结构化油脂及其在烘焙产品中的应用研究进展

柴秀航[1]，张 帅[2]，刘元法[1,*]
（1.江南大学食品学院，江苏 无锡 214122；2.中国焙烤食品糖制品工业协会，北京 100833）

摘 要：随着人们生活水平的不断提高，消费者越来越意识到健康与饮食之间的重要性。传统食品专用油脂中高含量饱和脂肪酸/反式脂肪酸的摄入对心血管健康的负面影响已引起人们的广泛关注，为了满足人们对健康烘焙产品的需求，开发零反式、低饱和新型专用油脂成为食品科学研究和工业应用领域中重要的课题。本文基于脂肪在烘焙产品中的作用特性，系统阐述了结构化油脂的结构化方法、结构因子对结构化油脂结构的影响及其在烘焙产品中的应用；研究表明，结构化油脂可应用于面包、蛋糕、松饼和饼干等烘焙产品中，在提供传统食品专用油脂类似的质构和感官特性的同时，以其多不饱和脂肪酸含量高的优势改善了烘焙产品的营养特性。

关键词：结构剂；结构化油脂；网络结构；烘焙产品；营养特性

Structured Oil and Its Application in Bakery Products: A Review

CHAI Xiuhang[1], ZHANG Shuai[2], LIU Yuanfa[1,*]
(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;
2. China Association of Bakery & Confectionery Industry, Beijing 100833, China)

Abstract: With the continuous improvement of people's living standards, consumers are increasingly aware that a good diet is importance for good health. The negative impact of intake of high contents of saturated/*trans* fatty acids from traditional special food oils on cardiovascular health has attracted extensive attention. In order to meet people's demand for healthy bakery products, the development of new special oils with no *trans*-fatty acids and low saturated fatty acids has become an important topic in the field of food science and industrial application. In this article, considering the functional characteristics of fat in bakery products, the oil structuring methods, the influence of structural factors on the structure of structured oil and its application in bakery products are systematically reviewed. Studies have proved that structured oil can be applied to bakery products such as bread, cake, muffin, and biscuit. It can not only provide texture and sensory characteristics similar to those from traditional special food oils, but also improve the nutritional characteristics of bakery products by virtue of its high content of polyunsaturated fatty acids.

Keywords: structural agents; structured oil; network structure; bakery products; nutritional properties
DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210711-109
中图分类号：TS221 文献标志码：A 文章编号：1002-6630（2022）15-0336-09
引文格式：
柴秀航, 张帅, 刘元法. 结构化油脂及其在烘焙产品中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(15): 336-344. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210711-109. http://www.spkx.net.cn
CHAI Xiuhang, ZHANG Shuai, LIU Yuanfa. Structured oil and its application in bakery products: a review[J]. Food Science, 2022, 43(15): 336-344. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210711-109. http://www.spkx.net.cn

收稿日期：2021-07-11
基金项目：科技部农村司咨询项目；山东省重点研发计划项目（2019YYSP027）；
山东省重点研发计划（重大科技创新工程）项目（2021CXGC010808）；
“十四五”国家重点研发计划重点专项（2021YFD2100300）
第一作者简介：柴秀航（1988—）（ORCID: 0000-0002-3894-2840），男，助理研究员，博士，研究方向为食品工业专用油脂绿色加工和制造。E-mail: cxhll2008@126.com
*通信作者简介：刘元法（1974—）（ORCID: 0000-0002-8259-8426），男，教授，博士，研究方向为油脂营养安全与绿色制造。E-mail: yfliu@jiangnan.edu.cn

食品专用油脂是现代食品加工和制造的基本原料，对食品的质地、口感和风味等品质有至关重要的作用。随着人们生活水平的不断提高，现代加工食品和西式食品在我国食品膳食结构中所占比重越来越大，其中仅烘焙食品产值超过了千亿元。烘焙专用油脂作为食品专用油脂中的一类，广泛应用于面包、蛋糕、饼干和糕点等烘焙食品中。烘焙专用油脂在室温下为固态，其中高熔点饱和脂肪酸（saturated fatty acid，SFA）结晶形成结晶网络，从而赋予了其良好的加工特性，使得最终的烘焙产品具有良好的口感和质构[1]。然而，由于食品专用油脂过于强调加工和使用功能性，导致食品专用油在安全和营养上存在诸多隐患，比如高饱和/反式脂肪酸专用油脂占据了烘焙产品配方的较大比重，大量摄入会引发心血管疾病[2-3]。相反，单、多不饱和脂肪酸（polyunsaturated fatty acids，PUFA）以及必需脂肪酸替代SFA可以降低患冠心病等心血管慢性疾病的风险[4]；因此，为了满足人们对健康、营养烘焙食品的需求，开发零反式/低SFA的新型食品专用油脂产品，减少由高脂膳食带来的肥胖、“三高”等问题，已成为新时期食品专用油加工业面临的重要技术课题。油脂结构化是近年来开发制备新型食品专用油脂的新策略，被认为在食品安全和营养方面具有巨大的潜力。基于此，本文综合分析了国内外结构化油脂的研究进展并作简要综述，从脂肪在烘焙产品中的作用，结构化油脂概念和结构化方法、结构化油脂在烘焙产品中的应用及其营养特性等方面进行了综合分析。

1 脂肪在烘焙产品中的作用

烘焙专用油脂由固体脂肪和液态油构成，固体脂肪提供了三维结晶网络基质，将液态油包埋其中，并具有可塑性（加工性）和抗氧化稳定性[5]。其对烘焙产品的润滑/稳定（混合）、气体保持（醒发）、质地嫩化（烘焙）和抗老化（贮存）性能有显著影响。首先，烘焙专用油脂具有起酥功能，油脂与面团搅拌混合时，油脂在淀粉和面筋界面间形成薄膜，阻止其相互黏连，使烘焙产品质地松软[6]。与此同时，在焙烤过程中，固体脂肪融化成液态油涂布在面团表面形成油膜，阻止面粉中水蒸气的挥发，面团在水蒸气的作用下分层，从而得到酥脆层次分明的焙烤类产品[7-8]，赋予产品酥脆或者松软的特征。其次，烘焙油脂具有充气功能，脂肪在高速搅拌下卷入大量空气而发泡，卷入的空气形成微小的气泡均匀分散在油脂中，在与面团混合过程中，脂肪覆盖面筋网络和淀粉颗粒，降低了面团的水合能力，通过混合水化和脂质涂层形成可延展的面筋膜，脂肪晶体的润滑作用降低了面筋膜的表面张力，促进面团的充气；在面团发酵和醒发过程中，脂肪晶体进一步融化并在温度升高时在气-液界面处吸附，沿界面重新定向，并将酵母发酵的二氧化碳保留在产品中。

