

专家组稿专栏

编者按:牛乳是一种营养丰富的全价营养食品,其中含有多多种优质和功能性蛋白质。对干酪加工副产物中乳清蛋白以及一些微量生物活性蛋白质(如乳铁蛋白)的研究开发是乳品科学的热点问题之一。在“聚合乳清蛋白包埋油脂功能特性的研究”一文中,研究了乳清蛋白经聚合处理后作为微胶囊包材用于包埋功能性油脂的可行性。在“牛乳乳铁蛋白的纯化及热处理对其分子特性的影响”一文中,对牛乳中乳铁蛋白的结构特性进行了初步研究。目前我国对牛乳资源的深加工利用研究和开发的相关功能性产品仍然很少,本栏目有关乳清中蛋白质功能特性的研究将有助于促进乳清蛋白质的产品开发,提升乳清综合利用附加值。

(栏目主持人:杨贞耐教授)

文章编号:2095-6002(2013)02-0021-05

引用格式:张铁华,姜楠,张兴,等. 聚合乳清蛋白包埋油脂功能特性的研究. 食品科学技术学报,2013,31(2):21-25.

ZHANG Tie-hua, JIANG Nan, ZHANG Xing, et al. Functional Properties of Polymerized Whey Protein after Encapsulation of Oils. Journal of Food Science and Technology, 2013,31(2):21-25.

聚合乳清蛋白包埋油脂功能特性的研究

张铁华, 姜楠, 张兴, 王君宝, 马琳, 宋开永,
刘迪茹, 郭明若*

(吉林大学军需科技学院, 吉林 长春 130062)

摘要:研究了聚合乳清蛋白包埋鱼油和月见草油后凝胶功能特性的变化。结果表明,鱼油凝胶的乳化性、乳化稳定性明显优于月见草油凝胶($P < 0.01$),随着凝胶天数的增加,鱼油和月见草油凝胶的乳化性和乳化稳定性均有所降低;鱼油凝胶乳化性第4天出现明显下降($P < 0.05$),月见草油凝胶乳化性下降不明显($P > 0.05$);鱼油凝胶黏度明显低于月见草油凝胶黏度,平均比月见草油凝胶低16.57%,随着凝胶形成天数的增加,黏度均近似成线性模型增长;两种凝胶在实验所设定的剪切速率范围内均表现为剪切变稀,呈假塑性;鱼油凝胶硬度略高于月见草油凝胶,但差异不显著($P > 0.05$),随着凝胶形成天数的增加,凝胶硬度都略有增加,但增加不显著($P > 0.05$)。

关键词:乳清蛋白;聚合;鱼油;月见草油;功能特性

中图分类号:TS252.9;TS222

文献标志码:A

随着人们生活水平的逐步提高,乳制品因其独特的功能特性而备受消费者青睐。然而其中过高的乳脂肪含量与消费者日趋高蛋白低脂肪的消费理念相悖,脂肪替代品应运而生。乳清蛋白是由干酪生产过程中所产生的副产品乳清经过特殊工艺浓缩精制而成的一类蛋白质,具有丰富的营养价值^[1]。而

乳清浓缩蛋白(whey protein concentration, WPC)是指从巴氏杀菌的乳清中尽量去除非蛋白质成分,蛋白质含量在34%~82%的产品^[2]。乳清蛋白具有突出的功能特性,包括成胶性、持水性、搅打起泡性、乳化性、涂层性和微胶束化。经过改性后的乳清蛋白可进一步提高其功能特性,并作为脂肪替代品应用

收稿日期:2013-02-25

项目支撑:国家科技支撑计划项目(2013BAD18B07);大学生创新训练国家级项目(2012A83226)。

作者简介:张铁华,男,教授,博士,主要从事乳品科学方面的研究;

