谷维素和 β -谷甾醇诱导葵花籽油形成油凝胶,并部分替代法兰克福香肠中的猪肉脂肪,通过研究最终产品的理化特性及感官特性,发现含有油凝胶的法兰克福香肠在硬度、弹性等质构参数上与对照没有显著区别,酸碱度和氧化水平也与对照组相差不大。感官分析显示,所有处理组的香肠的总体可接受性与对照组相似。因此,利用植物甾醇油凝胶来替代肉制品中的动物脂肪并保持其原来的良好品质具有较大的潜力。

单甘油酯具有降低血液中游离脂肪酸、甘油三酯和胰岛素水平等功能,同时也可以作为凝胶剂形成稳定的油凝胶,近年来被专家学者广泛研究^[56]。Ana 等^[57]利用单甘油酯和葵花籽油替代博洛尼亚香肠中的不同的猪肉脂肪含量,并对博洛尼亚香肠的理化、工艺和感官特性进行分析,利用油凝胶替代博洛尼亚香肠中的脂肪时,产品的颜色明显变浅;与此同时,质构仪数据显示含有油凝胶的香肠的硬度较大;利用扫描电镜观察香肠的界面蛋白膜的形态和脂肪置换后蛋白基质的结构,发现随着猪肉脂肪量的减少,产品的网络结构变得更加紧密均匀,这在一定程度上为油凝胶能够增加博洛尼亚香肠的硬度提供强有力的证明。总之,利用单甘油酯诱导的油凝胶来替代肉制品中的动物脂肪具有很大的潜力。

3 结论与展望

肉制品中的动物脂肪中含有大量的饱和脂肪酸和胆固醇,随着人们健康意识的提高,肉类工业亟待寻找一种合适的动物脂肪替代物来降低产品中的饱和脂肪酸和胆固醇的含量。在众多动物脂肪替代物中,植物油凝胶因其独特的性质而被广泛研究和应

用。不同凝胶剂诱导的油凝胶能明显地改善肉制品的脂肪酸组成,降低产品的胆固醇的含量,并且作为动物脂肪替代物应用在肉制品中已经取得了一定的进展。但相关研究表明,部分植物油凝胶替代动物脂肪后,会导致产品硬度降低,出于对产品的质量要求,在今后的工作中,可以将不同的凝胶剂进行复配以更好地保持产品的品质;除此之外,油凝胶在制备的过程中温度较高,导致油凝胶中的脂肪氧化,将其应用于肉制品中会促进肉制品的脂肪氧化甚至产生气味。因此,在未来的研究和生产中,可以考虑加入抗氧化剂和优化油凝胶制备的方法,以取得更好的替代效果,但还需进一步的研究。