此外，脂肪可以与其他烘焙原料相互作用，改善产品最终的品质。脂肪与蛋白质相互作用影响面团中油-水界面表面活性的动态平衡，改变其表面活性和充气能力，焙烤过程中抑制气体的释放，使得最终的烘焙产品具有较好的孔隙分布率，导致面团的流变特性和产品质地发生变化[9]。Ana等[10]对比研究了乳脂和起酥油对烘焙产品的影响，结果表明，含起酥油的面筋网络结构更加有序，面团具有更大的黏弹模量，使得最终产品呈现更好的酥性。同时，脂肪与淀粉相互作用形成脂肪-淀粉复合物，延缓水分进入淀粉颗粒中，抑制烘焙产品的回生，给人良好的湿润口感。研究发现直链玉米淀粉-脂质复合物抑制了烘焙食品的老化过程，从而赋予了烘焙产品良好的新鲜度[11]。除此之外，烘焙专用油脂对焙烤产品还具有改善风味、提高营养价值的作用。油脂可在烘焙过程中产生一定的香味，使得烘焙食品有更浓香的风味表现；同时，油脂中自身含有PUFA和必需脂肪酸等化合物，提供人体生长所需的热量和营养。

2 结构化油脂

2.1 结构化油脂的概念

结构化油脂是指将液态食用油等疏水性成分通过一定的方法进行固态化或者凝胶化，从而形成一种具有特定的结构特性和加工功能特性的结构化固体材质，主要由液态油和少量的结构因子构成。常见的结构因子包括长链脂肪酸、脂肪醇、天然蜡基的脂类化合物、改性纤维素和蛋白质类聚合物以及天然食品级胶体颗粒等。结构因子在氢键、π-π堆积、静电相互作用或者范德华力等作用下，通过分子自组装、颗粒吸附填充或者结晶的方式生长聚集形成三维网络结构，并包埋液态油脂于其中，最终得到三维网络和液态油共存的稳定体系[12]。结构化油脂不仅能够提供传统食品专用油脂特有的加工特性，同时其低脂、高不饱和的优势也满足了人们对健康烘焙产品的需求，因此，结构化油脂在取代食品工业中的传统食品专用油脂并改善其终端产品营养特性方面被广泛关注[13]。

2.2 油脂结构化方法

油脂结构化的方法可以分为4 种（图1）：直接分散法、乳液模板法、结构化双相系统和油脂吸附法。

Downloaded from https://cabidigitallibrary.org by 188.119.36.163, on 10/27/25.
Subject to the CABI Digital Library Terms & Conditions, available at https://cabidigitallibrary.org/terms-and-conditions

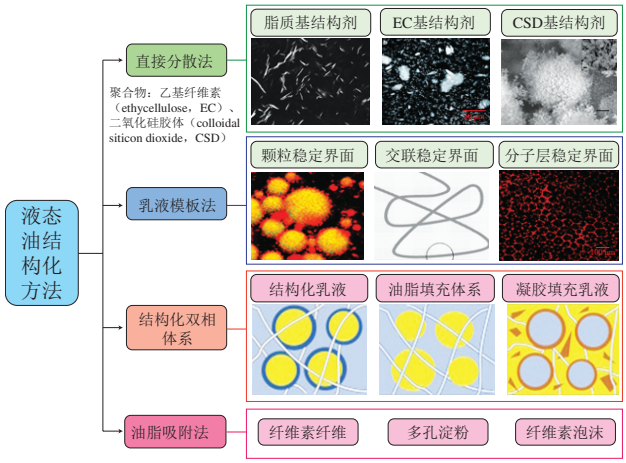


图 1 油脂结构化的方法

Fig. 1 Edible oil structuring methods

2.2.1 直接分散法

直接分散法是将融化的结构剂分散到液体油中，在剪切或者温和条件下冷却，结构剂成核、晶体生长聚集，形成自组装的网络结构。这是制备结构化油脂最常用的方法，结构剂包括蜡、脂肪酸、脂肪醇、单甘油酯、聚合物类等[14]，如表1中举例说明了直接法制备米糠蜡基结构化油脂的方法。脂质基结构剂的结构化步骤与固体脂肪的成核、晶体生长、聚集和网络形成相似。然而，其形成的晶体类型和形态、单向生长的趋势和所形成晶体之间较低的聚集度使其不同于常规固体脂肪晶体，其自身具有较高的液态油结合能力，可以在晶相质量分数较低的条件下形成网络。对于单组分结构化油脂，例如使用脂肪酸或蜡酯制备，结构化效率随着其酰基链长度的增加而线性增加，其中，线性结构的头尾对齐，可能使分子间氢键稳定程度发生改变形成不规则的网络结构[15]。对于混合体系的结构化油脂，特别是通过将极性略有差异的脂基材料（如谷维素/谷甾醇＋单甘酯、脱水山梨糖醇三硬脂酸酯或谷甾醇的混合物）结合制备的结构化油脂，其结构化作用受微观结构变化的影响，微观结构变化是由异相成核、结晶动力学（由于表面张力降低，成核速率增加）及晶体习性的改变导致最终网络强度变化引起的[16-17]。同时，结构剂组成的不同，其结构化效率会发生较大的变化，如蜡基结构化油脂的结构化效率差异是由于蜡由不同比例的蜡酯、烷烃、脂肪醇和游离脂肪酸构成而引起的[18]。相比蜡的熔点因素，蜡中单个成分的相对比例对结构化油脂的凝胶特性影响更大[19]。Doan等[20]研究发现不同天然蜡（向日葵蜡、蜂蜡、米糠蜡、小烛树蜡、巴西棕榈蜡和浆果蜡）对米糠油基结构化油脂的固体脂肪含量、热力学及流变特性具有显著的影响。此外，凝胶网络形成所需结构剂的最低浓度也取决于它们的类型。在高油酸葵花籽油中，向日葵蜡、巴西棕榈蜡、小烛树蜡、蜂蜡、浆果蜡和果蜡的凝胶网络形成所需最小质量分数在0.5%～7.0%之间变化，其中向日葵蜡的临界结构化质量分数为0.5%，而果蜡为7.0%。另外，在特定的情况下，如羟基化脂肪酸[21]、β-谷甾醇＋谷维素、卵磷脂＋生育酚[22]等结构剂可通过复杂的超分子结构，如自组装化纤维网络、微管和圆柱形胶束等维持结构化油脂的框架结构。