*郭明若,男,教授,博士,主要从事乳品科学方面的研究。通讯作者。

于食品中,改善食品的口感、质地,提高产品的稳定性和延长货架期^[3]。

随着食品中脂肪含量的降低,某些脂溶性营养物质随之流失,营养价值下降,可以通过以改性乳清蛋白为基质的脂肪替代品来强化某些脂溶性营养物质,如鱼油、月见草油等。鱼油是二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)等 ω -3多不饱和脂肪酸的重要来源。研究表明,DHA和EPA具有维护脑和视网膜的功能及延缓脑衰老,预防和治疗心血管疾病,抑制肿瘤的发生、生长和转移,抗炎、抑制过敏反应等^[4-7]。月见草油的主要功效成分为 γ -亚麻酸,具有防止血脂沉降和抑制血小板集聚的作用,可作为抗血栓剂。同时还具有降低胆固醇,防止动脉硬化,减肥,抗炎抗衰老等作用^[8]。

本项目以WPC-80为主要原料,采用加热改性的方法,比较了包埋鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白在乳化性、乳化稳定性、流变学特性以及质构特性等性质方面的变化,为以乳清蛋白为基质并包埋功能性油脂的脂肪替代品在食品中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

乳清浓缩蛋白WPC-80,美国进口;鱼油,长春市康美诺保健食品有限公司;月见草油,美国NBTY公司;氢氧化钠(分析纯),十二烷基磺酸钠(分析纯),北京化学试剂公司。

1.2 仪器与设备

METTLER TOLEDO电子分析天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;PHS-3C型累磁pH计,上海精科有限公司;IKA C-MAG HS7型磁力搅拌器,德国艾卡公司;JJ-0.06/60型均质机,廊坊通用机械有限公司;UV-2550型紫外分光光度计,日本SHIMADZU公司;CT-3型质构测定仪,美国Brookfield公司;DV-III型流变仪,美国Brookfield公司。

1.3 实验方法

1.3.1 聚合乳清蛋白凝胶的制备^[9]

将乳清浓缩蛋白WPC-80粉末溶解于蒸馏水中,搅拌均匀,使其充分溶解,制成质量百分比为10%的乳清蛋白溶液,并在4℃条件下过夜保存。

在室温下,将10%的乳清蛋白溶液用2 mol/L氢氧化钠调整pH值至8.5,将鱼油按2.5%、月见草油按4%的质量比添加到乳清蛋白溶液中,没有添加油脂的样品作为对照样,并用均质机以7 000 r/min的转速

均质50 s,85℃水浴条件下加热30 min并迅速冷却至室温,在4℃条件下保存24 h形成具有流动性的凝胶。

1.3.2 凝胶乳化性及乳化稳定性的测定

根据Pearce等^[10]的方法,分别于盛装有包埋鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白凝胶的容器底部取样100 μ L,用5 mL 0.1%的SDS溶液将其稀释,混合均匀后,于500 nm波长下测定吸光度值,以SDS溶液作为空白对照。对于同一样品,室温放置10 min后再次取样,并测定其吸光度值。乳化性EAI及乳化稳定性ES按式(1)、式(2)进行计算。

$$EAI = 2.303 \times A_0 / \phi, \quad (1)$$

$$ES = A_{10} / A_0 \times 100, \quad (2)$$

式(1)、式(2)中: A_0 为初始乳化液的吸光度值; A_{10} 为放置10 min后的乳化液的吸光度值; ϕ 为乳化液中油相的比例。

1.3.3 凝胶黏度的测定^[11]

室温下,用玻璃棒按顺时针方向搅打凝胶样品,直至样品成均匀黏稠的糊状。然后采用美国Brookfield公司生产的DV-III型流变仪进行黏度测试。对于包埋了鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白凝胶,采用LV4型号的转子,对于不包埋油脂的聚合乳清蛋白凝胶,采用LV3型号的转子,转速均设定为100 r·min⁻¹,总测量时间为1 min,每隔5 s取一个数据点,取平均值作为最终的黏度值,每个样品做3次平行。

