

植物原料制备动物脂肪模拟物的研究进展

陈雅琪, 邬思思, 张紫帆, 马铁铮*

(北京工商大学食品与健康学院 食品添加剂与配料北京高校工程研究中心 北京 100048)

摘要 由于质构特性和口感等方面的需求,脂肪在日常饮食中不可或缺,然而,过量摄入脂肪不利于人体健康。使用植物来源的原料制备动物脂肪模拟物,是近年来粮油加工领域的研究热点之一。本文概述动物脂肪模拟物的制备原料,及其在食品领域应用的研究进展,并展望本领域的发展趋势和研究前景。

关键词 动物脂肪模拟物; 植物原料; 稳定性; 质构特性

文章编号 1009-7848(2023)04-0424-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.04.038

将植物原料加以质构化,替代食品中的动物原料,是近年来食品加工领域的研究热点,各种形式的植物肉正逐渐走出实验室,走上人们的餐桌^[1-2]。然而,与植物原料制造的模拟肉产品相比,模拟脂肪产品的研究和应用尚处于起步阶段。脂类作为一大类天然有机化合物,与蛋白质和多糖并称食品中三大营养素,典型的动物脂肪如猪油、牛油和黄油等,具备独特的感官性状和口感,是多种加工食品中的重要组成成分^[3-4]。随着国民生活水平的提高,脂类物质摄入过多,尤其是饱和脂肪酸和胆固醇含量较高的动物脂肪摄入过多,会增加人体总脂蛋白水平,尤其是低密度脂蛋白水平,从而增加 II 型糖尿病、心脑血管疾病以及癌症等多种疾病的发病几率^[5-7]。除了对过量摄入饱和脂肪酸和胆固醇引发的健康忧虑之外,动物脂肪生产的可持续性也不断受到质疑,此外,来自素食主义者以及特定宗教信仰人士的要求,也使得动物脂肪在食品工业中的使用变得更为繁琐^[2,8]。

近年来,使用植物来源的食品原料替代动物来源的食品原料,是食品领域科研人员关注的热点之一^[1,9-10]。在使用植物来源的原料制备动物脂肪模拟物方面,国内外的研究人员主要通过产品原料之间的复配优化,或者乳液凝胶和油脂凝胶等食品胶体体系的结构优化等方法,对产品的理

化特性和稳定性加以优化和提升^[11-13]。本文从制备动物脂肪模拟物所采用的植物原料的类型,及其在食品加工领域的应用两个方面展开论述,并探讨动物脂肪模拟物理化稳定性的影响因素和机制。

1 制备动物脂肪模拟物使用的植物原料

植物原料在自然界中来源广泛,常用于制备动物脂肪模拟物的植物原料主要包括植物多糖、植物蛋白质和植物油脂三大类。它们一般通过规则的液滴或颗粒的形态模拟脂肪球,或者以不规则的组织化状态形成与动物脂肪相似的质构来模拟脂肪^[8,14-15]。

1.1 植物多糖类

植物多糖是由重复的不同的葡萄糖或半乳糖等单糖单元构成的大分子多聚体,多聚体可以与水分子结合形成能够截留大量水分的凝胶网络,因此具有保水性和胶凝性,此外,多糖的添加还能够增加产品的黏性^[16]。以多糖类物质为基质的脂肪模拟物,大多通过在凝胶基质中加入水分来模拟脂肪的质构,这种结构可以在一定程度上像脂肪一样适时地释放水分^[17-18]。植物多糖既可以单独作为原料,也可以与其它类型的原料复合使用,来制备动物脂肪模拟物^[19]。使用多糖制备的动物脂肪模拟物具有较低的能量密度,其质构性能稳定且耐热性能良好,然而产品无法提供人体所需的必需脂肪酸,单独添加使用时难以达到理想的口感,风味难以调控,且与动物脂肪相差较大。改性淀粉、植物胶类和植物纤维是最常见的作为动物

收稿日期: 2022-04-26

基金项目: 北京市属高校高水平教师队伍建设支持计划
青年拔尖人才培养计划项目(CIT&TCD2019
04029)

第一作者: 陈雅琪,女,硕士生

通信作者: 马铁铮 E-mail: matiezheng@btbu.edu.cn

脂肪模拟物原料的植物多糖。

1.1.1 改性淀粉 淀粉的来源十分广泛,可以从多种植物中分离获得,其颗粒大小与脂肪乳状液粒径相差不大,并且可以形成凝胶状基质截留水分,使被截留的水分具有一定的流动性,因此具有类似脂肪的口感,使用淀粉作为原料制备的动物脂肪模拟物具有涂抹性和类似于奶油的黏稠感和润滑感^[20-21]。在通常情况下,使用天然淀粉制备的脂肪模拟物溶解性和分散性均较差,不能形成良好的凝胶状结构,而改性淀粉则具备较为优秀的生物相容性和生物降解性,并且可以根据淀粉原料来源或者改性方法的改变而产生富于变化的功能特性,因此能够更好地适用于实际生产^[22-23]。在诸多改性淀粉中,麦芽糊精作为动物脂肪模拟物的应用相对广泛,根据植物来源以及酶解改性方法的不同,其持水性、持油性、乳化稳定性、冻融稳定性以及胶凝性也都有所不同,此外,麦芽糊精所形成的颗粒大小也会影响其所形成凝胶的强度和可塑性,这些都关系着其作为脂肪模拟物的使用效果^[14,24-25]。

1.1.2 植物胶类 植物胶类作为动物脂肪模拟物使用时,其性能主要取决于它们独特的化学结构组成,其含有的大量的具有亲水能力的羟基,可以使它们稳定的与食品中的水分相结合,从而具备替代动物脂肪成为食品基质组成部分的可能^[15]。植物胶类作为大分子聚合物还可以通过氢键、离子键或者疏水相互作用与蛋白质相互交联形成凝胶状的结构化三维网络,它们形成交联网络并将水分固定在具有良好黏弹性的网格结构中,从而抑制水分的流失,并赋予食品基质以亲水胶体所特有的黏弹性和韧性,所形成的滑润和丰厚的口感类似于动物脂肪^[26-28]。常用于制备脂肪模拟物的植物胶类品种丰富,包括阿拉伯胶、卡拉胶、黄原胶、瓜尔豆胶、刺槐豆胶和果胶等,与改性淀粉相比,植物胶类的适用性更为广泛,它们可以与蛋白质形成复合物,从而更适合作为动物脂肪模拟物使用^[29-31]。