表 1 结构化油脂经典配方及其制备方法

Table 1 Classical formulae and preparation of structured oil

油脂结构化方法	结构剂	配方	制备方法	参考文献
直接分散法	米糠蜡	米糠蜡、稻米油	称取93%～96%（质量分数，下同）稻米油，加入4%～7%米糠蜡，在80 ℃下水浴加热搅拌30 min后，转入样品瓶，在25 ℃下水浴静置结晶24 h即可	[18]
乳液模板法	β-乳球蛋白	β-乳球蛋白、橄榄油、柠檬酸三钠	首先制备20 mmol/L柠檬酸三钠缓冲溶液，维持其pH值为7.3，然后在缓冲液中加入质量分数1% β-乳球蛋白。随后，向270 g含β-乳球蛋白溶液中加入30 g橄榄油，通过高压均质机在15 MPa条件下制备成粗乳液后喷雾干燥制备成油粉	[23]
结构化双相体系	海藻酸钠、菊粉	海藻酸钠、菊粉、$CaSO_4$、橄榄油、无水焦磷酸四钠（tetrasodium pyrophosphate anhydrous，STP）	将1%海藻酸钠、1% $CaSO_4$、0.75 % STP和2.25%菊粉与40%水用均质机进行混合，并在1 500 r/min下均质20 s；随后，均质机在1 500 r/min的转速下均质，将55%橄榄油逐渐添加到该混合液中；将上述样品置于具有一定压力的金属模具中压实避免气泡产生，并在2 ℃的冷藏室中贮存24 h	[24]
油脂吸附法	羟丙基甲基纤维素（hydroxypropyl methyl cellulose，HPMC）	HPMC、葵花籽油	将HPMC样品溶解在水中以获得2%的聚合物溶液，然后使用剪切机对HPMC溶液进行充气，随后将水性泡沫在−23 ℃下冷冻干燥以获得多孔冷冻凝胶；将多孔冷冻凝胶浸入葵花籽油中进行吸油并放置过夜后，使用剪切机以11 000 r/min的速度剪切吸油后的冷冻凝胶，从而获得油凝胶	[25]

对于非脂质基的结构因子，如乙基纤维素（聚合物）和二氧化硅胶体颗粒等也可以通过直接分散法制备结构化油脂。然而，在制备过程中需要注意特殊的加工条件。如以乙基纤维素为结构剂制备结构化油脂时，乙基纤维素在液态油中的均匀悬浮液是通过其在高于自身玻璃化转化温度（140 ℃）条件下快速剪切得到的，随后，当冷却到某一温度时，乙基纤维素通过氢键连接而发生结构化[26]。同样地，其他聚合物如甲壳素也已被用于通过直接分散法制备结构化油脂。然而，需要通过化学改性（水解）将天然甲壳素转化为纳米晶体[27]，或者采用表面活性剂的修饰，使结构化油脂的网络结构得以强化。研究表明，只有当表面活性剂（磷脂或Span 60）与甲壳素的质量比为2∶1时，形成的结构化油脂具有较强流变特性[28]。

2.2.2 乳液模板法（间接制备法）

乳液模板法是基于食品乳化剂在油-水界面的相互作用而实现乳液脱水制备结构化油脂，如油粉、油胶和软固体材料，其可包裹大量的液态油，在长期贮存过程中不会出现任何漏油现象[29]。乳液模板法需要多个步骤，包括稳定的水包油乳液的构建、界面层的固化以及水相的干燥，如表1所示，采用β-乳球蛋白制备稳定乳液经喷雾干燥所得的结构化油脂，其中最为关键的是稳定界面层的形成，该界面层需要有一定的刚性，能够在脱水过程中防止液态油的泄漏。借助具有表面活性的蛋白质

Downloaded from https://cabidigitallibrary.org by 188.119.36.163, on 10/27/25.
Subject to the CABI Digital Library Terms & Conditions, available at https://cabidigitallibrary.org/terms-and-conditions

稳定界面，然后通过热或化学方法交联可实现结构化油脂的成功制备。Mezzenga等[23]通过β-乳球蛋白在油-水界面的热、化学交联形成稳定的乳液，再经喷雾干燥制备超高液态油含量的油粉（质量分数高达93%）；同时，使用具有表面和非表面活性食品聚合物进行组合，可以在增加界面黏弹性的同时制备出结构化油脂。Patel等[30]研究发现众多多糖增稠剂中仅黄原胶可促进以纤维素乳液为模板制备油凝胶，因为黄原胶与纤维素之间存在氢键相互作用。此外，皮克林乳液法同样也能实现结构化油脂的制备。Adelmann等[31]采用改性的疏水蛋白颗粒和二氧化硅颗粒制备出高稳定的皮克林乳液，脱水过程中颗粒牢固锚定在界面实现液态油的粉末、凝胶结构化。

2.2.3 结构化双相体系

多数脂肪食品含有大量水分，而具有凝胶特性的油-水双相体系大致分3类：1）使用生物聚合物（蛋白质和/或多糖）作为乳化剂以及增稠剂/胶凝剂构成的水连续相乳液，如奶酪、酸奶、乳制品甜点等；2）由分散液体聚集堆积形成的高度浓缩的水连续相乳液，如蛋黄酱、调味汁等；3）使用脂肪颗粒结晶网络构建的油连续相乳液，如人造黄油、黄油和涂抹酱。构建这种产品最直接的方法是水相或者油相的凝胶化/增稠，降低产品中的固体脂肪和/或总脂肪含量。

结构化双相体系是通过一定手段将油-水两相进行凝胶化，从而得到具有一定黏弹特性的两相体系，表1中说明了海藻酸钠和菊粉为结构剂通过结构化双相体系制备结构化油脂的方法。结构化乳液就是其中的一种，其通过饱和单酰基甘油（monoglyceride，MAG）界面吸附形成界面膜并多层聚集而成。这种结构化乳液为水包油型，含有约30%～40%（质量分数）的水，其夹在MAG界面层之间，当MAG结晶时，分散的油滴被包裹在水合层中，从而形成具有高黏度的半固态产品。这种结构是由高体积分数的分散油滴引起的，从而形成不流动的凝胶[32]。

另外一种构建结构化双相体系的方法是将油滴分散并物理截留在水凝胶基质中，从而形成油脂填充体系[33]。已有研究采用水胶体如魔芋葡甘聚糖和海藻酸纳，结合菊粉或糊精包埋鱼油、亚麻籽油或者橄榄油构建健康结构化油脂[32]。该方法是将液态油分散在水相，并通过水相凝胶化制得。其不同于传统乳液，制备不需要乳化剂，体系的稳定性完全依靠油相在水相凝胶基质中的物理截留作用。

