

速冻专用油脂的研究进展

孙聪^{1,2}, 朱利萍¹, 李开放², 张顺昌², 杨国龙¹, 梁少华¹

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 郑州思念食品有限公司, 郑州 450003)

摘要:速冻专用油脂是类似于人造奶油的油包水体系的油脂混合物, 主要是由基料油、乳化剂、水及其他辅料经乳化、急冷、捏合而成的一种专用油脂。速冻专用油脂是一种风味性油脂, 常添加到冷冻面团中, 可以改善速冻食品的风味和口感、保证速冻食品在加工和冷冻过程中品质的稳定、增强食品营养性等。分别对速冻专用油脂的概况、目前存在的问题及解决措施、基料油的改性、乳化剂的选择等进行了系统的综述, 并展望了速冻专用油脂未来的发展趋势。

关键词:速冻食品; 速冻专用油脂; 冷冻面团; 基料油改性; 乳化剂

中图分类号: TS225.6; TS221 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)01-0107-06

Fast – frozen special fat: a review

SUN Cong^{1,2}, ZHU Liping¹, LI Kaifang², ZHANG Shunchang²,
YANG Guolong¹, LIANG Shaohua¹

(1. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 2. Zhengzhou Synear Food Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Fast – frozen special fat is a kind of oil mixture in water – in – oil system similar to margarine, which is mainly made of base oils, emulsifier, water and other auxiliary materials by emulsification, rapid cooling and kneading. As a kind of flavor oil, fast – frozen special fat is often added to frozen dough, which can improve the flavor and taste of fast – frozen food, ensure the quality stability of fast – frozen food during processing and freezing, and enhance the food nutrition. The general situation, existing problems and solutions, modification of base oil, selection of emulsifier of fast – frozen special fat were systematically reviewed, and the future development trend of fast – frozen special fat was prospected.

Key words: fast – frozen food; fast – frozen special fat; frozen dough; modification of base oil; emulsifier

随着焙烤、巧克力、冰淇淋、速冻等食品行业的不断发展,我国食品专用油脂的生产规模也急剧扩大。我国食品专用油脂的研究起源于20世纪80年代,目前主要有焙烤专用油脂、巧克力糖果专用油脂、冷饮专用油脂、速冻专用油脂、婴儿配方乳粉专用油脂和煎炸专用油脂等^[1]。速冻专用油脂作为速冻食品生产中的重要原料之一,对速冻产品的质

量起着至关重要的作用。在速冻食品加工和冷冻储藏过程中,速冻专用油脂的乳化性和奶油特性可确保面皮和馅料品质的稳定,其保水能力可减缓在急速冷冻时馅料体积剧烈膨胀导致面皮破裂现象的发生,从而减少速冻食品的开裂率。鉴于速冻专用油脂的这些功能特性,近年来速冻专用油脂的制备已引起研究者的关注。本文分别对速冻专用油脂的概况、目前存在的问题及解决措施、基料油的改性、乳化剂的选择等进行了系统综述,以期为速冻专用油脂的进一步研究提供参考。

1 速冻专用油脂的概况

速冻食品是指食品经过 -30°C 以下的低温处理,食品内80%以上的水分变成粒径小于 $100\ \mu\text{m}$ 的冰结晶,且食品的中心温度在 -18°C 以下,并在

收稿日期:2021-06-24;修回日期:2021-07-12

基金项目:河南省重点研发与推广(科技攻关)专项(202102110288)