1.1.3 植物纤维 植物中的膳食纤维来源广泛,在水果、蔬菜和谷物麸质中均广泛存在,膳食纤维中含有羧基、羟基和氨基等多种亲水基团,水分子可以通过静电相互作用、氢键或范德华力等非共

价键与之结合,其分子结构也存在着可以容纳水分子的空隙,因此可以形成稳定的亲水凝胶,从而在食品体系中维持特定的组织形态^[32-33]。可溶性膳食纤维常被添加在肉制品、焙烤食品和冷冻甜品中,作为动物脂肪模拟物使用。然而,膳食纤维的过度添加会影响产品的正常口感,因此其常与蛋白质或植物胶类物质复合添加使用^[14]。

1.2 植物蛋白类

植物蛋白来源广泛,价格便宜,且营养丰富,有研究表明,在膳食中以植物蛋白取代动物蛋白有助于延缓人体衰老^[34]。蛋白质经适度改性处理可以改变其高级结构,使分子中的疏水和亲水基团重新排布,减少了可以形成疏水相互作用等非共价键的位点,蛋白质微粒间的相互作用减弱,而蛋白质微粒与水分子之间的相互作用增强,从而可以模拟动物脂肪顺滑细腻的口感特性^[35-37]。使用蛋白质制备的动物脂肪模拟物的功能特性易于通过改性或与植物胶类多糖复配进行调节,然而蛋白质同样无法提供人体所需的脂肪酸,且其耐热性能通常难以满足一般食品热加工和日常烹饪的需求,适用范围受到很大限制。常用于制备脂肪模拟物的植物蛋白主要有大豆蛋白和豌豆蛋白等豆类作物蛋白,以及花生蛋白、小麦蛋白和玉米醇溶蛋白等其它谷物蛋白^[38]。

来源于豆类作物的蛋白具有相对较好的功能特性,在多数条件下,可以直接作为功能性食品配料使用,而花生蛋白和小麦蛋白等非豆类作物来源的植物蛋白由于受到诸多功能特性的限制,常需要经过改性方可使用^[39-40]。对于植物蛋白而言,仅仅具有良好的功能特性,不足以作为动物脂肪模拟物的原料,植物蛋白的基团间容易通过多种非共价键发生相互作用而形成结构坚韧且粗糙的聚集体,因此很难赋予食物以所需的顺滑口感^[37]。采用加热处理结合高速剪切等物理改性方法可以改变蛋白质的聚集方式,使其形成具有刚性空间结构的微粒,并且蛋白质分子中的疏水基团在处理,更倾向于分布在微粒内部,亲水基团则分布在微粒表面,可以形成疏水相互作用等非共价键的位点减少,蛋白质微粒间的相互作用减弱,而蛋白质微粒与水分子之间的相互作用增强,从而可以模拟动物脂肪顺滑细腻的口感^[36-37,41]。

谷物醇溶蛋白由于分子组成中含有较多的疏水氨基酸,与大多数植物蛋白相比具有独特的高疏水性,因此以其作为原料制备脂肪模拟物时可以不经过改性处理,而是直接添加一定量的植物胶类与其复配后即可形成凝胶,从而作为动物脂肪模拟物使用^[38,42]。与谷物醇溶蛋白相似,大豆蛋白也可以与植物胶类复配后,作为动物脂肪模拟物使用,然而在大豆蛋白中添加植物胶类则主要基于降低产品豆腥味从而提升风味品质的考量,黄原胶和卡拉胶常与大豆蛋白复配使用^[43-44]。除了感官方面的原因外,植物蛋白通常与其它植物原料结合使用时,还基于单纯使用植物蛋白制备的脂肪模拟物在高温下易发生变性,无法进行煎炸等一些必要加工而应用范围受限,其它原料的复配有助于弥补其耐热性的不足^[45]。

1.3 植物油脂类

植物油脂品种繁多,来源广泛,常用于替代或部分替代动物脂肪的品种包括大豆油、橄榄油、葵花籽油、菜籽油以及玉米油等,由于不饱和度显著高于动物脂肪,并含有更多的必需脂肪酸且不含胆固醇,植物油脂的添加使用可以改善食品中的脂肪酸组成,更有益于人体健康^[46]。

植物油脂油滴的直径远小于动物脂肪颗粒,其油滴拥有较大的比表面积,这会影响到其与食品体系中其它大分子间的相互作用,因此,如果在肉制品的加工过程中使用植物油脂直接替代动物脂肪,将导致产品的质地异常坚硬,并伴随严重的“漏油”现象,这些都是由于肉制品中的网格结构过于致密导致,改变了体系的质构特性,并降低了体系的持油和持水能力^[47-48]。使用蛋白质作为乳化剂,将植物油脂制备成分散体系可以模拟动物脂肪,由于油脂比表面积的增加,部分改善了添加植物油脂给质构造成的不良影响,然而由于分散体系中庞大的油水界面的存在,氧气以及金属离子等促氧化物质会加速油脂的氧化,作为乳化剂的蛋白质还对环境 pH 值较为敏感,从而易于发生絮凝和分层,因此这种动物脂肪模拟物的理化稳定性均不够理想^[49-50]。