同样，也有研究制备以液态油为连续相的结构化乳液。其中分散的水相被凝胶化获得凝胶填充型乳液。此种方法不同于前两种的乳液填充凝胶类型。其原理是将乳液的水滴分散在连续油相介质中，然后通过降温或聚合物-阳离子相互作用诱导凝胶化[34]。图2为3 种不同类型结构化双相体系示意图。在结构化乳液的情况下，分散的油滴周围的界面借助水膜、结晶层实现结构化；在油脂填充体系中，分散的油滴被包埋在聚合物网络凝胶的水相基质中；凝胶填充型乳液是通过使用刺槐豆胶和角叉菜胶的组合协同形成凝胶网络包埋分散的水滴而形成。

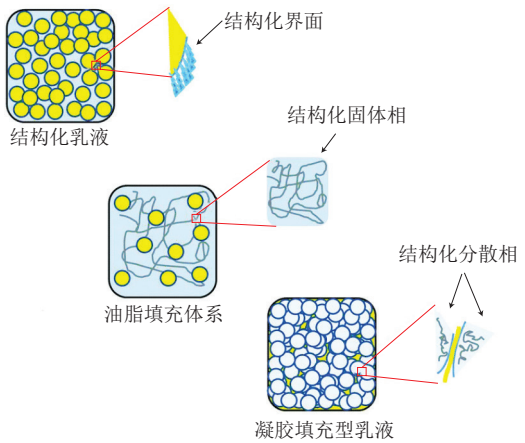


图 2 3 种不同类型结构化双相体系的示意图：结构化乳液、油脂填充体系和凝胶填充型乳液[35]

Fig. 2 Schematic diagram of three different types of structured biphasic systems: structured emulsions, oil filling system and gelled emulsions[35]

2.2.4 油脂吸附法

吸附过程可以定义为界面附近物质富集或流体密度增加。在食品中，通常采用高比表面积的多孔添加剂或者其他吸附性填料，以富集水分于食品中，从而增加不同产品的稠度、流动性和质地。已有研究采用HPMC稳定的水基泡沫作为模板创建了多孔材料，由于其高孔隙率，能够吸收100 倍于自身质量的液态油，通过剪切形成质量分数高达98%液体油的油凝胶[25]，其表现出类似强凝胶的流变特性，但是触变结构恢复性较弱，可通过添加少量（质量分数5%）固体脂改善其触变特性。HPMC为结构剂通过油脂吸附法制备结构化油脂的方法如表1所示。

与此同时，也有研究基于纤维素的吸附作用富集油脂制备出低饱和、零反式脂肪酸的起酥油。研究发现纤维素材质的毛细管力不仅可以吸附油脂，也加强了结晶网络的强度，从而使得结构化体系更加稳定[36]。同样的，利用部分酶促降解得到的具有高比表面积（0.5～1.2 m^2/g）和低密度（0.3～0.5 g/cm^3）的微米尺寸多孔淀粉颗粒（≤20 μm）也被用于烘焙专用的结构化油脂中[37]。

3 结构化油脂在烘焙产品中的应用

焙烤食品（如面包、蛋糕、松饼和饼干等）通常含有大量的固体脂肪。其中烘焙专用油脂中的固体脂肪质量分数高达31.8%，蛋糕中含有7.4%，饼干奶油含有21%，薄脆饼干含有4.1%[38]。在不同焙烤产品中，脂肪的作用有所不同，主要参与微观结构的形成，并维持

Downloaded from https://cabidigitallibrary.org by 188.119.36.163, on 10/27/25.
Subject to the CABI Digital Library Terms & Conditions, available at https://cabidigitallibrary.org/terms-and-conditions

面团中空气的稳定。在脂肪含量较高的烘焙食品中，室温下脂肪的稠度以及感官（如风味释放）对最终产品的品质影响较大；同时也影响产品贮存期间油脂的迁移和氧化稳定性。对于发酵产品（如面包类），虽然脂肪含量较低，但是其作为面团中面筋的润滑剂而促使面包呈现出柔软的质地是必不可少的。在层状产品中，具有适当塑性和硬度的脂肪能够保证在折叠和压片过程中面团层间的铺展；在蛋糕类产品中，脂肪与乳化剂一起保证面糊的透气性，从而产生柔软的质地。结构化油脂不仅能够提供传统烘焙油脂固有的质构和流变特性，同时其低脂、高不饱和的优势使其广泛应用于烘焙产品中。

3.1 面包

面包制作中，脂肪用于提高面团中的气体保留率，有助于焙烤过程中面团的热传递，增加产品体积和柔软度，从而获得理想的质地[5]。孟宗等[39]采用植物蜡（米糠蜡、蜂蜡、棕榈蜡）结构化的油凝胶制作面包，结果显示，与黄油烘焙的面包相比，其感官评定结果和质构特性接近，达到市售面包的要求。Calligaris等[40]对比分析了单甘酯水凝胶和油凝胶在甜面包中的应用，发现单甘酯水凝胶制备的面包比容大于油凝胶和传统油脂制备的面包比容，这是由于水凝胶体系中油在面粉中分布得更加均匀。然而，随着贮存时间的延长，相比传统油脂，结构化油脂（水凝胶和油凝胶）制备的面包更容易变硬，通常采用部分取代可实现产品的品质改善。对于聚合物基结构化油脂，Ye Xiuyun等[41]研究不同种类的乙基纤维素聚合物进行凝胶化制备结构化油脂，发现乙基纤维素100（ethylcellulose 100，EC100）可通过凝胶网络结构化液态油，形成流变特性较好的新型起酥油；相比于传统烘焙油脂，其制备出的面包具有更大的比容，质地更加柔软。同时，采用4% EC100与1%的单硬脂酸甘油酯进行组合，可以使面包面团具有更强的持气能力。

3.2 饼干和曲奇

饼干和曲奇是世界上最受欢迎的两种烘焙食品，由不同比例的糖、黄油、鸡蛋和面粉制成。其中脂肪含量越高，饼干越酥，口感与味道更好[42]。采用结构化油脂替代传统起酥油可以减少烘焙产品中SFA的含量，但是最大的困难是保持所需的加工特性（物理特性）。Curti[43]和Goldstein[44]等分别研究了纤维素基结构化乳液和单甘酯基结构化乳液取代黄油和起酥油制备饼干，发现加入结构化油脂生面团的硬度与对照组接近，但是烘焙后的产品硬度增大，特别是采用纤维素结构化橄榄油的结构化乳液制备的饼干硬度最大，单甘酯基结构化乳液制备出的曲奇硬度也远大于起酥油制备的；贮存一段时间后，两种不同油脂制备的曲奇硬度都增加。此外，油凝胶取代传统烘焙油脂同样对饼干的品质有一定的影响。Mert等研究发现油凝胶制备的曲奇硬度要比传统烘焙油脂制备的曲奇硬度大，而且部分取代起酥油后制备的曲奇可接受度更佳[45-46]。也有研究发现，油凝胶对生面团的黏弹特性、颜色、硬度影响不大[47]；而且，Hwang等[48]研究发现蜡基油凝胶制备出的饼干与人造黄油制备出的饼干具有相同的硬度和酥脆性。由于面粉中面筋形成的网络对饼干结构特性的影响远大于脂肪，因此，结构化油脂在饼干产品中的应用具有一定的可行性。为实现消费者对产品最大的接受度，同时保证产品的营养健康，可通过结构化油脂与传统烘焙油脂进行组合或者针对不同配方选择不同的结构化油脂，从而改善饼干或曲奇的物理特性和口感。