作者简介:孙聪(1991),女,讲师,博士,研究方向为脂质科学与技术(E-mail)suncong0511@haut.edu.cn。

通信作者:梁少华,教授,硕士生导师(E-mail)shaohualiang832@126.com。

-18 ~ -20 °C 的低温下储藏、运输及销售的冷冻食品^[2]。速冻食品主要分为水产速冻食品、农产速冻食品、畜产速冻食品、调理类速冻食品 4 大类。其中,调理类速冻食品又分为速冻米面制品、速冻火锅类、速冻菜肴类^[3]。速冻专用油脂是一种通用性产品,常用于冷冻面团中,主要用于速冻米面产品中,包括饺子、汤圆、馄饨、包子、饼、馒头等。速冻米面制品属于我国传统调理食品,深受我国消费者的喜爱。相关数据显示,2019 年我国速冻食品市场规模达到 1 467 亿元,目前速冻水饺、汤圆、粽子、面点和馄饨已成为我国速冻市场的前五强,其中速冻米面制品占 2019 年整个速冻食品销售额的 52.4%^[4]。由此可知,速冻米面制品在我国速冻食品行业占据着非常大的比例。随着我国经济的发展,居民可支配收入将持续增长,速冻食品消费额也将逐渐提高,预计到 2024 年,我国速冻食品行业的市场规模将超过 2 000 亿元^[4]。因此,对速冻食品产品品质及其储藏稳定性具有重要作用的速冻专用油脂具有广阔的发展前景。

速冻专用油脂类似于人造奶油,是指以精炼的动植物油脂、氢化油、酯交换油脂或上述油脂的混合物为基料油,与乳化剂、水及其他辅料,经乳化、急冷、捏合等工艺加工而成的具有塑性脂肪结构的油包水型体系,是针对我国传统速冻调理食品品质改良的一类专用油脂。速冻专用油脂属于风味性油脂,在常温下为白色或淡黄色的可塑性固体,质地均匀,组织晶莹细腻,风味性和稳定性好^[5]。

速冻专用油脂通常用于冷冻面团中,作为冷冻面团的重要配料,其对产品品质及储藏稳定性具有十分重要的作用。在面团制作过程中,添加油脂可以增强面团的可塑性并延缓面团的老化,从而改善速冻产品的质地特性和外观形状。由于油脂的疏水性,在面团调制过程中可阻止蛋白质吸水,抑制面筋的形成、降低面团的内聚力,使面团弹性降低、可塑性增强。在实际应用中,为了增加速冻专用油脂的乳化稳定性,常选择将丙二醇酯、硬脂酸单甘酯、蔗糖酯、脱水山梨糖醇单硬脂酸酯、卵磷脂等乳化剂复合使用,使速冻专用油脂具有保型抗融的能力和细腻的组织结构。速冻专用油脂加入速冻食品馅料中,还具备使馅料成团定型的能力。速冻专用油脂的晶型结构紧凑细小,具有较强包裹和稳定空气的能力,可为速冻产品提供光滑的结构。另外,速冻专用油脂的结晶特性可促进油脂更好地分散在面团网络结构中,改善产品冻裂现象。

2 速冻专用油脂存在的问题及解决措施

2.1 存在的问题

目前,我国尚未建立速冻专用油脂的相关标准,并且存在产品结构单一,质量良莠不齐,总体水平不高,缺乏个性化、特色化、功能化等问题。

市售速冻专用油脂产品多为通用性人造奶油或流态起酥油,其基料油为氢化植物油(氢化棕榈油、氢化大豆油等)、棕榈油分提产品和精炼动物油脂(猪油、牛油等)或三者的简单混合。部分氢化植物油中反式脂肪酸含量高,过量摄入反式脂肪酸会危害人体健康,造成血脂升高,诱发细胞炎症、动脉粥样硬化和冠心病等^[6]。因此,绝大多数欧美国家通过立法限制食品中反式脂肪酸含量。根据《中国居民膳食指南(2016)》,我国居民每日反式脂肪酸的摄入量不应超过 2 g^[7]。棕榈油的脂肪酸组成单一,富含饱和脂肪酸,且与其他油脂脂肪酸组成差异会导致相容性问题;棕榈油自身结晶缓慢,易在产品储藏过程中出现后结晶,导致产品“后硬”和起砂的问题等^[8];棕榈油基产品还存在硬度过高的情况,影响油脂的打发性和速冻食品的口感。另外,氢化植物油和棕榈油基产品还存在塑性范围窄和可塑性差的缺点。固体脂肪含量(SFC)是衡量固体油脂物理特性的指标,其决定油脂在不同温度下的硬度、可塑性及起酥性。棕榈硬脂和氢化棕榈油的 SFC 随温度波动较大,下降曲线陡峭,塑性范围窄,而速冻专用油脂的 SFC 随温度下降的曲线更为平缓,具有较宽的塑性范围(见图 1)。