1.3.4 凝胶流变学特性的测定

取形成凝胶第7天的样品,在室温下,用玻璃棒按顺时针方向搅打凝胶样品,直至样品成均匀黏稠的糊状。然后采用美国Brookfield公司生产的DV-III型流变仪进行凝胶流变学特性测试。测定温度为25℃,剪切率(s⁻¹)分别为0.0,0.05,0.10,0.15,0.20,0.25,0.30,0.35,0.40时,样品黏度的变化情况,每个样品做3次平行。

1.3.5 凝胶质构特性的测定

与凝胶黏度测定相同,在室温下,用玻璃棒按顺时针方向搅打凝胶样品,直至样品成均匀黏稠的糊状。然后采用美国Brookfield公司生产的CT-3型质构测定仪进行凝胶质构特性测试。采用的测试类型为TPA质构分析,探头型号为TA11/1000,触发点负载为4.5 g,测试速度和返回速度均为1 mm/s,下压距离为10 mm,数据频率为10点/s,循环次数为两次,每个样品做3次平行^[12]。

2 结果与分析

2.1 包埋不同功能性油脂聚合乳清蛋白凝胶的乳化性和乳化稳定性

图1为分别包埋了鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白在形成凝胶1~7 d内的乳化性情况。

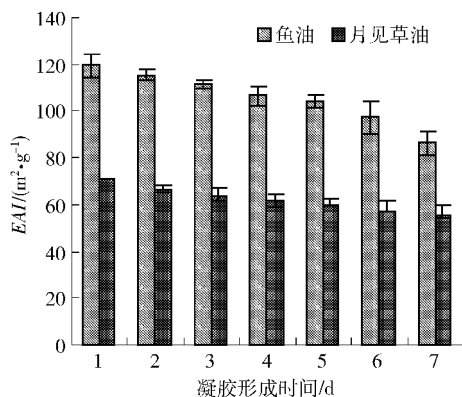


图1 包埋了鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白凝胶的乳化性

Fig.1 Emulsifying properties of encapsulated fish oil and evening primrose oil with polymerized whey protein gel

由图1可以看出,鱼油凝胶的乳化性明显优于月见草油凝胶的乳化性($P < 0.01$),平均比月见草油凝胶高41.22%。这可能是因为鱼油为动物性油脂,月见草油为植物性油脂,而乳清蛋白为动物性蛋白,根据相似相容的原理,加热改性后的乳清蛋白凝胶更易与鱼油乳化。同时发现,随着凝胶天数的增加,鱼油凝胶和月见草油凝胶的乳化性均有所降低。鱼油凝胶第一天乳化性最好,为 $119.62 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,在形成凝胶的1~3 d乳化性下降不明显($P > 0.05$),第4天出现明显下降($P < 0.05$);月见草油凝胶第1天乳化性最好,为 $70.9 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,在形成凝胶的1~7 d内乳化性下降不明显($P > 0.05$)。

图2为分别包埋了鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白在形成凝胶1~7 d内的乳化稳定性情况。由图2可知,鱼油凝胶的乳化稳定性优于月见草油凝胶的乳化稳定性($P < 0.01$),平均比月见草油凝胶高8.2%。随着凝胶天数的增加,鱼油凝胶和月见草油凝胶的乳化稳定性均有所降低。鱼油凝胶第1天乳化稳定性最好,为原来的98.63%,在形成凝胶的3~7 d乳化稳定性出现明显下降($P < 0.05$)。月见草油凝胶第1天乳化稳定性最好,为原来的97.48%,乳化稳定性在凝胶形成的5~7 d明显降低($P < 0.05$)。

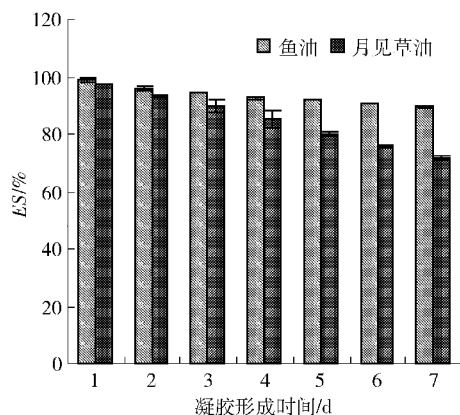


图2 包埋了鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白凝胶的乳化稳定性

Fig.2 Emulsifying stability of encapsulated fish oil and evening primrose oil with polymerized whey protein gel