3.3 酥皮点心

酥皮点心是一种未发酵的层状烘焙产品，是由许多交替脂肪层（分隔层压）的薄层面团组成的糊状物，其中脂肪层对产品的品质起着关键作用。作为一种高脂肪含量（质量分数15%～35%）的产品，脂肪的取代难度更大。Pimdit等[49]研究发现采用麦芽糊精水凝胶代替人造奶油时，与普通酥皮糕点相比，其质地更致密，且膨松度更低。Blake等[50]采用米糠蜡、水、单甘油酯和菜籽油制备的结构化乳液代替商业压层起酥油时，也获得了更加致密的产品。

3.4 蛋糕类烘焙食品

蛋糕面糊是一种复杂的水包油乳液，由鸡蛋、糖、水、脂肪混合物作为连续相和空气作为不连续相构成，面粉颗粒分散在其中。蛋糕面糊在搅打及烘焙过程中包埋空气使得产品具有多孔结构和较大的比容[51]。烘焙专用油脂作为蛋糕中重要的组成成分，有助于面糊搅打过程中的充气，同时提供蛋糕合适的湿润度和柔软度，并延长保质期。为了降低蛋糕的热量和脂肪含量，结构化油脂被应用于蛋糕中取代起酥油[52-53]。

万铮等[54]研究了具有塑性的皮克林乳液油凝胶对蛋糕性质的影响，结果表明，其制作的蛋糕具有较好的起泡稳定能力与持水性，蛋糕产生的气泡海绵结构更加松软，硬度和弹性等质构特性达到了市售蛋糕的水平。同样的，Patel等[55]采用虫胶结构化液态油，并制备虫胶凝胶乳液替代蛋糕中的起酥油，发现含虫胶凝胶乳液的面糊的弹性模量要低于起酥油制备的面糊，这是由于凝胶乳液中不含有固体脂肪晶体，使得虫胶凝胶乳液的稠度降低。面糊硬度的降低影响了面团的持气能力，导致虫胶凝胶乳液制备的面糊密度增加。尽管面糊的稠度和密度不同，但是烘焙后蛋糕的质地和感官特性与起酥油制备的蛋糕相同，都具有相同的体积和柔软度。不足之处是由于凝胶乳液制备的面糊网络中缺少固体脂肪晶体，使得最终产品的孔隙尺寸和孔隙均匀性降低。

Downloaded from https://cabidigitallibrary.org by 188.119.36.163, on 10/27/25.
Subject to the CABI Digital Library Terms & Conditions, available at https://cabidigitallibrary.org/terms-and-conditions

随后，Patel等[56]研究了水溶性食品聚合物黄原胶和甲基纤维素胶制备的油凝胶对蛋糕持气能力、流变和质构的影响，结果发现相比于起酥油和人造奶油，油凝胶制备的面糊黏弹性较低，但是微观结构相似，而其最终产品的硬度和咀嚼性也与起酥油和人造奶油制备的蛋糕无显著差异，可见，结构化油脂和传统烘焙专用油脂一样，能够抑制面筋网络的交联，使得产品更加柔软。Amoah等[57]研究了不同天然蜡结构化的油凝胶替代蛋糕中的起酥油，发现只有蜂蜡基油凝胶具有与起酥油相同的烘焙效果，使得最终蛋糕产品具有均匀的孔状结构和质地，而米糠蜡和小烛树蜡基油凝胶制备的蛋糕，孔隙率较低、硬度较大且有嚼劲。

虽然结构化油脂可取代蛋糕中传统烘焙油脂，然而由于其体系中缺少脂肪晶体，导致蛋糕面糊黏度较低，同时会表现出剪切变稀行为，不利于最终产品的品质。Lee[58]采用HPMC结构化制备葵花籽油凝胶，并研究其对松饼物理特性的影响，发现HPMC油凝胶制备的松饼，其气泡较大且分布不均匀。而采用油凝胶与起酥油组合能够保证蛋糕品质的同时降低脂肪的含量[59]。Giacomozzi等[60]基于Box-Behnken设计优化制备单甘油酯基高油酸葵花籽油凝胶，发现在松饼配方中用优化的油凝胶替代商品人造奶油赋予了产品更大比容和良好的铺展性。可见，不同的结构化体系具有不同的结构和功能特性，可根据产品的配方选择不同的结构化油脂，从而实现产品品质和营养价值的提升。

4 结构化油脂的营养特性

结构化油脂不仅可以降低或者改善烘焙产品中脂肪的品质，同时也可以通过其他成分的添加而优化烘焙产品的配方。由表2可以看出，结构化油脂营养特征主要体现在脂肪酸组成和总脂肪含量的不同。与传统烘焙产品相比，结构化油脂应用于烘焙产品后总脂肪含量降低，产品热量减少，不同烘焙体系中总脂肪质量分数减少了19%～46%，SFA质量分数降低了33%～87%。与此同时，油酸、亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸的含量随着液态油含量的增加而增加[48,61]。研究表明，富含奇亚籽油的结构化油脂取代蛋糕中传统油脂时，当取代量达到75%时可改变蛋糕中*n*-6/*n*-3脂肪酸的比例[62]。*n*-3脂肪酸具有抗炎和保护心脏的功效，而*n*-6脂肪酸具有促炎和氧化的作用，因此，较低的*n*-6/*n*-3摄入比例对预防冠心病等心血管慢病具有较好的功效[63-64]。结构化油脂取代传统烘焙专用油脂可改变烘焙产品中*n*-6/*n*-3比例，从而通过饮食调控预防疾病、延长寿命[65]。

据第1924/2006号欧洲法规中确立的标准，对于减少脂肪或者SFA含量的产品可以对其进行产品营养标签的标注[71]。如表2所示，采用蜡基油凝胶替代传统烘焙油脂制备蛋糕（蜡与向日葵油制备的结构化油脂）、松饼（蜡与葡萄籽油制备的结构化油脂）和饼干（蜡与菜籽油制备的结构化油脂），取代量在75%～100%（质量分数）之间时可达到营养产品标签的要求。