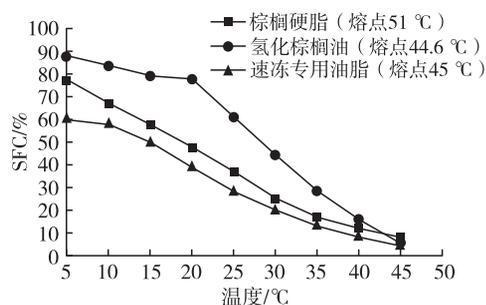


图 1 不同速冻专用基料油和速冻专用油脂的 SFC 曲线^[9-10]

在动物油脂基料油中,猪油具有独特的香味,起酥性好,但其胆固醇含量较高,晶粒粗大,倾向形成 β 晶型,且猪油容易酸败,产品性能差,影响口感^[11];牛油富含饱和脂肪酸,熔点高,但晶型颗粒大,口感蜡质^[12]。另外,不同的基料油之间存在不相容现象,在不适宜的加工温度和压力条件下,会产生硬度不一致的砂粒状晶体,从而影响速冻食品的口感。速冻专用油脂乳化性能较差时,会使面皮表面水分散失、保水力减弱,导致速冻食品易开裂、表

面粗糙、水煮后汤汁浑浊等现象。速冻专用油脂的乳化稳定性不好,在运输和储藏过程中会发生油水相离析现象。

2.2 解决措施

针对上述问题,速冻专用油脂的研究方向应具有一定针对性。

(1)速冻专用油脂应为 β' 晶型,因为由 β' 晶型的晶体构成的油脂光滑柔和、充气性好,具有很好的加工特性;晶型结构紧凑细小,具有较强包裹和稳定空气的能力,可为速冻产品提供光滑的结构;油脂的晶体网络结构能够反映油脂产品的黏度和口感,其中细小晶体可产生紧致的结构和光滑细腻的口感。

(2)速冻专用油脂应具备良好的乳化性和保型抗融能力。良好的乳化性和黏性能够调节产品在加工过程中品质的稳定性,增强面团的抗拉伸性和延展性,减少速冻食品在冷冻过程中水分的散失;保型抗融能力强可以减少速冻前及速冻过程中的塌架现象。

(3)速冻专用油脂应在20~35℃之间具有较宽的塑性范围,塑性范围宽的速冻油脂可塑性好,便于涂抹,面团延展性好。35℃时SFC是决定油脂产品口融性的重要指标,其值应尽可能的低;固液两相比比例适当,油脂塑性较好,固脂过多会使油脂较硬,过少会使油脂较软。

(4)速冻专用油脂应具备合适的熔点和硬度,研究表明当速冻油脂熔点为45℃时,油脂不仅有一定的硬度又不致咀嚼起来使人感觉不适^[13]。

(5)速冻专用油脂应具备良好的风味和口感,以提高速冻食品的感官性状,同时具有良好的营养特性,脂肪酸组成及其他有益成分尽可能符合人体健康的需求。

3 速冻专用油脂基料油的改性

3.1 氢化法

氢化可提高油脂的熔点,增加油脂的固体脂肪含量,增强油脂的抗氧化能力等,通过调整氢化工艺,可实现油脂晶型的转变,也可得到不同塑性范围的油脂,因此氢化法广泛应用于生产人造奶油和起酥油。早期氢化植物油在速冻食品中应用较多,但近年来研究证实,长期食用含反式脂肪酸的部分氢化植物油会对人体健康产生危害,食用量过多时甚至会引发心血管疾病^[14]。反式脂肪酸还会增加女性乳腺癌的患病率,影响儿童和青少年的生长发育和智力发展,过量摄入还会影响睡眠质量,增加患抑郁症的风险^[15]。