近年来,采用油脂凝胶和乳液凝胶这两种固态结构化植物油脂替代动物脂肪的研究受到诸多研究人员的关注^[51-52]。在油脂凝胶中,凝胶剂通过

氢键、 $\pi-\pi$ 堆积力、范德华力、静电相互作用和偶极-偶极相互作用等非共价键形成特定的三维结构,将植物油脂包裹于其中并使其失去流动性,从而形成具有一定黏弹性和机械强度的网络结构,所制得的油脂凝胶是一种含油量较高的软固体物质,可以在特定的尺寸范围内匹配脂肪球的尺寸分布从而模拟动物脂肪的质构特性^[53-56]。目前,常用于油脂凝胶的凝胶剂种类相对有限,主要有米糠蜡、小烛树蜡等植物蜡,以及 β -谷甾醇和 γ -谷维素等,植物蜡的分子组成十分复杂,不同来源的植物蜡呈现出不同的物理化学特性,在食品领域应用时性能差异较大,因而适应性较差,而 β -谷甾醇和 γ -谷维素的凝胶能力严重受到体系水分含量的影响,因此它们也难以适用于复杂的食品体系^[57-58]。获得使用批准的食品级凝胶剂数量较少,并且在实际应用时还会受到用量的限制,这些都导致油脂凝胶在食品中的应用存在局限^[51,59]。乳液凝胶是以油脂作为分散相,将乳化的油滴填充在凝胶基质中形成的软固体物质,其凝胶基质一般由蛋白质或多糖为原料,也可由两者共同组成^[60-61]。在以蛋白质作为基质的乳液凝胶网络结构中,油滴与蛋白质基质之间的静电相互作用增强了凝胶的储能模量,从而可以确保凝胶结构的稳固性,结构的硬度和弹性可以通过调整油脂与蛋白质的比例加以调节(图1)^[19,62-63]。而在以多糖作

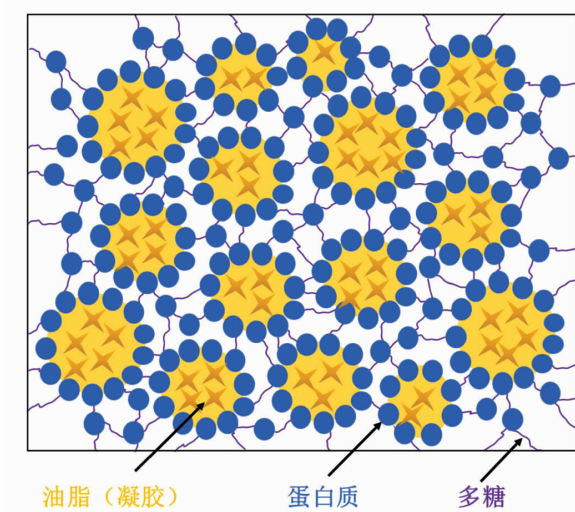


图1 蛋白质作为基质的乳液凝胶网络结构^[19,63]
Fig.1 Emulsion gel network structure with protein as matrix^[19,63]

为基质的乳液凝胶网络结构中, 油脂的羰基与水或多糖分子之间可以形成氢键并产生胶束, 从而有较为稳固的结构^[64-65]。与蛋白质或多糖单独作为基质相比, 二者混合作为基质的乳液凝胶通常拥有更好的界面活性和更加致密的网络结构, 这对于含有较多不饱和脂肪酸的植物油脂而言十分有利^[52,66]。目前, 如需制备具有良好理化稳定性的乳液凝胶, 其基质材料仍然难以避免使用明胶蛋白、酪蛋白和乳清蛋白等动物蛋白, 且产品的应用范围也尚且局限于酸奶、沙拉酱和香肠等传统发酵食品^[52,67]。

2 动物脂肪模拟物在食品中的应用现状

在食品工业领域, 动物脂肪在肉制品、乳制品以及焙烤制品等多种加工食品中都是不可或缺的主要组成成分, 其在产品营养、风味和口感等诸多方面发挥重要作用, 同时还可以作为脂溶性香料以及维生素等功能性配料的载体^[68-69]。在上述 3 类食品中, 使用动物脂肪模拟物替代动物脂肪主要是为了减少食品中的饱和脂肪酸和胆固醇含量, 改善膳食结构并降低总能量的摄入, 而对全植物来源脂肪模拟物有特别要求的食品, 主要包括素食仿肉制品、无乳添加的代乳制品以及某些焙烤制品^[5,8,54]。

2.1 在肉制品中的应用

从降低总能量摄入的角度考量, 添加多糖尤其是膳食纤维作为动物脂肪模拟物是十分适合的, 例如: 黑麦纤维和燕麦纤维由于较强的胶凝性, 良好的感官接受程度, 以及可以承受短时高温处理的耐热能力, 适合添加到香肠和肉丸等肉制品中使用^[70-71]。燕麦麸由于在被加热时具有的较高的胶凝能力, 十分适合添加于低温香肠中, 而在肉丸中, 加入燕麦麸时, 其脆性显著变低, 这并不是产品宜需的属性; 而黑麦麸则更适合添加到肉丸中, 由于肉丸的胶凝特性不如香肠重要, 且黑麦麸的颗粒性状更适合于模拟肉丸中的脂肪组分, 且在煎炸后, 含黑麦麸的肉丸的紧实程度良好且显著高于添加燕麦麸的产品^[70]。

乳液凝胶具有类似动物脂肪组织的形态特征, 常被添加于多种肉制品中, 现有研究基于产品货架期等多方面的因素, 常采用以橄榄油等单不

饱和脂肪酸为主要成分的植物油脂作为原料, 有时甚至还会添加氢化植物油, 由于多不饱和脂肪酸含量较低, 这样制得的产品很难满足多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸摄入量的推荐比例(>0.4), 添加氢化植物油可能引入反式脂肪酸, 从而造成更为严重的健康风险^[72-75]。将植物油脂与多糖复合使用并加以质构化, 则可以避免上述问题, 将橄榄油分别和奇亚籽或燕麦复合后, 制得的乳液凝胶可用来代替香肠中的动物脂肪, 从而改善产品的脂肪酸组成, 并且由于多糖的添加, 优化了营养成分, 特别是在添加奇亚籽复合制得乳液凝胶的香肠中, α -亚麻酸的含量有所提升^[76]。

