

胶原蛋白乳化特性影响因素的研究进展

张桂艳¹, 祝超智¹, 茹 昂¹, 李珊珊¹, 银 峰¹, 祁兴磊², 赵改名^{1,*}

(1.河南农业大学食品科学技术学院, 河南 郑州 450002; 2.恒都综合试验站, 河南 驻马店 463000)

摘 要: 由于胶原蛋白具有良好的乳化特性而被广泛应用于食品行业, 为丰富胶原蛋白的乳化科学理论、最大程度利用胶原蛋白的乳化特性, 本文综述胶原蛋白乳化体系的影响因素及机制, 介绍胶原蛋白的乳化特性在食品行业中的实际应用, 并对胶原蛋白乳化特性今后的研究方向进行展望, 为胶原蛋白乳化特性的深入研究及乳化型食品生产提供参考。

关键词: 胶原蛋白; 乳化特性; 影响因素; 实际应用

Recent Progress in Understanding Factors Affecting Emulsification Properties of Collagen

ZHANG Guiyan¹, ZHU Chaozhi¹, RU Ang¹, LI Shanshan¹, YIN Feng¹, QI Xinglei², ZHAO Gaiming^{1,*}

(1.College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2.Hengdu Comprehensive Experimental Station, Zhumadian 463000, China)

Abstract: Collagen is widely used in the food industry due to its good emulsifying properties. In order to enrich the scientific theory of collagen emulsification and make the fullest use of the emulsifying properties of collagen, this article reviews the factors influencing collagen emulsion system and the underlying mechanism. The application of the emulsification properties of collagen in the food industry is summarized, and future directions for research on the emulsification properties of collagen are discussed in order to provide reference for further research on the emulsification properties of collagen and the production of emulsified foods.

Keywords: collagen; emulsifying properties; factors; practical application

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200901-213

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2020) 10-0082-06

引文格式:

张桂艳, 祝超智, 茹昂, 等. 胶原蛋白乳化特性影响因素的研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(10): 82-87. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200901-213. <http://www.rlyj.net.cn>

ZHANG Guiyan, ZHU Chaozhi, RU Ang, et al. Recent progress in understanding factors affecting emulsification properties of collagen[J]. Meat Research, 2020, 34(10): 82-87. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200901-213. <http://www.rlyj.net.cn>

胶原蛋白是食品工业中广泛使用的蛋白质, 它存在于动物的结缔组织、骨骼、皮肤及肌腱中, 在很大程度上保持了动物体内组织器官的结构完整性, 同时也可以提高食品的弹性、稳定性和稠度^[1]。目前, 研究人员已经从各种动物组织中鉴定出至少29种不同类型的胶原蛋白^[2-3], 其中I、II、III、IV、V型胶原蛋白对肉质的影响更大, 作为代表, I型胶原蛋白是所有类型中含量最高的, 占比90%以上^[4]。由于羟脯氨酸含量在胶原蛋白氨基酸总量中占比较大, 且羟脯氨酸是胶原蛋白的特征氨

基酸, 因此经常被用来反映胶原蛋白含量^[5]。当前食品行业中的乳化型产品层出不穷, 极大丰富了人们对食品营养健康与口感滋味兼并的需求, 然而产品品质还有待提高, 例如, 近年来出现的乳化型低温肉制品通常具有质量缺陷, 如出水、出油和结构松散等^[6-7], 是肉制品企业迫切需要解决的关键技术问题。随着我国科技的进步和社会经济的迅速发展, 人们将关注焦点越来越多地放在天然原料的使用与加工上, 作为重要的天然原料, 胶原蛋白已成为蛋白质系统中的一大家族, 具有许多优异性

收稿日期: 2020-09-01

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31701626); 国家现代农业(肉牛牦牛)产业技术体系建设专项(CARS-37)

第一作者简介: 张桂艳(1997—)(ORCID: 0000-0002-7273-5052), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉品加工与质量控制。

E-mail: zhangguiyann@163.com

*通信作者简介: 赵改名(1965—)(ORCID: 0000-0002-4538-3186), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉品加工与质量控制。