由于反式脂肪酸的潜在危害,目前相关研究主

要集中于低/零反式脂肪酸食品专用油脂的制备,如何减少氢化反应过程中反式脂肪酸的含量成为研究热点。目前对氢化工艺的研究主要包括新氢化技术和新型催化剂的开发两方面。Puprasit等^[16]采用非热电介质等离子体代替催化剂对棕榈油进行氢化加工,该方法可降低氢化过程中反式脂肪酸的产生速率,表明采用新型等离子体氢化技术代替传统氢化技术以实现减少反式脂肪酸的产生具有较大可能性。从工业成本、实际可操作性等方面考虑,寻找新型氢化催化剂来减少反式脂肪酸的研究将是未来的主要发展方向。Ni和Cu是传统氢化技术中最常见的催化剂,有学者将这两种物质与其他金属或非金属结合成多元催化剂以改进传统催化剂的功能。Kitayama等^[17]以大豆油为原料,选用新型Ni-B和Ni两种催化剂进行氢化反应,结果表明Ni-B催化的氢化反应反式脂肪酸的产生量只有Ni催化的一半,且生成饱和脂肪酸的倾向增加。另外,研究表明选用铂族贵金属作为催化剂,可明显降低氢化过程反式脂肪酸的生成量。崔龙龙等^[18]以葵花籽油为原料,选用实验室自制的钨氧化铝为催化剂进行氢化反应,以反式脂肪酸含量为评价指标,对工艺条件进行优化,在最优条件下得到的氢化产品反式脂肪酸含量仅是先前报道的氢化产品的一半。然而,无论是新型工艺还是新型催化剂,都将不可避免地导致生产成本的增加,很难完全取代传统的氢化工艺在工业上进行大规模的应用。因此,若想减少速冻专用油脂中反式脂肪酸含量,应寻找其他油脂改性方法替代氢化法。

3.2 分提法

分提法是专用油脂生产工业中十分重要的改性方法,其过程主要包括在特定条件下冷却结晶和将剩余液体与固体组分分离两个步骤^[19]。油脂分提法可分为干法、湿法和表面活性剂法等,在专用油脂加工中,常采用干法分提技术生产不同分提棕榈油产品、猪油产品等,其中的硬脂产品可直接作为起酥油、人造奶油等的基料油,液油可用于生产烹调油、调和油等。

在速冻专用油脂方面,有研究者将棕榈油分提产物之间或棕榈油分提产物与其他食用油采用直接调配法制备速冻专用油脂。马传国等^[13]发现将猪油和52℃棕榈油以3:7的比例复配,并在最佳工艺条件下制备速冻专用油脂,可一定程度抑制汤圆的开裂现象,同时也解决了速冻食品用油硬度高、风味差等问题。葛瑞宏等^[20]将棕榈硬脂和棕榈油按质量比1:1进行复配,通过正交优化得到制备速冻专

用油脂的最优工艺条件,产品有较好的乳化稳定性。干法分提技术是一种物理改性过程,该过程不涉及任何化学反应,也没有有机溶剂的参与,绿色环保,生产成本低。分提虽能在一定程度上改变油脂的性质,但仅能将不同熔点或者不同溶解度的甘油三酯简单分离,所得固脂往往硬度过高,结晶粗大,使产品的口感粗糙有蜡质感,且饱和脂肪酸含量低,营养性较差。因此,在实际应用中,通常将分提产品作为主要基料油,添加部分其他改性油脂,取长补短,共同形成具有特殊性质的专用油脂。

3.3 酯交换法

酯交换技术是目前油脂改性方法中公认的生产低/零反式脂肪酸专用油脂的最有效方法,其仅通过改变甘油三酯上脂肪酸的分布来改变油脂的结晶性和熔融性,反应前后脂肪酸的种类和数量并不会改变,因此不会产生反式脂肪酸。