2.2 在乳制品中的应用

脂肪模拟物广泛应用于低脂乳制品中, 可减少乳脂肪的含量。在替代乳脂肪的脂肪模拟物中, 以多糖为原料的情况相对较多, 有研究表明, 与全脂酸奶相比, 添加化学改性玉米淀粉作为乳脂肪模拟物的搅拌型酸奶, 其凝胶体系流动性和黏弹性更为稳定^[77]。还有研究表明, 在酸奶中添加菊粉可以在降低产品脂肪含量和维持质构稳定性的同时, 延缓双歧杆菌活力的衰退, 从而提高产品的益生元性能^[78]。

在干酪中添加以豌豆淀粉为原料制得的脂肪模拟物, 对所得的低脂干酪与全脂干酪进行比较, 结果表明, 二者的硬度、弹性和内聚性等与质地相关的指标以及感官品评的得分均没有显著差异, 低脂干酪的蛋白质含量较全脂干酪还有所增加^[79-80]。由有机胶凝剂与植物油脂结合制得的油脂凝胶也被用于添加到干酪产品中, 产品的总脂肪含量下降了 25%, 且由于不饱和脂肪部分替代了饱和脂肪, 产品的脂肪酸结构得到优化, 在质构方面除黏合性略低外, 其它均与全脂产品差异不大^[81]。

与干酪相似, 在冰淇淋中加入脂肪模拟物同样可以改善其脂肪酸组成和功能性质。以多糖为原料的脂肪模拟物显示了较高的黏弹性和硬度, 而以蛋白质为原料的脂肪模拟物的产品与全脂冰淇淋产品在质构方面相似度更高^[82-83]。到目前为止, 冰淇淋中以植物多糖作为单一原料的脂肪模拟物应用相对较多, 如表 1 所示。然而, 以蛋白质为原料的脂肪模拟物目前多使用乳清蛋白等动物蛋白, 单独使用植物蛋白作为动物脂肪模拟物的

研究和应用都较少,常与植物蛋白复合在低脂冰淇淋中使用的是植物多糖,例如:小麦蛋白与可溶性大豆多糖可以复合制备小麦蛋白基颗粒

(SWP),其作为脂肪模拟物应用于冰淇淋中不仅能降低脂肪的摄入量,还不会影响冰淇淋的理化性质和感官品质^[89]。

表1 以植物多糖为原料的脂肪模拟物在冰淇淋中的功能特性

Table 1 Functional properties of mimic animal fat made of plant polysaccharides in ice cream

植物多糖原料	功能特性	参考文献
麦芽糊精	提升黏度,降低搅打力,增加顺滑的口感	[84]
低聚糖	缩短融化时间,降低融化温度,提升玻璃化转变温度	[85]-[86]
植物胶	提升融化性,增加黏度、乳液稳定性和泡沫稳定性	[28]
植物纤维	结晶和重结晶控制器,增加黏度,改善熔融性能	[87]
淀粉	改善质地,截留水分子形成凝胶、稳定剂、增稠剂	[88]

2.3 在焙烤食品中的应用

烘焙食品中通常需要添加起酥油或黄油等动物脂肪,目前在焙烤食品中应用较为广泛的动物脂肪模拟物是以植物多糖为原料的脂肪模拟物或结构化植物油,以蛋白质为原料的脂肪模拟物由于耐热性欠佳,在高温处理时容易凝固硬化,丧失所需的顺滑口感,且容易发生美拉德反应,进而影响产品的外观,因此,以蛋白质为原料的脂肪模拟物在烘焙类食品中的应用相对较少^[90]。

在以多糖为原料的脂肪模拟物中,菊粉在烘焙食品中的应用最为广泛,其可以添加在饼干、蛋糕和松饼产品中,以降低产品的脂肪含量^[91]。特别是在饼干中,菊粉形成的微晶结构可以与水分相互作用集成凝胶网络,这种凝胶可以替代起酥油,润滑饼干中干燥的组分,从而很好地替代动物脂肪对饼干质构的贡献^[92]。麦芽糊精虽然不能如菊粉一样代替饼干中的起酥油,但它可以代替传统中式糕点中的动物脂肪,有研究表明,以低DE值的麦芽糊精部分替代苏式月饼皮中的猪油使用时,基本不会影响其产品的感官品质^[93]。

以不同多糖作为复合原料制备的脂肪模拟物,可以模拟出更加多样化的感官品质,因而在烘焙食品中的应用范围更广。使用抗性淀粉和聚葡萄糖共同作为原料制备的脂肪模拟物替代饼干中的起酥油,可以使饼干中起酥油含量降低46.3%,产品的脆度虽有所上升但并未影响消费者对产品的接受程度^[94]。

与在肉制品中的情况相似,将植物油脂与多糖复合使用并加以质构化同样可以在焙烤食品中

替代动物脂肪,从而降低饱和脂肪的含量,使用基于菊粉和橄榄油制备的乳液凝胶,在酥饼中替代黄油可以为产品提供更多的微小气孔,与此同时,消费者对产品的接受程度并不会发生变化^[95]。有研究表明,植物蜡作为凝胶剂构建的油脂凝胶应用于面团时,其密度、微观结构以及流变学等特性与使用全脂原料的对照组有着不同程度的差异,然而其烘焙成品的质构性能和感官特性与对照组成品基本相当^[96-98]。一些研究人员发现,虽然油脂凝胶可以在蛋糕中替代全部的动物脂肪,但是当其使用量超过原有动物脂肪的50%时,可能在生产过程中的存在困难^[97,99]。

3 结论与展望

动物脂肪由于具备特定的质构特性、风味特征以及营养价值,是不可或缺的食品配料成分之一,然而动物脂肪的过量摄入也给人们健康带来了风险,而动物脂肪模拟物的应用则可以在很大程度上降低乃至避免上述的健康风险。长期以来,使用植物来源的食品原料替代动物来源的食品原料都是食品工业领域的研究热点,并催生出了人造奶油、植物蛋黄酱以及植物蛋白肉等一系列产品,在缓解动物来源的食物原料短缺方面有着很大的贡献,并带动了食品工业领域中一系列关联产业的发展。使用植物来源的食品原料制备动物脂肪模拟物的研究也属于上述研究领域,并已成为肉品加工和粮油加工等多个细分领域科研人员关注的焦点,本文分类综述了近年来植物原料制备动物脂肪模拟物的研究和应用现状。