表 2 烘焙产品中部分结构化油脂的营养特性

Table 2 Nutritional properties of some structured oils used in bakery products

产品	油相	成分	含量替代率/%	营养功效	营养标签标注	参考文献
面包	棕榈油和葵花籽油	单甘酯基油凝胶/水凝胶	100	SFA含量减少	—	[40]
	—	奇亚籽乳液	25、50、75、100	蛋白质和脂质含量降低	50%、75%和100%取代量的面包：“减少脂肪”	[66]
饼干和曲奇	乳木果油等	结构化乳液	100	能量、脂肪总量和SFA含量减少；纤维含量增加	“减少饱和脂肪”“减少脂肪”“纤维来源”	[43]
	菜籽油	小烛树蜡基油凝胶	100	不饱和脂肪酸（unsaturated fatty acids，UFA）含量增加	“减少饱和脂肪”	[47]
	橄榄油	菊粉基凝胶填充乳液	50、100	50%和100%黄油替代饼干：总脂肪质量分数降低（分别为19%和46%），SFA质量分数降低（分别为39%和87%）	50%取代量饼干：“减少饱和脂肪”；100%取代量饼干：“减少脂肪”和“减少饱和脂肪”	[67]
	榛子油	向日葵蜡和蜂蜡基油凝胶	100	反式脂肪酸和SFA含量减少	—	[68]
酥皮点心	—	麦芽糊精基凝胶	100	脂肪含量和总能量降低	“减脂”	[49]
蛋糕	葵花籽油	蜡基油凝胶	100	SFA含量降低	“减少饱和脂肪”	[57]
	菜籽油	巴西棕榈蜡油凝胶	25	SFA含量减少	“减少饱和脂肪”	[59]
	高油酸棉籽油和葵花籽油	富含UFA的低热量油凝胶	10	总脂肪、SFA含量和热量降低	—	[69]
	—	奇亚籽胶	25、50、75	能量和SFA含量降低，*n*-6/*n*-3比例从215.7降低到13.2	50%取代量蛋糕：“减少脂肪”；70%取代量蛋糕：“减少脂肪”和“减少饱和脂肪”	[62]
松饼	高油酸葵花籽油	单甘酯油凝胶	100	不含反式脂肪酸，SFA含量低	—	[60]
	葡萄籽油	小烛树蜡油凝胶	0、25、50、75、100	UFA（亚油酸）含量增加，SFA/UFA降低	75%和100%取代量产品：“减少饱和脂肪”	[61]
	高油酸葵花籽油	纤维素乳液凝胶	100	与对照组相比，总脂肪质量分数为49%	—	[70]

注：—.文献未报道。

Downloaded from https://cabidigitallibrary.org by 188.119.36.163, on 10/27/25.
Subject to the CABI Digital Library Terms & Conditions, available at https://cabidigitallibrary.org/terms-and-conditions

结构化油脂中油脂种类的不同可导致烘焙产品中SFA含量的差异。通过文献综述明确了不同结构化油脂在烘焙产品中的应用情况，单不饱和脂肪酸含量较高的植物油（质量分数44%）是研究最多的一种，主要以橄榄油和菜籽油为主；其次是PUFA含量较高的植物油，主要应用于面包和饼干中。Calligaris等[40]对比研究了两种油凝胶（富含棕榈油和富含向日葵油的油凝胶）对面包品质的影响。Hwang等[48]研究了不同植物油种类（橄榄油、大豆油和亚麻籽油）结构化油脂对饼干品质的影响。Curti[43]和Pehlivanoglu[69]等将单一植物油升级到多种植物油混合，制备出不同植物油混合的结构化油脂，并用于蛋糕和塑性饼干中，增强了其营养价值和风味。因此，结构化油脂可成功取代传统烘焙脂肪，为更健康、质量更好的烘焙产品开发和升级提供新的方案。

5 结 语

综上所述，随着人们对健康营养饮食的追求，结构化油脂替代传统烘焙专用油脂越来越受到食品行业的关注。烘焙专用油脂作为烘焙产品中重要的组成成分对面团的结构及最终产品的品质起到关键的作用。然而，结构化油脂取代传统烘焙专用油脂应用到烘焙体系中同样面临一些挑战。首先，结构化油脂与面团搅拌混合过程中，由于剪切力等作用其结构易受到不可逆的破坏而失去固体状结构，在今后的研究工作中，需要开发挖掘更加合适的结构剂，从而开发出加工功能特性更强的结构化油脂。其次，虽然结构化油脂在烘焙产品中的应用研究层出不穷，在保证烘焙产品的质构和感官特性的同时，也赋予了产品更高的营养价值，但是目前还没有市售的含有结构化油脂的烘焙产品，因此，有必要进一步明确结构化油脂的营养与安全性，制定相关的法规和标准，进一步加强其在烘焙产品中的开发应用，提高消费者对含有结构化油脂的烘焙产品的接受度和消费量。

参考文献：

[1] MATTICE K D, MARANGONI A G. Structure-function analysis of edible fats[M]. 2th ed. Cambridge: AOCS Press, 2019: 287-311. DOI:10.1016/B978-0-12-814041-3.00010-1.

[2] HEILESON J L. Dietary saturated fat and heart disease: a narrative review[J]. Nutrition Reviews, 2020, 78(6): 474-485. DOI:10.1093/nutrit/nuz091.

[3] KRIS-ETHERTON P M, PETERSEN K, VAN HORN L. Convincing evidence supports reducing saturated fat to decrease cardiovascular disease risk[J]. BMJ Nutrition, Prevention & Health, 2018, 1(1): 23-26. DOI:10.1136/bmjnph-2018-000009.

[4] HAMLEY S. The effect of replacing saturated fat with mostly *n*-6 polyunsaturated fat on coronary heart disease: a meta-analysis of randomised controlled trials[J]. Nutrition Journal, 2017, 16(1): 1-16. DOI:10.1186/s12937-017-0254-5.

[5] HUANG Z, STIPKOVITS L, ZHENG H, et al. Bovine milk fats and their replacers in baked goods: a review[J]. Foods, 2019, 8(9): 383. DOI:10.3390/foods8090383.

[6] GHOTRA B S, DYAL S D, NARINE S S. Lipid shortenings: a review[J]. Food Research International, 2002, 35(10): 1015-1048. DOI:10.1016/S0963-9969(02)00163-1.

[7] BALDWIN R, BALDRY R, JOHANSEN R. Fat systems for bakery products[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1972, 49(8): 473-477. DOI:10.1007/BF02582482.

[8] RENZETTI S, DE HARDER R, JURGENS A. Puff pastry with low saturated fat contents: The role of fat and dough physical interactions in the development of a layered structure[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 170: 24-32. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2015.09.009.

[9] DEVI A, KHATKAR B. Effects of fatty acids composition and microstructure properties of fats and oils on textural properties of dough and cookie quality[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(1): 321-330. DOI:10.1007/s13197-017-2942-8.