根据所用催化剂种类的不同,酯交换可分为化学法酯交换和酶法酯交换。化学法酯交换一般采用甲醇钠、氢氧化钠为催化剂,是目前工业应用较多的方法。Fattahi - Far 等^[21]利用氢氧化钠催化茶油与氢化茶油进行酯交换反应,将所得酯交换油脂与葵花籽油调配制备人造奶油,其感官评价和理化性质均与商业人造奶油相似。马传国等^[22]以氢氧化钠为催化剂,将棕榈硬脂与大豆油按 7:3 比例混合进行酯交换,将所得酯交换油脂用于烘焙冷冻面团中,烤出的面包蓬松性好、纹理细腻、口感风味好。王德志等^[9]将酯交换后的棕榈硬脂与棕榈油按 1:1 比例混合制备速冻专用油脂,所得速冻专用油脂乳化稳定性高,熔点为 45℃,在 25~40℃ 具有较宽的塑性范围,由其制作的速冻汤圆成型性良好、耐煮性好、开裂率低、感官评分高。化学法酯交换具有催化剂用量少、生产成本低、工艺技术较为成熟等优点,但反应温度较高,易破坏油脂中的活性成分,副产物较多且不易分离,后续处理烦琐。

与化学法酯交换相比,酶法酯交换具有反应条件温和、副产物少且易分离,反应过程相对简单、安全、绿色,能较大程度地保留油脂自身的活性成分(如生育酚、甾醇等)等优势。近年来,国内外已有较多研究使用该技术制备了人造奶油、代可可脂、人乳替代脂等专用油脂,但在速冻专用油脂方面仅有少量研究。Zhu 等^[23]利用流化床反应器采用 Lipozyme TL IM 催化不同比例的棕榈硬脂与大豆油进行酯交换反应,所得产物的塑性范围增大, β' 晶型增加,经感官评价发现将其应用于速冻水饺中口感

较好。崔秀秀等^[24]以 Lipozyme TL IM 为催化剂对质量比为 7:3 的棕榈硬脂与大豆油进行酯交换,再将酯交换油脂与棕榈硬脂、大豆油进行复配制备速冻专用油脂,应用于速冻汤圆中,发现三者比例为 84:13:3 时汤圆的抗冻性最好,且制作的汤圆外表光滑细腻、口感好。然而,酶的价格昂贵,限制了酶法酯交换在实际生产过程中的应用,若想实现酶法酯交换的大规模使用,首先需要解决的问题就是降低生产成本。

3.4 凝胶油法

凝胶油法是将有机凝胶剂加入液体油所形成的一种热可逆的黏弹性液体状或固体状的脂类混合物^[25]。凝胶油是有机凝胶剂通过结晶或自组装的形式捕捉液体油继而形成三维网络结构,形成类似于固体脂肪的流变特性使液体油的物理特性发生改变。根据凝胶剂的不同,常见可食用凝胶油的分类如图 2 所示。

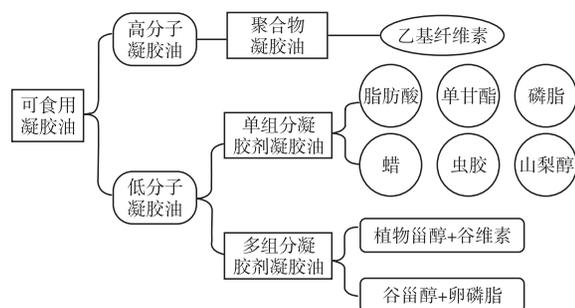


图 2 可食用凝胶油的分类^[26]

鉴于传统固体脂肪中反式脂肪酸和饱和脂肪酸含量较高,近年来凝胶油作为一种有望取代传统氢化技术获得塑性脂肪的新方法,在国内外得到广泛的研究与发展。韩立娟等^[27]以大豆油为基料油,采用 β -谷甾醇和卵磷脂作为复合凝胶剂,成功制备了凝胶油基人造奶油。结果表明,随着凝胶剂质量分数和水体积分数的增加,人造奶油的硬度和弹性增大,所制得的人造奶油体系结构越稳定。朱小勇等^[28]以精炼低芥酸菜籽油为基料油,添加蜂蜡、米糠蜡和巴西棕榈蜡制备了凝胶油,其晶型为 β' 晶型,可满足制备低反式脂肪酸、低饱和脂肪酸食品专用油脂的要求。Hwang 等^[29]将葵花蜡作为有机凝胶剂制备凝胶油,证明了可利用富含多不饱和脂肪酸的植物油制得健康型人造奶油和涂抹产品。殷俊俊^[30]将 β -谷甾醇与 γ -谷维素制备的葵花凝胶油用于速冻汤圆中,发现葵花凝胶油具有良好的使汤圆馅料成团定型的能力,但汤圆易开裂、感官评分低,因此凝胶油在速冻食品中的应用还需进一步的研究。