E-mail: gmzhao@126.com

能,其中乳化特性在食品产业中也得到广泛应用,为提高胶原蛋白这一天然原料在乳化型食品中的利用价值,有必要对其乳化特性进行深入研究。

1 胶原蛋白的乳化特性

对于食品加工和质量控制来说,胶原蛋白的乳化特性是将其添加在食品中时需要考虑的较为重要的指标^[8]。由于胶原蛋白中含有较高含量的脯氨酸与羟脯氨酸等疏水性氨基酸而具有良好的乳化特性,其乳化作用机制即界面吸附和膜的形成^[9],目前被较多应用于肠类肉制品、乳制品、焙烤类制品等食品中。胶原蛋白的乳化特性包括其乳化性与乳化稳定性,胶原蛋白的乳化性是指胶原蛋白能使油与水形成稳定乳状液的能力,胶原蛋白的乳化稳定性是指胶原蛋白保持油和水混合不分离的乳化特性耐外部条件应变的能力^[10]。乳化性与乳化稳定性密切相关,液滴粒径减小,单位质量的乳化剂形成的乳化界面增大,增加了乳化活性,有助于降低沉降速率并提高乳化稳定性^[11]。大量国内外学者对从动物肌肉或组织中提取的胶原蛋白乳化特性进行研究,发现胶原蛋白的乳化特性受多种因素的影响而有不同程度的变化,包括其自身因素、外界环境及提取方法的影响,因此本文对胶原蛋白乳化特性的影响因素从以上几个方面展开综述,并介绍胶原蛋白乳化特性目前在食品工业中的应用,以期对胶原蛋白的开发及胶原蛋白乳化特性的研究与应用提供科学依据。

2 影响胶原蛋白乳化特性的主要因素

2.1 胶原蛋白自身因素对乳化特性的影响

2.1.1 不同来源胶原蛋白质量浓度对乳化特性的影响

不同动物原料提取的胶原蛋白在不同质量浓度条件下能够表现出良好的乳化特性。胡娜等^[12]研究发现,随着乳化型猪皮胶原蛋白质量浓度的不断增加,乳化型猪皮胶原蛋白的乳化性也不断增加,但乳化稳定性没有变化;当胶原蛋白质量浓度持续增加,乳化性趋于平稳,当质量浓度增加到1 g/100 mL时,乳化稳定性迅速提高。研究发现,牛骨胶原蛋白乳化性随胶原蛋白质量浓度增加而提高,增大趋势逐渐减缓,最终趋于稳定,但其乳化稳定性呈现相反的变化趋势^[13]。山羊皮胶原蛋白乳化特性的总体变化趋势与牛骨胶原蛋白相似,其乳化性在胶原蛋白质量浓度为3 g/100 mL时达到最大,乳化稳定性同样与乳化性呈现相反的变化趋势^[14]。王碧等^[15]研究发现,水解皮边角料胶原蛋白的乳化特性均随胶原蛋白的质量浓度增加而增大,但增大幅度逐渐变小。因此,总体看来,胶原蛋白的乳化特性随其质量浓度的增加而逐

渐增大,但在达到一定质量浓度时增大趋势逐渐趋于平稳。这可能是由于胶原蛋白质量浓度增加会增大胶原蛋白之间的吸附力,当胶原蛋白质量浓度增大至一定水平时,吸附层逐渐形成紧密的界面膜层,并具有一定的强度,继续提高胶原蛋白质量浓度对已形成的界面膜不能产生影响,进而乳化特性逐渐趋于平稳^[16]。

除此之外,Damodaran等^[17]发现,分别来自动物肌肉和皮肤的胶原蛋白质量浓度不同时,由于蛋白质的内在性质、组成和构象不同,乳化能力也存在显著差异。Montero等^[18]发现,鳕鱼的胶原蛋白乳化能力高于鳙鱼,且来自2种鱼肌肉结缔组织的胶原蛋白乳化能力比来自真皮结缔组织胶原蛋白的乳化能力强。Aewsiri等^[19]发现,金枪鱼鳍胶原蛋白与猪皮胶原蛋白的乳化活性指数均随胶原蛋白质量浓度的增加而增大,而在相同胶原蛋白质量浓度下,金枪鱼鳍胶原蛋白乳化活性指数低于猪皮胶原蛋白,胶原蛋白质量浓度2~5 g/100 mL时,质量浓度越高,界面对胶原蛋白的吸附越多,导致乳化能力越强。Gómez-Guillén等^[20]将通过增加胶原蛋白质量浓度得到的高乳化能力归因于乳化剪切过程中多肽的高度展开。