结合近年来的发展趋势可以推测本领域在未来数年的研究方向将着力于以下几个方面:1)产品耐热性能的提升。现有动物脂肪模拟物除少数仅由植物多糖构成的产品外,其理化稳定性特别是耐热性能均难以适应食品工业中热加工和日常烹饪的要求,适用范围严重受限,这有待于基础研究和应用研究的结合,解决植物原料耐热性欠佳的问题。2)全营养组成成分产品的开发。由植物蛋白和植物多糖单独或共同参与构成的动物脂肪模拟物,无法满足人们对脂肪酸摄入的需求,而现有植物油脂参与构成的动物脂肪模拟物产品,无法在保证氧化稳定性的同时,满足较高多不饱和脂肪酸含量的需求,这有待于包含有植物油脂在内的新型重组脂肪体系的创建。3)植物蛋白功能特性的增强。由于乳化性、胶凝性和持油性等多种功能特性的限制,植物蛋白目前尚且无法完全替代明胶蛋白及酪蛋白等动物蛋白在动物脂肪模拟物中的使用,这有待对功能特性和改性潜力良好的植物蛋白资源的发掘和有针对性的改良研究。4)脂肪质构特性的还原。由于现有动物脂肪模拟物产品的质构特性与动物脂肪之间还存在着不同程度的差异,特别是与以植物蛋白为主要原料的人造肉复合时的质构更为复杂多变,这有赖于模拟物复合体系的结构改良和质构特性优化。5)配方产品货架期的延长。作为加工食品的配料,构成动物脂肪模拟物的原料蛋白质、多糖和油脂的复杂混合体系的质构稳定性以及其中植物油脂的氧化稳定性都会对其产品的货架期造成直接影响,这有待于食品工艺学等应用学科与物理、化学等基础学科领域研究的深度结合。

参 考 文 献

- [1] KARACA A C, LOW N H, NICKERSON M T. Potential use of plant proteins in the microencapsulation of lipophilic materials in foods[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 42(1): 5-12.
- [2] BEDIN E, TORRICELLI C, GIGLIANO S, et al. Vegan foods: Mimic meat products in the Italian market[J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2018, 13: 1-9.
- [3] 丁泽敏, 刘渝港, 夏会平, 等. 猪油和单甘酯含量对菜籽油凝胶油性质的影响研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(1): 56-60.
- [4] DING Z M, LIU Y G, XIA H P, et al. Effect of lard and monoglyceride contents on properties of rapeseed oil oleogel[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(1): 56-60.
- [5] JUNG D, OH I, LEE J, et al. Utilization of butter and oleogel blends in sweet pan bread for saturated fat reduction: Dough rheology and baking performance[J]. LWT, 2020, 125: 109194.
- [6] HYGREEVA D, PANDEY M C, RADHAKRISHNA K. Potential applications of plant based derivatives as fat replacers, antioxidants and antimicrobials in fresh and processed meat products[J]. Meat Science, 2014, 98(1): 47-57.
- [7] ADEVA-ANDANY M M, RAÑAL-MUÑO E, VILA-ALTESOR M, et al. Dietary habits contribute to define the risk of type 2 diabetes in humans[J]. Clinical Nutrition ESPEN, 2019, 34: 8-17.
- [8] CHEN Y, JIA X, SUN F, et al. Using a stable pre-emulsified canola oil system that includes porcine plasma protein hydrolysates and oxidized tannic acid to partially replace pork fat in frankfurters[J]. Meat Science, 2020, 160: 107968.
- [9] 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.
- [10] WOLFER T L, ACEVEDO N C, PRUSA K J, et al. Replacement of pork fat in frankfurter-type sausages by soybean oil oleogels structured with rice bran wax[J]. Meat Science, 2018, 145: 352-362.
- [11] CAPORGNO M P, BÖCKER L, MÜSSNER C, et al. Extruded meat analogues based on yellow, heterotrophically cultivated *Auxenochlorella protothecoides* microalgae[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2020, 59: 102275.
- [12] CHEN X W, FU S Y, HOU J J, et al. Zein based oil-in-glycerol emulgels enriched with β -carotene as margarine alternatives[J]. Food Chemistry, 2016, 211: 836-844.
- [13] LIU X, CHEN X W, GUO J, et al. Wheat gluten based percolating emulsion gels as simple strategy for structuring liquid oil[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 61: 747-755.