凝胶油作为专用油脂基料油的优点在于油的凝

胶化可限制油相的流动和迁移,减少运输和储藏过程中的渗油率。除此之外,油脂的凝胶过程是一个纯粹的物理过程,绿色环保、安全无污染,不涉及任何化学反应,工艺简单。然而,凝胶油替代传统塑性脂肪应用于食品中还需考虑很多实际问题,如必须完全满足食品安全要求,在食品中具有较好的通用性,选择合适的凝胶剂(凝胶剂是获得特定功能化凝胶油理化性质的关键)等^[31]。另外,有机凝胶剂的价格一般较高,在实际应用中添加量应尽可能低,或寻找更多新的经济实用的食品级凝胶剂。总之,凝胶油是一种新型的塑性脂肪,只有在解决了这些实际问题后,未来才有可能广泛地应用于食品领域。

4 速冻专用油脂乳化剂的选择

由于速冻专用油脂中含有油和水,为了避免在储藏和运输过程中发生油水相离析的现象,需要其维持一种稳定的乳化体系状态,选择合适的食品乳化剂、采取适宜的乳化方法是维持稳定乳化体系的关键^[32]。乳化剂作用于速冻食品可降低油水界面张力,使不相溶的两相形成均匀分散相。乳化剂除了具有稳定体系的功能外,还可通过影响油脂的结晶行为进而影响速冻专用油脂的口感及在储藏期间的硬度变化。另外,乳化剂加入面团中可延缓淀粉的老化,提高面团的韧性、发酵和醒发耐力;乳化剂加入冷冻面团中,还可改善速冻发酵面制品(如速冻馒头等)在冷冻和解冻期间的稳定性^[33]。

速冻专用油脂是典型的油包水型乳化体系,应选择亲水亲油平衡值(HLB)较小的油包水型乳化剂。速冻专用油脂中常用的乳化剂包括单甘酯、丙二醇酯、山梨醇脂肪酸酯、大豆卵磷脂、司盘-60等。乳化剂虽都具有亲水基团和疏水基团,但因所含亲水、疏水基团的种类和数目不同,其对油脂乳化和结晶的影响不同。不同种类的乳化剂不仅具有不同的乳化效果,所发挥的作用亦不同,如大豆卵磷脂不仅具有很好的乳化能力,还具有抗氧化能力,可提高速冻专用油脂的抗氧化能力,司盘-60可延缓速冻专用油脂中 β' 晶型向 β 晶型的转化。

在具体应用中单一乳化剂难以满足产品的实际需求,若想充分发挥乳化剂的作用,常采用多种乳化剂复配取得协同效应以寻求理想的乳化效果。赵亚丽^[34]首先对比了7种常用单一乳化剂对速冻专用油脂乳化稳定性的影响,发现丙二醇酯的效果最好,其次是山梨醇脂肪酸酯和大豆卵磷脂。通过正交实验优化,得到当三者的含量分别为0.3%、0.5%和0.3%,油水比为85:14时,所得速冻专用油脂的乳

化稳定性最高。崔秀秀等^[24]通过对比单一乳化剂的乳化稳定性,选择乳化效果最好的卵磷脂、司盘-60和丙二醇酯进行复配。通过混料回归实验得出,当丙二醇酯、司盘-60、卵磷脂质量比为1:1:8时乳化效果最佳。王德志等^[9]发现当复合乳化剂(比例为1:1的单甘酯-丙二醇酯)为油质量的1%时,速冻专用油脂的乳化稳定性达93.0%。不同乳化剂所起的作用有所差异,因此需要根据产品的实际需求和性质选择合适的乳化剂种类和最佳的复配方案。由于乳化剂也是一种食品添加剂,因此从食品安全性方面考虑,在保证食品质量的前提下,在实际应用中应尽量降低乳化剂的用量。