2.2 包埋不同功能性油脂聚合乳清蛋白凝胶的黏度变化

图3为分别包埋了鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白在形成凝胶1~7 d内的黏度情况。

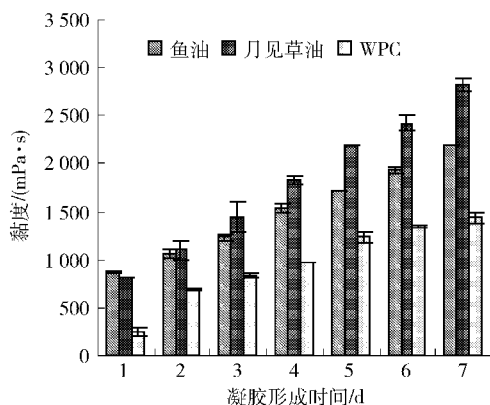


图3 包埋了鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白凝胶的黏度

Fig.3 Viscosity of encapsulated fish oil and evening primrose oil with polymerized whey protein gel

由图3可以看出,未包埋油脂的凝胶黏度明显小于鱼油凝胶黏度($P < 0.01$)和月见草油凝胶黏度($P < 0.01$),平均比鱼油凝胶低38.84%,比月见草油凝胶低46.47%。鱼油凝胶黏度明显低于月见草油凝胶黏度,平均比月见草油凝胶低16.57%。这可能是因为乳清蛋白改性的过程为蛋白质分子在一定程度上展开,通过暴露出来的巯基—二硫键交互反应而形成可溶的凝聚物,凝聚网络或颗粒凝胶由球蛋白颗粒交联在一起,形成网络的胶束,网络胶束间相互交联最终形成凝胶^[13]。包埋了油脂后,由于油脂分子可进入到交联的网络胶束中,故黏度显著增加。由图3还可

以看出,随着凝胶形成天数的增加,3 种凝胶黏度均近似成线性模型增长. 鱼油凝胶在 3~7 d 黏度显著增加 ($P < 0.05$),第 7 天黏度最大为 2 180.26 mPa·s;月见草油凝胶在 4~7 d 黏度显著增加 ($P < 0.05$),第 7 天黏度最大为 2 830.88 mPa·s;未包埋油脂的凝胶从第 2 天起黏度显著增加 ($P < 0.05$),第 7 天黏度最大为 1 439.42 mPa·s.

2.3 包埋不同功能性油脂聚合乳清蛋白凝胶的流变学特性

图 4 为分别包埋了鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白在形成凝胶第 7 天的流变学特性情况. 由图 4 可以看出,3 种凝胶在实验所设定的剪切速率范围内均表现为剪切变稀,呈假塑性^[14]. 鱼油凝胶在剪切速率为 $0 \sim 0.30 \text{ s}^{-1}$ 时剪切变稀比较明显 ($P < 0.05$),而大于 0.30 s^{-1} 时剪切变稀不明显,月见草油凝胶在剪切速率为 $0 \sim 0.25 \text{ s}^{-1}$ 时剪切变稀比较明显 ($P < 0.05$),而大于 0.25 s^{-1} 时剪切变稀不明显,未包埋油脂的凝胶在剪切速率为 $0 \sim 0.30 \text{ s}^{-1}$ 时剪切变稀比较明显 ($P < 0.05$),而大于 0.30 s^{-1} 时剪切变稀不明显. 这是因为聚集颗粒含不规则的间隙液体,使得颗粒的体积增大,对聚集颗粒施加剪切应力,使得聚集颗粒逐渐变小为规则的球形颗粒,在这种状态下,随速度梯度的增加,颗粒的大小及溶液黏度均减少. 当作用于聚集颗粒的力比离子间作用力大许多时,表现黏度可忽略,此时流体可视作牛顿流体,因此剪切速率越大,其对黏度的影响越小^[15].