- [13] OH I K, LEE S. Utilization of foam structured hydroxypropyl methylcellulose for oleogels and their application as a solid fat replacer in muffins[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 77: 796–802.
- [14] PENG X, YAO Y. Carbohydrates as fat replacers[J]. *Annual Review of Food Science & Technology*, 2017, 8(1): 331–351.
- [15] ZENG L, RUAN M, LIU J, et al. Trends in processed meat, unprocessed red meat, poultry, and fish consumption in the United States, 1999–2016 [J]. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 2019, 119(7): 1085–1098.
- [16] SHEWRY P R, TATHAM A S. Wheat gluten[C]. *Proceedings of the 7th International Workshop Gluten 2000*, Bristol, UK: Royal Society of Chemistry, 2000.
- [17] AKBARI M, ESKANDARI M H, DAVOUDI Z. Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 86: 34–40.
- [18] 姚舒婷, 智慧, 沈欣怡, 等. 脂肪替代品在烘焙行业中的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(6): 285–291.
- YAO S T, ZHI H, SHEN X Y, et al. Research progress of fat substitutes in baking industry[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(6): 285–291.
- [19] DREHER J, BLACH C, TERJUNG N, et al. Influence of protein content on plant-based emulsified and crosslinked fat crystal networks to mimic animal fat tissue[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 106: 105864.
- [20] MALINSKI E, DANIEL J R, ZHANG X X, et al. Isolation of small starch granules and determination of their fat mimetic characteristics[J]. *Cereal Chemistry*, 2003, 80(1): 1–6.
- [21] SARA H, FAKHRI S, ARASH K, et al. Influence of pregelatinized and granular cold water swelling maize starches on stability and physicochemical properties of low fat oil-in-water emulsions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 102: 105620.
- [22] TEKLEHAIMANOT W H, DUODU K G, EMMAMBUX M N. Maize and teff starches modified with stearic acid as potential fat replacer in low calorie mayonnaise - type emulsions[J]. *Starch Stärke*, 2013, 65(9/10): 773–781.
- [23] ROMÁN L, MARTÍNEZ M M, GÓMEZ M. Assessing of the potential of extruded flour paste as fat replacer in O/W emulsion: A rheological and microstructural study[J]. *Food Research International*, 2015, 74: 72–79.
- [24] 葛林丽. 荞麦淀粉基脂肪替代品的优化制备及其在低脂狮子头中的应用[D]. 扬州: 扬州大学, 2018.
- GE L L. Optimal preparation of buckwheat starch-based fat substitute and its application in low-fat lion's head[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2018.
- [25] 刘羽萌. 酶解法马铃薯淀粉脂肪模拟物的制备、性质及应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2018.
- LIU Y M. Enzymatic hydrolysis of potato starch fat analog the preparation, properties and applications of the research [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2018.
- [26] RAHIMI J, KHOSROSHAHI A, MADADLOU A, et al. Texture of low-fat Iranian white cheese as influenced by gum tragacanth as a fat replacer [J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(9): 4058–4070.
- [27] CHUNG C, DEGNER B, MCCLEMENTS D J. Designing reduced-fat food emulsions: Locust bean gum-fat droplet interactions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 32(2): 263–270.
- [28] JAVIDI F, RAZAVI S M. Rheological, physical and sensory characteristics of light ice cream as affected by selected fat replacers[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2017, 12(3): 1872–1884.
- [29] CHEN J, LIU W, LIU C M, et al. Pectin modifications: A review[J]. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 2015, 55(12): 1684–1698.
- [30] CHEN H, JI A, QIU S, et al. Covalent conjugation of bovine serum album and sugar beet pectin through Maillard reaction/laccase catalysis to improve the emulsifying properties [J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 76: 173–183.
- [31] GUO X, GUO X, YU S, et al. Influences of the different chemical components of sugar beet pectin on the emulsifying performance of conjugates formed between sugar beet pectin and whey protein isolate [J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 82: 1–10.
- [32] SCHMIELE M, MASCARENHAS M C C N, BARRETTO A C S, et al. Dietary fiber as fat substitute in emulsified and cooked meat model system [J]. *LWT*, 2015, 61(1): 105–111.
- [33] HENNING S S C, TSHALIBE P, HOFFMAN L C. Physico-chemical properties of reduced-fat beef

- species sausage with pork back fat replaced by pineapple dietary fibers and water[J]. *LWT*, 2016, 74: 92–98.
- [34] ORTOLÁ R, STRUIJK E A, GARCÍA-ESQUINAS E, et al. Changes in dietary intake of animal and vegetable protein and unhealthy aging[J]. *The American Journal of Medicine*, 2020, 133(2): 231–239.
- [35] ZHANG Q T, TU Z C, XIAO H, et al. Influence of ultrasonic treatment on the structure and emulsifying properties of peanut protein isolate[J]. *Food and Bioprocess Processing*, 2014, 92(1): 30–37.
- [36] SAĀLAM D, VENEMA P, DE VRIES R, et al. Preparation of high protein micro-particles using two-step emulsification[J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(5): 1139–1148.
- [37] 张桃, 郭健, 杨晓泉, 等. 以大豆蛋白微粒构建高蛋白食品体系的稳定性研究[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(11): 57–64.
- ZHANG T, GUO J, YANG X Q, et al. Stability of high protein food system constructed with soy protein particles[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(11): 57–64.
- [38] 杨扬, 张玲玲, 李永祥, 等. 蛋白质基质脂肪模拟物制备方法及其应用的研究进展[J]. *中国油脂*, 2017, 42(5): 28–33.
- YANG Y, ZHANG L L, LI Y X, et al. Advance in preparation and application of protein-based fat mimetic[J]. *China Oils and Fats*, 2017, 42(5): 28–33.
- [39] 张玲玲. 以小麦面筋蛋白为基质的脂肪模拟物的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2016.
- ZHANG L L. Study on the fat mimetic of wheat gluten protein[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2016.
- [40] MA T, ZHU H, WANG J, et al. Influence of extraction and solubilizing treatments on the molecular structure and functional properties of peanut protein[J]. *LWT*, 2017, 79: 197–204.
- [41] 高雪琴, 付丽, 吴丽, 等. 脂肪替代物在凝胶类调理肉制品中的应用[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(11): 319–326.
- GAO X Q, FU L, WU L, et al. Application of fat substitute in the gel-pre-prepared meat products[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(11): 319–326.
- [42] WANG X J, ZHENG X Q, KOPPARAPU N K, et al. Purification and evaluation of a novel antioxidant peptide from corn protein hydrolysate[J]. *Process Biochemistry*, 2014, 49(9): 1562–1569.
- [43] ANGOR M M, AL-ABDULLAH B M. Attributes of low-fat beef burgers made from formulations aimed at enhancing product quality[J]. *Journal of Muscle Foods*, 2010, 21(2): 317–326.
- [44] LIU R, WANG L, LIU Y, et al. Fabricating soy protein hydrolysate/xanthan gum as fat replacer in ice cream by combined enzymatic and heat-shearing treatment[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 81: 39–47.
- [45] PAGLARINI C, MARTINI S, POLLONIO M A R. Using emulsion gels made with sonicated soy protein isolate dispersions to replace fat in frankfurters[J]. *LWT*, 2019, 99: 453–459.
- [46] UTAMA D T, JEONG H S, KIM J, et al. Fatty acid composition and quality properties of chicken sausage formulated with pre-emulsified perilla-canola oil as an animal fat replacer[J]. *Poultry Science*, 2019, 98(7): 3059–3066.
- [47] 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.
- [48] BARBUT S, WOOD J, MARANGONI A G. Quality effects of using organogels in breakfast sausage[J]. *Meat Science*, 2016, 122: 84–89.
- [49] BREWER M S. Reducing the fat content in ground beef without sacrificing quality: A review[J]. *Meat Science*, 2012(91): 385–395.
- [50] 陈益春, 姜帅, 曹传爱, 等. 植物油预乳状液替代猪脂肪对法兰克福香肠品质特性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(24): 86–93.
- CHEN Y C, JIANG S, CAO C A, et al. Evaluation of the quality of frankfurters prepared with highly stable vegetable oil-in-water pre-emulsion as a partial replacer of pork back fat[J]. *Food Science*, 2019, 40(24): 86–93.
- [51] 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.
- ZHONG J F, QIN X L, LIU X. Advances in oleogels and their applications in food industry[J]. *Food Science*, 2015, 36(3): 272–279.