2.1.2 胶原蛋白分子质量对乳化特性的影响

除胶原蛋白质量浓度外,其分子质量也是影响胶原蛋白乳液稳定的关键因素。研究表明,高分子质量的鱼胶原蛋白乳状液比低分子质量鱼胶原蛋白乳状液表现出更强的乳化稳定性^[21]。张联英^[22]研究发现,制备的鳙鱼、鲈鱼、鲫鱼3种淡水鱼鱼皮胶原蛋白分子质量分布范围较广,且存在一定量的小分子,使得其乳化性也较差。这可能是由于胶原蛋白分子质量较大时,亲水基团数量较少,暴露出相对较多的亲油基团,因此可提高其乳化性能。

2.1.3 不同类型胶原蛋白对乳化特性的影响

胶原蛋白种类繁多、结构复杂,因此不同类型的胶原蛋白在乳化特性上也有所差别。目前文献报道中多为有关动物中I型胶原蛋白的乳化特性研究,仅有少量研究为其他类型胶原蛋白的乳化特性。焦坤^[8]研究发现,羊肩胛软骨II型胶原蛋白的乳化性呈现随胶原蛋白质量浓度的增加而逐渐增大的变化趋势,而乳化稳定性呈现随胶原蛋白质量浓度的增加逐渐减小的变化趋势,这与高金龙^[14]研究山羊皮I型胶原蛋白的结果一致;而随着pH值及NaCl浓度的增加,羊肩胛软骨II型胶原蛋白的乳化性和乳化稳定性呈现一致的变化趋势,均随pH值和NaCl浓度的增加呈现先增大后减小的变化趋势,这与高金龙对于山羊皮I型胶原蛋白的研究结果相反。这可能是由于I型胶原蛋白是由2条 α_1 -肽链和1条 α_2 -肽链相互缠绕构成平行的三螺旋结构,而II型胶原蛋白是以3条相同的 α_1 -肽链构成的同型三聚体超螺旋结构^[23],二者结构特点不同导致其部分理化特性存在差异。

2.2 外界环境对胶原蛋白乳化特性的影响

2.2.1 pH值对胶原蛋白乳化特性的影响

研究表明, pH值对胶原蛋白乳化特性的影响与胶原蛋白的溶解度密切相关。王杉杉^[24]研究发现, 牦牛皮胶原蛋白的乳化性与其溶解性的变化趋势一致, 当pH值远离等电点时, 胶原蛋白链之间的斥力会增大, 从而导致溶解度较高, 加速分子向界面移动的速率, 导致乳化性增加^[25]。乌日古莫乐^[13]同样发现, 吉尔利阁蒙古牛骨胶原蛋白在远离等电点的溶液中具有良好的乳化能力与乳化稳定性。pH值在等电点附近时, 胶原蛋白不带电荷或带很少电荷, 疏水基团暴露在外面, 更有利于体系中乳化过程的进行, 但由于胶原蛋白分子的静电荷为零或很少, 使分子间产生相互聚集, 导致溶解度大大降低, 无法在分散相表面形成稳定的界面膜, 不易使乳化体系结构维持稳定, 结合的油很快分离, 因此乳状液的稳定性很差^[26]。Santana等^[27]研究发现, 从胶原蛋白中提取的胶原纤维乳化液的稳定性在pH 3.5时较高, 并随着pH值增加而增大, 而胶原蛋白三螺旋的解旋改变了蛋白表面的疏水性, 这可能是其乳化性更好的部分原因, 但在较高pH值条件下, 胶原纤维表现出空间位阻, 在液滴周围形成一层膜, 降低了液滴的流动性和随之而来的结合, 因此呈现较差的乳化性。