[10] ANA E, BARRERA G N, STEFFOLANI E M, et al. Relationships between structural fat properties with sensory, physical and textural attributes of yeast-leavened laminated salty baked product[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(9): 2613-2625. DOI:10.1007/s13197-017-2572-1.

[11] GUNENC A, KONG L, ELIAS R J, et al. Inclusion complex formation between high amylose corn starch and alkylresorcinols from rye bran[J]. Food Chemistry, 2018, 259: 1-6. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.02.149.

[12] SINGH A, AUZANNEAU F I, ROGERS M. Advances in edible oleogel technologies: a decade in review[J]. Food Research International, 2017, 97: 307-317. DOI:10.1016/j.foodres.2017.04.022.

[13] PUȘCAȘ A, MUREȘAN V, SOCACIU C, et al. Oleogels in food: a review of current and potential applications[J]. Foods, 2020, 9(1): 70. DOI:10.3390/foods9010070.

[14] 陈飞雪, 胡茂芩, 董平, 等. 不同种类凝胶因子对芝麻油基凝胶油特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(2): 1-5; 11. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020030392.

[15] DANIEL J, RAJASEKHARAN R. Organogelation of plant oils and hydrocarbons by long-chain saturated FA, fatty alcohols, wax esters, and dicarboxylic acids[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2003, 80(5): 417-421. DOI:10.1007/s11746-003-0714-0.

[16] HAN L, LI L, LI B, et al. Structure and physical properties of organogels developed by sitosterol and lecithin with sunflower oil[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2014, 91(10): 1783-1792. DOI:10.1007/s11746-014-2526-y.

[17] 李胜, 马传国, 刘君, 等. 谷维素/谷甾醇与单甘酯复合凝胶油形成过程及分子作用特性[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 89-96. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201810015.

[18] 赵月, 邹德智, 李婷婷, 等. 米糠蜡对稻米油基凝胶油形成的影响及动力学[J]. 食品科学, 2017, 38(23): 59-64. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201723010.

[19] PATEL A R, BABAAHMADI M, LESAFFER A, et al. Rheological profiling of organogels prepared at critical gelling concentrations of natural waxes in a triacylglycerol solvent[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(19): 4862-4869. DOI:10.1021/acs.jafc.5b01548.

[20] DOAN C D, VAN DE WALLE D, DEWETTINCK K, et al. Evaluating the oil-gelling properties of natural waxes in rice bran oil: rheological, thermal, and microstructural study[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2015, 92(6): 801-811. DOI:10.1007/s11746-015-2645-0.

Downloaded from https://cabidigitallibrary.org by 188.119.36.163, on 10/27/25.
Subject to the CABI Digital Library Terms & Conditions, available at https://cabidigitallibrary.org/terms-and-conditions

[21] WRIGHT A J, MARANGONI A G. Formation, structure, and rheological properties of ricinelaidic acid-vegetable oil organogels[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2006, 83(6): 497-503. DOI:10.1007/s11746-006-1232-9.

[22] NIKIFORIDIS C V, SCHOLTEN E. Self-assemblies of lecithin and α-tocopherol as gelators of lipid material[J]. RSC Advances, 2014, 4(5): 2466-2473. DOI:10.1039/C3RA46584E.

[23] MEZZENGA R, ULRICH S. Spray-dried oil powder with ultrahigh oil content[J]. Langmuir, 2010, 26(22): 16658-16661. DOI:10.1021/la103447n.

[24] HERRERO A M, RUIZ-CAPILLAS C, JIMÉNEZ-COLMENERO F, et al. Raman spectroscopic study of structural changes upon chilling storage of frankfurters containing olive oil bulking agents as fat replacers[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(25): 5963-5971. DOI:10.1021/jf501231k.

[25] PATEL A R, DEWETTINCK K. Comparative evaluation of structured oil systems: shellac oleogel, HPMC oleogel, and HIPE gel[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2015, 117(11): 1772-1781. DOI:10.1002/ejlt.201400553.

[26] 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.

[27] DAVIDOVICH-PINHAS M, GRAVELLE A J, BARBUT S, et al. Temperature effects on the gelation of ethylcellulose oleogels[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 46: 76-83. DOI:10.1016/j.foodhyd.2014.12.030.

[28] HUANG Y, HE M, LU A, et al. Hydrophobic modification of chitin whisker and its potential application in structuring oil[J]. Langmuir, 2015, 31(5): 1641-1648. DOI:10.1021/la504576p.

[29] 陈小威. 基于界面工程构建皂皮皂素乳液基食品胶体微结构及其风味控释研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 153-168.

[30] PATEL A R. A colloidal gel perspective for understanding oleogelation[J]. Current Opinion in Food Science, 2017, 15: 1-7. DOI:10.1016/j.cofs.2017.02.013.

[31] ADELMANN H, BINKS B P, MEZZENGA R. Oil powders and gels from particle-stabilized emulsions[J]. Langmuir, 2012, 28(3): 1694-1697. DOI:10.1021/la204811c.

[32] WANG F C, MARANGONI A G. Advances in the application of food emulsifier α-gel phases: saturated monoglycerides, polyglycerol fatty acid esters, and their derivatives[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2016, 483: 394-403. DOI:10.1016/j.jcis.2016.08.012.

[33] HERRERO A M, RUIZ-CAPILLAS C. Novel lipid materials based on gelling procedures as fat analogues in the development of healthier meat products[J]. Current Opinion in Food Science, 2021, 39: 1-6. DOI:10.1016/j.cofs.2020.12.010.

[34] PATEL A R, RODRIGUEZ Y, LESAFFER A, et al. High internal phase emulsion gels (HIPE-gels) prepared using food-grade components[J]. RSC Advances, 2014, 4(35): 18136-18140. DOI:10.1039/C4RA02119C.

[35] PATEL A R, DEWETTINCK K. Edible oil structuring: an overview and recent updates[J]. Food & Function, 2016, 7(1): 20-29. DOI:10.1039/C5FO01006C.

[36] PHOON P Y, HENRY C J. Fibre-based oleogels: effect of the structure of insoluble fibre on its physical properties[J]. Food & Function, 2020, 11(2): 1349-1361. DOI:10.1039/C9FO02431J.

[37] METIN S, SMITH P R, VEELAERT S, et al. Bakery fat system: US20150064329A1[P/OL]. 2015-03-05[2021-07-11]. http://www.google.co.in/patents/US20150064329.

[38] GUTIÉRREZ-LUNA K, ASTIASARÁN I, ANSORENA D. Gels as fat replacers in bakery products: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(14): 3768-3781. DOI:10.1080/10408398.2020.1869693.

[39] 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.