- [52] 冯有楠, 苏春霞, 叶晶, 等. 乳液凝胶的力学性质及应用研究进展[J]. 中国食品学报, 2018, 18(11): 268-276.
- FENG Y N, SU C X, YE J, et al. Research process in the mechanical properties and application of emulsion-gel[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(11): 268-276.
- [53] PERNETTI M, VAN MALSSSEN K F, FLÖTER E, et al. Structuring of edible oils by alternatives to crystalline fat[J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2007, 12(4/5): 221-231.
- [54] JIMENEZ-COLMENERO F, SALCEDO-SANDOVAL L, BOU R, 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.
- [55] PATEL A R, DEWETTINCK K. Edible oil structuring: An overview and recent updates[J]. Food & Function, 2016, 7(1): 20-29.
- [56] 孟宗, 李陆茵, 李兴伟, 等. 植物蜡及液态植物油构建油凝胶的物性研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(11): 17-22.
- MENG Z, LI L Y, LI X W, et al. Physical properties of oleogels structured by vegetable wax and liquid vegetable oil[J]. China Oils and Fats, 2019, 44(11): 17-22.
- [57] 黄玉. 蛋白-多酚胶体复合物制备油凝胶及其性质研究[D]. 广州: 暨南大学, 2018.
- HUANG Y. Preparation and characterization of oleogel based on protein-polyphenol colloidal complex[D]. Guangzhou: Jinan University, 2018.
- [58] 孟宗, 张梦蕾, 刘元法. 葵花籽油基油凝胶在面包及冰淇淋产品中的应用研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(12): 154-160.
- MENG Z, ZHANG M L, LIU Y F. Application of sunflower seed oil based oleogels in bread and ice cream products[J]. China Oils and Fats, 2019, 44(12): 154-160.
- [59] MENG Z, GUO Y, WANG Y, et al. Oleogels from sodium stearoyl lactylate-based lamellar crystals: Structural characterization and bread application[J]. Food Chemistry, 2019, 292: 134-142.
- [60] DICKINSON E. Emulsion gels: The structuring of soft solids with protein-stabilized oil droplets[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 28(1): 224-241.
- [61] TORRES O, MURRAY B, SARKAR A. Emulsion microgel particles: Novel encapsulation strategy for lipophilic molecule[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 55: 98-108.
- [62] MAO L, ROOS Y H, MIAO S. Study on the rheological properties and volatile release of cold-set emulsion-filled protein gels[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(47): 11420-11428.
- [63] DREHER J, BLACH C, TERJUNG N, et al. Formation and characterization of plant-based emulsified and crosslinked fat crystal networks to mimic animal fat tissue. Journal of Food Science, 2020, 85(2): 421-431.
- [64] HERREO A M, CARMONA P, JIMÉNEZ-COLMENERO F, et al. Polysaccharide gels as oil bulking agents: Technological and structural properties[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 36(2): 374-381.
- [65] JIANG Y, LIU L, WANG B, et al. Polysaccharide-based edible emulsion gel stabilized by regenerated cellulose[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 91: 232-237.
- [66] GEREMIAS-ANDRADE I M, SOUKI N P, MORAES I C, Pinho S C. Rheological and mechanical characterization of curcumin-loaded emulsion-filled gels produced with whey protein isolate and xanthan gum[J]. LWT, 2017, 86: 166-173.
- [67] CHUNG C, DEGNER B, DECKER E A, et al. Oil-filled hydrogel particles for reduced-fat food applications: Fabrication, characterization, and properties[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 20: 324-334.
- [68] ZHANG W, XIAO S, SAMARAWEEERA H, et al. Improving functional value of meat products[J]. Meat Science, 2010, 86(1): 15-31.
- [69] MARTINS A J, VICENTE A A, PASTRANA L M, et al. Oleogels for development of health-promoting food products[J]. Food Science and Human Wellness, 2020, 9(1): 31-39.
- [70] PETERSSON K, GODARD O, ELIASSON A C, et al. The effects of cereal additives in low-fat sausages and meatballs. Part 2: Rye bran, oat bran and barley fibre[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 503-508.
- [71] ÁLVAREZ D, XIONG Y L, CASTILLO M, et al. Textural and viscoelastic properties of pork frankfurters containing canola-olive oils, rice bran, and walnut[J]. Meat Science, 2012, 92(1): 8-15.