参考文献

- [1] PINTADO T, MUOZ-GONZALEZ I, SALVADOR M, et al. Phenolic compounds in emulsion gel-based delivery systems applied as animal fat replacers in frankfurters: Physico-chemical, structural and microbiological approach[J]. *Food Chemistry*, 2020, 340: 128095.
- [2] 孟彬,于福满,王小乔,等.低脂肪低亚硝酸盐肉制品研究进展[J].*肉类研究*, 2011, 25(9):43-46. [MENG B, YU M F, WANG X Q, et al. Research progress of low-fat and low-nitrite meat products[J]. *Meat Research*, 2011, 25(9): 43-46.]
- [3] 董学文,张苏苏,李天宇,等.脂肪替代物在肉制品中应用研究进展[J].*食品安全质量检测学报*, 2017, 8(6):1961-1966. [DONG X W, ZHANG S S, LI D Y, et al. Research progress of the application of fat substitutes in meat products[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2017, 8(6): 1961-1966.]
- [4] HYUK C K, DONG-MIN S, JONG H Y, et al. Evaluation of gels formulated with whey proteins and sodium dodecyl sulfate as a fat replacer in low-fat sausage[J]. *Food Chemistry*, 2020, 337: 127682.
- [5] YOUSSEF M K, BARBUT S. Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters[J]. *Meat Science*, 2009, 82(2): 228-233.
- [6] 冯阳阳,徐敬欣,于栋,等.乳液凝胶替代动物脂肪在肉制品中应用的研究进展[J].*食品科学*, 2019, 40(21):236-242. [FENG Y Y, XU J X, YU D, et al. Recent advances in the application of emulsion gels as fat replacers in meat products[J]. *Food Science*, 2019, 40(21): 236-242.]
- [7] 柯翔宇,崔梦楠,高彦祥,等.简述油凝胶及其在食品中的应用[J].*食品科技*, 2019, 44(10):116-121. [KE X Y, CUI M N, GAO Y X, et al. A review of oleogels and application in food[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(10): 116-121.]
- [8] FRANCISCO J C, LORENA S S, RICARD B, et al. Novel applications of oil-structuring methods as a strategy to improve the fat content of meat products[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2015, 44(2): 177-188.
- [9] SINGH A, AUZANNEAU F I, ROGERS M A. Advances in edible oleogel technologies—A decade in review[J]. *Food Research International*, 2017, 97(7): 307-317.
- [10] BASCUAS S, MORELL P, HERNANDO I, et al. Recent trends in oil structuring using hydrocolloids[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021: 106612.
- [11] 曹振宇,刘泽龙,张慧娟.食用植物油脂凝胶化技术研究进展[J].*中国油脂*, 44(8): 57. [CAO Z Y, LIU Z L, ZHANG H J. Advance in technology of edible vegetable oil-gelling[J]. *China Oils and Fat*, 44(8): 57.]
- [12] SCHOLTEN E. Edible oleogels: how suitable are proteins as a structurant?[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2019, 27: 36-42.
- [13] MARTINS A J, VICENTE A A, PASTRANAET L M, et al. Oleogels for development of health-promoting food products[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2020, 9(1): 31-39.
- [14] SULLIVAN C M, DAVIDOVICH-PINHA M, WRIGHT A, et al. Ethylcellulose oleogels for lipophilic bioactive delivery-effect of oleogelation on *in vitro* bioaccessibility and stability of beta-carotene[J]. *Food & Function*, 2017, 8(4): 1438-1451.
- [15] GIACINTUCCI V, MATTIA C, SACCHETTI G, et al. Ethylcellulose oleogels with extravirgin olive oil: The role of oil minor components on microstructure and mechanical strength[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 84(11): 508-514.
- [16] LAREDO T, BARBUT S, MARANGONIA G. Molecular interactions of polymer oleogelation[J]. *Soft Matter*, 2011, 7(6): 2734-2743.
- [17] AREZOU K A, TABIAZAR M, ROUFEGARINEJAD L, et al. Preparation and characterization of carnauba wax/adipic acid oleogel: A new reinforced oleogel for application in cake and beef burger[J]. *Food Chemistry*, 2020, 333(9): 127446.
- [18] RODRIGO T, JONA S P, NURIA C, et al. High-oleic and conventional soybean oil oleogels structured with rice bran wax as alternatives to pork fat in mechanically separated chicken-based Bologna sausage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 131: 109659.
- [19] MARYAM M, SOLTANIZADEH N, GOLI S. Production of sesame oil oleogels based on beeswax and application as partial substitutes of animal fat in beef burger[J]. *Food Research International*, 2018, 108(6): 368-377.
- [20] MARTINS A J, LORENZO J M, FRANCO D, et al. Omega-3 polyunsaturated fatty acids-enriched hamburgers using sterol-based oleogels[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2019, 121(11): 1900111.
- [21] MOSCHAKIS T, PANAGIOTPOLOU E, KATSANIDIS E. Sunflower oil organogels and organogel-in-water emulsions (part I): Microstructure and mechanical properties[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 73: 153-161.
- [22] ANA C F, PAULA K O, ANA P B, et al. Role of the oil on glyceryl monostearate based oleogels[J]. *Food Research International*, 2019, 120: 610-619.
- [23] PALLA C, VICENTE J D, CARRIN M E, et al. Effects of cooling temperature profiles on the monoglycerides oleogel properties: A rheo-microscopy study[J]. *Food Research International*, 2019, 125: 108613.
- [24] CHEN C, ZHANG C, ZHANG Q, et al. Study of monoglycerides enriched with unsaturated fatty acids at sn-2 position as oleogelators for oleogel preparation[J]. *Food Chemistry*, 2021(5):