[40] CALLIGARIS S, MANZOCCO L, VALOPPI F, et al. Effect of palm oil replacement with monoglyceride organogel and hydrogel on sweet bread properties[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 596-602. DOI:10.1016/j.foodres.2013.01.007.

[41] YE Xiuyun, LI Peixu, LO Y M, et al. Development of novel shortenings structured by ethylcellulose oleogels[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(6): 1456-1464. DOI:10.1111/1750-3841.14615.

[42] SANZ T, QUILES A, SALVADOR A, et al. Structural changes in biscuits made with cellulose emulsions as fat replacers[J]. Food Science and Technology International, 2017, 23(6): 480-489. DOI:10.1177/1082013217703273.

[43] 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 the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(10): 3836-3842. DOI:10.1002/jsfa.8899.

[44] 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. DOI:10.1016/j.foodres.2011.03.029.

[45] MERT B, DEMIRKESEN I. Reducing saturated fat with oleogel/shortening blends in a baked product[J]. Food Chemistry, 2016, 199: 809-816. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.12.087.

[46] MERT B, DEMIRKESEN I. Evaluation of highly unsaturated oleogels as shortening replacer in a short dough product[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 68: 477-484. DOI:10.1016/j.lwt.2015.12.063.

[47] JANG A, BAE W, HWANG H S, et al. Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods[J]. Food Chemistry, 2015, 187: 525-529. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.04.110.

[48] HWANG H S, SINGH M, LEE S. Properties of cookies made with natural wax-vegetable oil organogels[J]. Journal of Food Science, 2016, 81(5): C1045-C1054. DOI:10.1111/1750-3841.13279.

[49] PIMDIT K, THERDTHAI N, JANGCHUD K. Effects of fat replacers on the physical, chemical and sensory characteristics of puff pastry[J]. Agriculture and Natural Resources, 2008, 42(4): 739-746.

[50] BLAKE A I, MARANGONI A G. Factors affecting the rheological properties of a structured cellular solid used as a fat mimetic[J]. Food Research International, 2015, 74: 284-293. DOI:10.1016/j.foodres.2015.04.045.

[51] MATOS M E, SANZ T, ROSELL C M. Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 35: 150-158. DOI:10.1016/j.foodhyd.2013.05.007.

[52] 祁珂宇. 基于食用聚合物基凝胶油脂构建与应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018: 58-71.

[53] 刘瑞丹. 蛋清蛋白-黄原胶结构化油脂的构建与应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019: 35-40.

[54] 万铮, 赵海洋, 曾朝喜, 等. 基于皮克林乳液的低芥酸菜籽油基凝胶油的性质及应用[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(3): 361-368. DOI:10.13331/j.cnki.jhau.2021.03.018.

[55] PATEL A R, RAJARETHINEM P S, GRĘDOWSKA A, et al. Edible applications of shellac oleogels: spreads, chocolate paste and cakes[J]. Food & Function, 2014, 5(4): 645-652. DOI:10.1039/C4FO00034J.

[56] PATEL A R, CLUDTS N, SINTANG M D B, et al. Edible oleogels based on water soluble food polymers: preparation, characterization and potential application[J]. Food & Function, 2014, 5(11): 2833-2841. DOI:10.1039/C4FO00624K.

Downloaded from https://cabidigitallibrary.org by 188.119.36.163, on 10/27/25.
Subject to the CABI Digital Library Terms & Conditions, available at https://cabidigitallibrary.org/terms-and-conditions

[57] 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-Food Science and Technology, 2017, 86: 430-437. DOI:10.1016/j.lwt.2017.08.021.

[58] 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. DOI:10.1016/j.foodhyd.2017.11.022.

[59] 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. DOI:10.1111/1750-3841.13583.

[60] GIACOMOZZI A S, CARRÍN M E, PALLA C A. Muffins elaborated with optimized monoglycerides oleogels: from solid fat replacer obtention to product quality evaluation[J]. Journal of Food Science, 2018, 83(6): 1505-1515. DOI:10.1111/1750-3841.14174.

[61] LIM J, JEONG S, LEE J, et al. Effect of shortening replacement with oleogels on the rheological and tomographic characteristics of aerated baked goods[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(11): 3727-3732. DOI:10.1002/jsfa.8235.

[62] BORNEO R, AGUIRRE A, LEÓN A E. Chia (*Salvia hispanica* L) gel can be used as egg or oil replacer in cake formulations[J]. Journal of the American Dietetic Association, 2010, 110(6): 946-949. DOI:10.1016/j.jada.2010.03.011.

[63] MANSON J E, COOK N R, LEE I M, et al. Marine *n*-3 fatty acids and prevention of cardiovascular disease and cancer[J]. New England Journal of Medicine, 2019, 380(1): 23-32. DOI:10.1056/NEJMoa1811403.

[64] MAKI K C, EREN F, CASSENS M E, et al. *ω*-6 Polyunsaturated fatty acids and cardiometabolic health: current evidence, controversies, and research gaps[J]. Advances in Nutrition, 2018, 9(6): 688-700. DOI:10.1093/advances/nmy038.

[65] SHEPPARD K W, CHEATHAM C L. Omega-6/omega-3 fatty acid intake of children and older adults in the US: dietary intake in comparison to current dietary recommendations and the healthy eating index[J]. Lipids in Health and Disease, 2018, 17(1): 1-12. DOI:10.1186/s12944-018-0693-9.

[66] FERNANDES S S, SALAS-MELLADO M L M. Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes[J]. Food Chemistry, 2017, 227: 237-244. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.01.075.

[67] 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. DOI:10.1016/j.lwt.2015.03.063.

[68] YILMAZ E, ÖĞÜTCÜ M. The texture, sensory properties and stability of cookies prepared with wax oleogels[J]. Food & Function, 2015, 6(4): 1194-1204. DOI:10.1039/C5FO00019J.

[69] PEHLIVANOGLU H, OZULKU G, YILDIRIM R M, et al. Investigating the usage of unsaturated fatty acid-rich and low-calorie oleogels as a shortening mimetics in cake[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(6): e13621. DOI:10.1111/jfpp.13621.

[70] MARTÍNEZ-CERVERA S, SALVADOR A, SANZ T. Cellulose ether emulsions as fat replacers in muffins: rheological, thermal and textural properties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(2): 1083-1090. DOI:10.1016/j.lwt.2015.04.067.

[71] European Parliament and of the Council. Nutrition and health claims made on foods: EC/No 1924/2006[S]. Official Journal of the European Union, 1924: 404-406.

Downloaded from https://cabidigitallibrary.org by 188.119.36.163, on 10/27/25.
Subject to the CABI Digital Library Terms & Conditions, available at https://cabidigitallibrary.org/terms-and-conditions