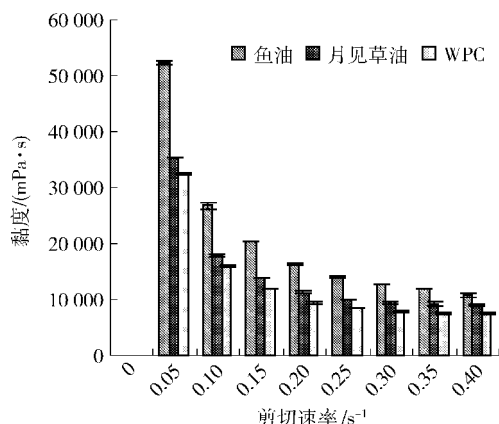


图 4 包埋了鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白凝胶的流变学特性

Fig. 4 Rheological properties of encapsulated fish oil and evening primrose oil with polymerized whey protein gel

2.4 包埋不同功能性油脂聚合乳清蛋白凝胶的质构特性

图 5 为分别包埋了鱼油和月见草油的聚合乳清

蛋白在形成凝胶 1~7 d 内的质构特性情况. 由图 5 可以看出,未包埋油脂的凝胶其硬度明显低于鱼油凝胶 ($P < 0.01$) 和月见草油凝胶 ($P < 0.05$),平均比鱼油凝胶低 5.81%,比月见草油凝胶低 3.97%. 这可能是因为乳清蛋白在改性过程中将油脂分子包埋在其因交联作用形成的网络胶束中,填补其空间,网络更加紧密,故硬度增大. 鱼油凝胶硬度略高于月见草油凝胶,但差异不显著 ($P > 0.05$). 随着凝胶形成天数的增加,3 种凝胶的硬度都略有增加,第 7 天硬度最大,鱼油凝胶为 13.7 g,月见草油凝胶为 13.4 g,未包埋油脂的凝胶为 12.35 g,但增加不显著 ($P > 0.05$).

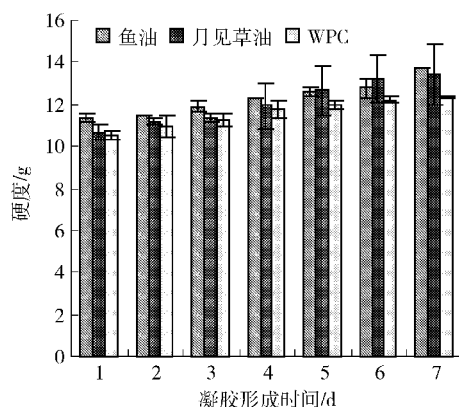


图 5 包埋了鱼油和月见草油的聚合乳清蛋白凝胶的质构特性

Fig. 5 Textural properties of encapsulated fish oil and evening primrose oil with polymerized whey protein gel

3 结 论

通过对比分析热改性所得聚合乳清蛋白包埋鱼油、月见草油后主要功能特性变化. 在乳化性方面,鱼油凝胶显著优于月见草油凝胶;在乳化性及乳化稳定性方面,鱼油凝胶略高于月见草油凝胶,且随着凝胶天数的增加,两种凝胶的乳化性和乳化稳定性均降低;在黏度方面,鱼油凝胶和月见草油凝胶均明显高于未包埋油脂的凝胶,且随着凝胶天数的增加,3 种凝胶黏度均成线性模型增长;在流变学特性方面,3 种凝胶均表现为剪切变稀,随着剪切速率的增大,对黏度的影响越小. 在质构特性方面,随着凝胶天数的增长,硬度略有增加,其中鱼油凝胶和月见草油凝胶的硬度均显著高于未包埋油脂的凝胶. 综上所述,包埋油脂的聚合乳清蛋白凝胶在主要功能特性上的变化表现出更好的应用开发前景.