- 129534.
- [25] GOMEZ-ESTACA J, MARIA H A, HERRANZ B, et al. Characterization of ethyl cellulose and beeswax oleogels and their suitability as fat replacers in healthier lipid products development[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 87(2): 960–969.
- [26] DAVIDOVICH-PINHAS M, BARBUT S, MARANGONI A G. The role of surfactants on ethylcellulose oleogel structure and mechanical properties[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 127: 355–362.
- [27] MANZOCCO L, BASSO F, PLAZZOTTA S, et al. Study on the possibility of developing food-grade hydrophobic bio-aerogels by using an oleogel template approach[J]. *Current Research in Food Science*, 2021(20): 115–120.
- [28] DAVIDOVICH-PINHAS M, GRAVELLE A J, BARBUT S, et al. Temperature effects on the gelation of ethylcellulose oleogels[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 46(4): 76–83.
- [29] LIU N, LU Y, ZHANG Y, et al. Surfactant addition to modify the structures of ethylcellulose oleogels for higher solubility and stability of curcumin[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 165: 2286–2294.
- [30] ISSARA U, PARK S, LEE S, et al. Health functionality of dietary oleogel in rats fed high-fat diet: A possibility for fat replacement in foods[J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 70: 103979.
- [31] PATEL A R, NICHOLSON R A, MARANGONI A G. Applications of fat mimetics for the replacement of saturated and hydrogenated fat in food products[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2020, 33: 61–68.
- [32] LOPEZ-PEDROUSO M, LORENZO J M, GULLON B, et al. Novel strategy for developing healthy meat products replacing saturated fat with oleogels[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2020, 40: 40–45.
- [33] GOMEZ-ESTACA J, PINTADO T, JIMENEZ-COLMENERO F, et al. Assessment of a healthy oil combination structured in ethyl cellulose and beeswax oleogels as animal fat replacers in low-fat, PUFA-enriched pork burgers[J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2019, 12(6): 1068–1081.
- [34] PATEL A R, DEWETTINCK K. Edible oil structuring: An overview and recent updates[J]. *Food & Function*, 2016, 7(1): 20–29.
- [35] AGREGAN R, BARBA F J, GAVAHIAN M, et al. Fucus vesiculosus extracts as natural antioxidants for improvement of physicochemical properties and shelf life of pork patties formulated with oleogels[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(10): 4561–4570.
- [36] SINTANG M, DANTHINE S, BROWN A, et al. Phytosterols-induced viscoelasticity of oleogels prepared by using monoglycerides[J]. *Food Research International*, 2017, 100(1): 832–840.
- [37] SAWALHA H, DEN A R, VENEMA P, et al. Organogel-emulsions with mixtures of β -sitosterol and γ -oryzanol: Influence of water activity and type of oil phase on gelling capability[J]. *Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(13): 3462–3470.
- [38] COTABARREN I M, CRUCES S, PALLA C A. Extrusion 3D printing of nutraceutical oral dosage forms formulated with monoglycerides oleogels and phytosterols mixtures[J]. *Food Research International*, 2019, 126(12): 108676.1–108676.11.
- [39] ALEJANDRE M, ASTIASARAN I, ANSORENA D, et al. Using canola oil hydrogels and organogels to reduce saturated animal fat in meat batters[J]. *Food Research International*, 2019, 122(8): 129–136.
- [40] KOUZOUNIS D, LAZARIDOU A, KATSANIDIS E. Partial replacement of animal fat by oleogels structured with monoglycerides and phytosterols in frankfurter sausages[J]. *Meat Science*, 2017, 130(8): 38–46.
- [41] EDA K U, EMIN Y. Preparation and characterization of glycerol monostearate and polyglycerol stearate oleogels with selected amphiphiles[J]. *Food Structure*, 2021, 28: 100192.
- [42] FRANCESCA R L, DOMENICO G, NOEMI B, et al. Stabilization of meat suspensions by organogelation: A rheological approach[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2012, 114(12): 1381–1389.
- [43] 刘盼盼, 许苗苗, 祁文静, 等. 不同单硬脂酸甘油酯含量的大豆油油凝胶性能和微观结构分析[J]. *南京农业大学学报*, 2018, 41(3): 547–554. [LIU P P, XU M M, QI W J, et al. Analysis of properties and micro-structure of soybean oil oleogels containing different 1-stearoyl-rac-glycerol contents[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2018, 41(3): 547–554.]
- [44] 胡起华, 马传国, 陈小威, 等. 乙基纤维素油凝胶及其在食品中应用的研究进展[J]. *中国油脂*, 2020, 45(1): 115–120. [HU Q H, MA C G, CHEN X W, et al. Advance in ethyl cellulose-based organogel and its application in foods[J]. *China Oils and Fat*, 2020, 45(1): 115–120.]
- [45] ZETZL A K, MARANGONI A G, BARBUT S. Mechanical properties of ethylcellulose oleogels and their potential for saturated fat reduction in frankfurters[J]. *Food & Function*, 2012, 3(3): 327–337.
- [46] BARBUT S, WOOD J, MARANGONI A. Quality effects of using organogels in breakfast sausage[J]. *Meat Science*, 2016, 122(12): 84–89.
- [47] JOAQUIN G E, PINTADO T, JIMENEZ-COLMENERO J, et al. The effect of household storage and cooking practices on quality attributes of pork burgers formulated with PUFA- and curcumin-loaded oleogels as healthy fat substitutes[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 119: 108909.
- [48] BARBUT S, WOOD J, MARANGONI A. Potential use of organogels to replace animal fat in comminuted meat products[J]. *Meat Science*, 2016, 122: 155–162.
- [49] 汪鸿, 孙立斌, 张亮, 等. 小烛树蜡油凝胶的性质及作用机理研究[J]. *中国粮油学报*, 2021: 232–236. [WANG H, SUN L B, ZHANG L, et al. Properties and mechanism of candelilla wax oleogel[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021: 232–236.]
- [50] SILVA S, AMARAL J T, RIBEIRO M, et al. Fat replacement by oleogel rich in oleic acid and its impact on the technological, nutritional, oxidative, and sensory properties of Bologna-type sausages[J]. *Meat Science*, 2019, 149(3): 141–148.
- [51] FRANCO D, MARTINS A J, CERQUEIRA M A, et al.