5 展望

目前,国内外对速冻专用油脂的研究仍处于初期阶段,还缺乏统一、系统的行业标准,产品结构单一。市售的速冻专用油脂为通用性产品,应用在各种速冻米面制品上,无法满足不同产品的具体要求。因此,未来速冻专用油脂的发展,一方面需要制订相关国家标准或行业标准,以指导和规范专用油脂的生产;另一方面针对不同种类速冻食品、食品不同部分(如面团、馅料等)的性能,需要精准化、细分化开发相应的速冻专用油脂产品。

另外,随着人们生活水平的提高,人们对食品的要求已从美味逐渐转变为营养、健康。部分氢化植物油存在反式脂肪酸与饱和脂肪酸含量高的问题,降低了油脂的营养价值,而酯交换技术是目前公认的生产低/零反式脂肪酸、低饱和脂肪酸的最有效方法,尤其是具有绿色环保、反应条件温和、定向催化等优点的酶法酯交换。尽管酶价格昂贵,限制了其在工业上的发展,但随着固定化脂肪酶研究的发展,使酶的重复利用率大大提升,有望进一步促进酶法酯交换在速冻专用油脂的工业化应用。通过不断发掘新的油料品种,或利用常见油脂的分提物,经过与其他油脂调配后,获得速冻专用油脂理想的晶型、熔点等,在资源量上能满足速冻油脂精细化发展的要求,具有较强的工业化潜力,这也是速冻专用油脂未来的一个发展方向。凝胶油作为一种低反式脂肪酸、低饱和脂肪酸的新型塑性油脂,在未来食品行业具有很大的应用前景,但目前仍面临抗冻性差、成本高、口感差等问题,未来要使这种新型塑性油脂应用于速冻产品中仍需做充分的工作。

总之,开发“营养化、特色化、功能化、精细化”的产品,是未来速冻专用油脂的发展方向。

参考文献:

[1] 刘元法. 食品专用油脂[M]. 北京:中国轻工业出版社

- 社,2017.
- [2] 冯志哲. 食品冷藏学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2001.
- [3] 张宇航,李耕. 我国速冻食品的现状及其发展前景[J]. 信阳农业高等专科学校学报,2006(3):117-118.
- [4] 2019年速冻食品行业主要分类、冷链物及速冻食品发展趋势分析:速冻火锅料、速冻米面制品、速冻菜肴制品产值[EB/OL]. (2020-04-24)[2021-06-24]. <https://www.chyxx.com/industry/202004/855466.html>.
- [5] 王德志,马传国,王高林. 专用油脂在食品工业中的应用[J]. 中国油脂,2008,33(4):7-11.
- [6] HARVEY K A, ARNOLD T, RASOOL T, et al. *Trans*-fatty acids induce pro-inflammatory responses and endothelial cell dysfunction[J]. *Br J Nutr*, 2008, 99(4):723-731.
- [7] 中国营养学会. 中国居民膳食指南(2016)[M]. 北京:人民卫生出版社,2016.
- [8] WANATANABE A, TASHIMA I, MATSUZAKI N, et al. On the formation of granular crystals in fat blends containing palm oil[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1992, 69(11):1077-1081.
- [9] 王德志,马传国,王高林,等. 速冻食品专用油脂制备及其在汤圆中的应用评价[J]. 中国粮油学报,2010,25(12):71-74.
- [10] 华聘聘,黄祖德,张巧力. 四种棕榈油结晶速度的研究[J]. 中国油脂,2001,26(2):17-19.
- [11] 朱巍. 猪油液化及降胆固醇加工技术研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2016.
- [12] 周胜利,张阜青,金青哲,等. 牛油基起酥油起砂原因及改善探讨[J]. 农业机械,2011(14):50-53.
- [13] 马传国,李大房,查学梅,等. 速冻食品专用油的制备研究[J]. 中国油脂,2006,31(5):14-16.
- [14] FRED A K. The negative effects of hydrogenated *trans* fats and what to do about them[J]. *Atherosclerosis*, 2009, 205(2):458-465.
- [15] RIYA G, GRANT N P. The toxicity of dietary *trans* fats[J]. *Food Chem Toxicol*, 2015, 78:170-176.
- [16] PUPRASIT K, WANGSAWAENG D, NGAOSUWAN K, et al. Non-thermal dielectric barrier discharge plasma hydrogenation for production of margarine with low *trans*-fatty acid formation[J/OL]. *Innov Food Sci Emerg*, 2020, 66:102511[2021-06-24]. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102511>.
- [17] KITAYAMA Y, MURAOKA M, TAKAHASHI M, et al. Catalytic hydrogenation of linoleic acid on nickel, copper and palladium[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1996, 73:1311-1316.
- [18] 崔龙龙,刘伟,孙尚德,等. 制备低反式酸氢化葵花油的研究[J]. 食品工业科技,2012,33(13):280-282,331.
- [19] 柏云爱,梁少华,刘恩礼,等. 油脂改性技术研究现状及发展趋势[J]. 中国油脂,2011,36(12):1-6.
- [20] 葛瑞宏,吴文民,刘彩丽,等. 利用棕榈油制备速冻食品专用油脂[J]. 中国油脂,2010,35(1):6-10.
- [21] FATTAHI - FAR E, SAHARI M A, BARZEGAR M. Interesterification of tea seed oil and its application in margarine production[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2006, 83(10):841-845.
- [22] 马传国,王德志,潘林萍,等. 焙烤冷冻面团专用油脂的制备[J]. 中国油脂,2009,34(2):10-14.
- [23] ZHU T W, ZHAO Y L, ZONG M H, et al. Improvement of physical properties of palm stearin and soybean oil blends by enzymatic interesterification and their application in fast frozen food[J]. *RSC Adv*, 2017, 7(55):34435-34441.
- [24] 崔秀秀,王炎,赵亚丽,等. 基于酶促酯交换的速冻专用油脂制备及应用研究[J]. 现代食品科技,2014,30(10):187-193.
- [25] 钟金锋,覃小丽,刘雄. 凝胶油及其在食品工业中的应用研究进展[J]. 食品科学,2015,36(3):272-279.
- [26] 南阳. 荷载 V_c 油脂凝胶的制备及其在人造奶油中的应用研究[D]. 广州:华南理工大学,2017.
- [27] 韩立娟,陈浩,刘胜,等. 凝胶油基人造奶油质地和流变性能[J]. 食品科学,2018,39(7):14-19.
- [28] 朱小勇,孟宗,李进伟,等. 凝胶剂种类对凝胶油物性及结晶形态的影响[J]. 中国粮油学报,2013,28(10):37-43.
- [29] HWANG H S, SINGH M, WINKLER - MOSER J K, et al. Preparation of margarines from organogels of sunflower wax and vegetable oils[J]. *J Food Sci*, 2014, 79(10):C1926-C1932.
- [30] 殷俊俊. 谷维素与甾醇结合交联固化植物油的规律研究[D]. 郑州:河南工业大学,2015.
- [31] PEHLIVANOGLU H, DEMIRCI M, TOKER O S, et al. Oleogels, a promising structured oil for decreasing saturated fatty acid concentrations: production and food-based applications[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2018, 58(8):1330-1341.
- [32] 刘宝亮,康可佳. 食品乳化剂的特性及在油脂乳化中的应用[J]. 中国食品添加剂,2008(2):61-64.
- [33] 韩天龙,张秀玲,邓建平,等. 食品乳化剂的作用特性及其在面粉制品中作用研究[J]. 现代面粉工业,2011,25(6):26-29.
- [34] 赵亚丽. 基于酶促酯交换构建速冻食品专用油脂及其性质研究[D]. 广州:华南理工大学,2016.