- [72] SATO A C K, MORAES K E F P, CUNHA R L. Development of gelled emulsions with improved oxidative and pH stability [J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 34: 184–192.
- [73] GIARNETTI M, PARADISO V M, CAPONIO F, et al. Fat replacement in shortbread cookies using an emulsion filled gel based on inulin and extra virgin olive oil[J]. *LWT*, 2015, 63(1): 339–345.
- [74] PARADISO V M, GIARNETTI M, SUMMO C, et al. Production and characterization of emulsion filled gels based on inulin and extra virgin olive oil[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 45: 30–40.
- [75] DREHER J, BLACH C, TERJUNG N, et al. Formation and characterization of plant-based emulsified and crosslinked fat crystal networks to mimic animal fat tissue[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(2): 421–431.
- [76] PINTADO T, HERRERO A M, JIMÉNEZ – COLMENERO F, et al. Chia and oat emulsion gels as new animal fat replacers and healthy bioactive sources in fresh sausage formulation [J]. *Meat Science*, 2018, 135: 6–13.
- [77] LOBATO-CALLEROS C, RAMÍREZ-SANTIAGO C, VERNON-CARTER E J, et al. Impact of native and chemically modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity of reduced-fat stirred yogurt[J]. *Journal of Food Engineering*, 2014, 131(3): 110–115.
- [78] KUSUMA G D, PASEEPHOL T, SHERKAT F. Prebiotic and rheological effects of *Jerusalem artichoke* inulin in low-fat yogurt[J]. *Australian Journal of Dairy Technology*, 2009, 64(2): 159–163.
- [79] 李凌志. 豌豆淀粉作为脂肪替代物对 Cheddar 干酪凝乳特性及品质的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- LI L Z. Effect of *Pisum sativum* starch as fat substitute on curd characteristics and quality of Cheddar cheese[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2018.
- [80] ASHOK R P, REED A N, ALEJANDRO G M. 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.
- [81] BEMER H L, LIMBAUGH M, CRAMER E D, et al. Vegetable organogels incorporation in cream cheese products[J]. *Food Research International*, 2016, 85: 67–75.
- [82] LIU K, TIAN Y, STIEGER M, et al. Evidence for ball-bearing mechanism of microparticulated whey protein as fat replacer in liquid and semi-solid multi-component model foods[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 52: 403–414.
- [83] TEKIN E, SAHIN S, SUMNU G. Physicochemical, rheological, and sensory properties of low-fat ice cream designed by double emulsions [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2017, 119(9): 1600505.
- [84] ROLON M L, BAKKE A J, COUPLAND J N, et al. Effect of fat content on the physical properties and consumer acceptability of vanilla ice cream[J]. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(7): 5217–5227.
- [85] BALTHAZARA C F, SILVAA H L A, VIEIRA A H, et al. Assessing the effects of different prebiotic dietary oligosaccharides in sheep milk ice cream[J]. *Food Research International*, 2017, 91: 38–46.
- [86] MEHDI A, MOHAMMAD H E, ZAHRA D. Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review [J]. *Trends in Food Science & Technology*. 2019, 86: 34–40.
- [87] BAYARRI S, CHULIÁ I, COSTELL E. Comparing λ -carrageenan and an inulin blend as fat replacers in carboxymethyl cellulose dairy desserts. Rheological and sensory aspects[J]. *Food Hydrocolloids*, 2010, 24(6/7): 578–587.
- [88] SHARMA M, SINGH A K, YADAV D N. Rheological properties of reduced fat ice cream mix containing octenyl succinylated pearl millet starch [J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2017, 54(6): 1638–1645.
- [89] 刘雨阳. 微粒化谷物蛋白在食品体系中的应用研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- LIU Y Y. Research of micro-particulated cereal protein application on food systems[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.
- [90] AGGARWAL D, SABIKHI L, SATHISH K M H. Formulation of reduced calorie biscuits using artificial sweeteners and fat replacer with dairy-multi-grain approach[J]. *NFS Journal*, 2016, 2: 1–7.
- [91] SHOAIB M, SHEHZAD A, OMAR M, et al. Inulin: Properties, health benefits and food applications[J]. *Carbohydrate Polymer*, 2016, 147(20):

- 444–454.
- [92] KATHRYN C, ANDREW C, SHIRANI G. Fat replacers in baked food products[J]. *Foods*, 2018, 7(12): 192–204.
- [93] 李冬霞, 许建生, 力杨, 等. 麦芽糊精替代苏式月饼皮中的猪油[J]. *食品科技*, 2015, 40(1): 301–304.
- LI D X, XU J S, LI Y, et al. Maltodextrin replaces lard in Suzhou-style mooncake skin[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(1): 301–304.
- [94] MORIANO M E, CAPPALÀ C, ALAMPRESE C. Reduced-fat soft-dough biscuits: Multivariate effects of polydextrose and resistant starch on dough rheology and biscuit quality[J]. *Journal of Cereal Science*, 2018, 81: 171–178.
- [95] GIARNETTI M, PARADISO V M, CAPONIO F, et al. Fat replacement in shortbread cookies using an emulsion filled gel based on inulin and extra virgin olive oil[J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2015, 63(1): 339–345.
- [96] HWANG H S, SINGH M, LEE S Y. Properties of cookies made with natural wax-vegetable oil organogels[J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(5): C1045–C1054.
- [97] AMOAH C, LIM J, JEONG S, et al. Assessing the effectiveness of wax-based sunflower oil oleogels in cakes as a shortening replacer[J]. *LWT*, 2017, 86: 430–437.
- [98] CURTI E, FEDERICI E, DIANTOM A, et al. Structured emulsions as butter substitutes: Effects on physicochemical and sensory attributes of shortbread cookies[J]. *Journal of Science and Agriculture*, 2018, 98(10): 3836–3842.
- [99] KIM J Y, LIM J, LEE J, et al. Utilization of oleogels as a replacement for solid fat in aerated baked goods: Physicochemical, rheological, and tomographic characterization[J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(2): 445–452.

Recent Progress on the Preparation of Mimic Animal Fat Based on Plant Materials

Chen Yaqi, Wu Sisi, Zhang Zifan, Ma Tiezheng*

(Beijing Higher Institution Engineering Research Center of Food Additives and Ingredients, School of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

Abstract Based on the need of product texture and taste, animal fat is indispensable in daily diet. However, excessive consumption of animal fat is conducive to human health. The use of vegetable raw materials to prepare mimic animal fat is one of the research hot-spots in the field of grain and oil processing. The research progress of the preparation of mimic animal fat and its food applications was summarized, and the development trends and prospects were also discussed and analyzed.

Keywords mimic animal fat; plant raw material; stability; textural properties