Strategy towards replacing pork backfat with a linseed oleogel in frankfurter sausages and its evaluation on physicochemical, nutritional, and sensory characteristics[J]. *Foods*, 2019, 8(9): 366.

[52] MARTINS A J, LORENZO J M, FRANCO D, et al. Characterization of enriched meat-based pate manufactured with oleogels as fat substitutes[J]. *Gels*, 2020, 6(2): 17.

[53] TAYLOR L W, NURIA C A, KENNETH J P, et al. Replacement of pork fat in frankfurter-type sausages by soybean oil oleogels structured with rice bran wax[J]. *Meat Science*, 2018, 145(11): 352–362.

[54] FRANCO D, MARTINS A J, LOPEZ-PEDROUSO M, et al. Evaluation of linseed oil oleogels to partially replace pork backfat in

fermented sausages[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(1): 218–224.

[55] PANAGIOTOPOULOU E, MOSCHAKIS T, KATSANIDIS E. Sunflower oil organogels and organogel-in-water emulsions (part II): Implementation in frankfurter sausages[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016: 351–356.

[56] GOLDSTEIN A, SEETHARAMAN K. Effect of a novel monoglyceride stabilized oil in water emulsion shortening on cookie properties[J]. *Food Research International*, 2011, 44(5): 1476–1481.

[57] ANA F C, PAGLARINI C, POLLONIO M, et al. Glycerol monostearate-based oleogels as a new fat substitute in meat emulsion[J]. *Meat Science*, 2020, 174(10): 108424.