参考文献:

- [1] 韩翠萍,霍贵成,段翠翠. 温度及酶量对 MTGase 催化聚合 WPC 质构特性的影响[J]. 中国乳品工业,2009,37(6):28-30.
- [2] 张丹凤. 乳清蛋白的特性及其在乳制品生产中的应用[J]. 中国乳业,2007(3):27-28.
- [3] 高金明,葛珊. 乳清蛋白改性的研究进展[J]. 食品工业科技,2009(7):382-384.
- [4] Bazan N G, Molina M F, Gordon W C. Docosahexaenoic acid signal olipidomics in nutrition significance in aging neuroinflammation macular degeneration Alzheimer's and other neurodegenerative diseases[J]. Annual Review of Nutrition,2011,31(1):321-351.
- [5] Mortensen L S, Hartvigsen M L, Brader L J, et al. Differential effects of protein quality on postprandial lipemia in response to a fat-rich meal in type 2 diabetes: comparison of whey, casein, gluten, and cod protein[J]. American Journal of Clinical Nutrition,2009,90(1):41-48.
- [6] Van der Meij B S, Van Bokhorst-De Van der Schueren M A, Langius J A, et al. n-3 PUFAs in cancer surgery and critical care a systematic review on clinical effects incorporation and washout of oral or enteral compared with par-enteral supplementation[J]. American Journal of Clinical Nutrition,2011,94(5):1248-1265.
- [7] Engstrum K, Saldeen A S, Yang B, et al. Effect of fish oils containing different amounts of EPA DHA and antioxidants on plasma and brain fatty acids and brain nitric oxide synthase activity in rats[J]. Upsala Journal of Medical Sciences,2009,114(4):206-213.
- [8] 张骊,梁宇柱. 膨化浸出提取月见草油工艺研究[J]. 中国油脂,2011(11):6-9.
- [9] 王岩,王寸堂,蒋继丰,等. 离子强度和温度对乳清蛋白凝胶的影响[J]. 食品科学,2010(1):123-126.
- [10] Pearce K N, Kinsella J E. Emulsifying properties of propeins e-valuation of a technique [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1978, 26(3):716-723.
- [11] 丁杰,王昌禄,陈勉华,等. 以乳清蛋白为基质的脂肪替代品对酸乳品质的影响[J]. 现代食品科技,2011(7):763-767.
- [12] 梁瑞红,毕双同,刘成梅,等. 薏苡籽果胶凝胶特性的研究[J]. 食品科学,2008,29(11):110-113.
- [13] 李铁红,戴显祺,史亚丽,等. 功能型乳清蛋白热改性技术的研究与应用[J]. 中国乳业,2009(1):50-53.
- [14] 李玉美. 以乳清蛋白为基质的脂肪替代品的研究[D]. 无锡:江南大学,2006.
- [15] 段善海,缪铭. 低能量保健冰淇淋的开发研究[J]. 食品工业科技,2005(5):84-86.

Functional Properties of Polymerized Whey Protein after Encapsulation of Oils

ZHANG Tie-hua, JIANG Nan, ZHANG Xing, WANG Jun-bao, MA Lin, SONG Kai-yong,
LIU Di-ru, GUO Ming-ruo*

(College of Quartermaster Technology, Jilin University, Changchun, 130062, China)

Abstract: Functional properties of polymerized whey protein after encapsulation of oils were studied. Results indicated that emulsion activity and emulsion stability of encapsulated fish oil were better than evening primrose oil ($P < 0.01$). The emulsion activities and emulsion stabilities of the encapsulated fish oil and evening primrose oil decreased during the storage. Fish oil emulsion decreased significantly for the first four days ($P < 0.05$), while the decrease of evening primrose oil emulsion was not significant ($P > 0.05$). The viscosity of fish oil was considerably lower than that of evening primrose oil with the average ratio being as low as 16.57%. The viscosity increased in approximately linear model during the gelation progressing. Two kinds of gel in the range of shear rates set by the experiment exhibited shear-thinning pseudoplastic features. The hardness of fish oil gel was slightly ($P > 0.05$) higher than that of evening primrose oil gel and the hardness of two kinds of gel increased slightly ($P > 0.05$) during the storage.

Key words: whey protein; polymerization; fish oil; evening primrose oil; functional properties

(责任编辑:叶红波)