也有学者持有不同观点, 认为在pH值接近等电点的水平上, 胶原蛋白乳化能力会增强, 其原因可能是溶解度降低, 从而减少了可溶性蛋白中分子间交联的数量, 有利于形成与介质的交联^[18]。韩霜等^[28]研究发现, 当兔皮胶原蛋白处于溶解度较低的中性pH值范围时, 胶原蛋白的乳化性和乳化稳定性均能够保持较高水平, 认为可能是由于胶原蛋白绝对溶解度很小, 故结构的变化能够对乳化性产生相对更大的影响, pH值位于等电点处的胶原蛋白结构中疏水基团与亲水基团暴露程度增加, 从而增强了其乳化性^[29]。

2.2.2 离子强度对胶原蛋白乳化特性的影响

盐和磷酸盐能够改变介质的离子强度, 影响胶原蛋白在界面的絮凝和聚结, 对胶原蛋白乳化特性能够产生很大影响^[30-31]。胡娜等^[12]研究乳化型猪皮胶原蛋白发现, 随NaCl浓度的增大, 胶原蛋白乳化活性指数先增大后减小, 而其乳化稳定性呈缓慢上升趋势, 总体上升幅度不明显。高金龙^[14]同样发现, 低浓度NaCl的加入可以提高山羊皮胶原蛋白乳化性, 而随着NaCl浓度继续增大, 乳化性又显著降低。韩霜等^[28]研究结果表明, 兔皮胶原蛋白的乳化特性均随NaCl溶液离子质量浓度的增大呈增加趋势, 离子质量浓度继续增加, 导致乳化性降低, 乳化稳定性的变化趋势保持稳定, 应使溶液的离子质量浓度保持在5 g/100 mL左右, 此时兔皮胶原蛋白有更好的乳化性。祝超智等^[32]研究发现, 随着猪肉胶原蛋白溶液中

NaCl离子强度的提高, 猪肉胶原蛋白的乳化活性指数、乳化稳定性指数均呈先升高后降低的趋势, 在一定范围内, NaCl浓度的增加有利于提高猪肉胶原蛋白乳化性。宋平健等^[33]同样发现, 鹿角盘胶原蛋白乳化特性随NaCl浓度增大呈先增后减的变化趋势。因此提高离子强度能够改善胶原蛋白的乳化性与乳化稳定性, 但随着离子强度的增强, 胶原蛋白的乳化性会随之降低。这可能是由于离子强度的增加会使胶原蛋白表面电荷发生改变, 增大其表面疏水性, 胶原蛋白溶解度和伸展性也增加, 促使乳化活性和稳定性增加^[34-35], 继续增加离子强度, 盐离子将减小扩散的双电层厚度, 降低胶原蛋白乳状液滴表面电位, 导致乳状液体系斥力下降, 液滴间易产生聚集, 乳化性因此降低^[36-37]。

2.2.3 添加物对胶原蛋白乳化特性的影响

研究表明, 在胶原蛋白中引入一些添加物, 与胶原蛋白的羧基或氨基发生反应, 以改变其活性基团组成, 促使胶原蛋白化学改性, 可改善胶原蛋白乳化性能^[38]。申璇等^[39]考察糖化改性对胶原蛋白乳化特性的影响, 发现在胶原蛋白与乳糖发生美拉德反应后, 胶原蛋白分子变得舒展, 隐藏在内部的疏水性基团暴露出来, 同时乳糖的添加一定程度上减小了油-水界面间张力, 从而改善了乳化稳定性。Toledano等^[40]考察改性后胶原蛋白的乳化性, 结果显示, 在胶原蛋白链上接入芳香基团, 对胶原蛋白的乳化性有显著提高作用。王金涛等^[41]在胶原蛋白的水解产物中加入1-乙基-3-(3-二甲氨基)-碳化二亚胺(1-ethyl-3-(3-dimethyl aminopropyl)-carbodiimide, EDAC), 使胶原蛋白中的羧基和氨基与EDAC发生交联进行化学改性, 发现改性后的胶原蛋白乳化性和乳化稳定性均有所改善。

2.2.4 均质条件对胶原蛋白乳化特性的影响

胶原蛋白的乳化特性不可避免地会受到测定过程中一些实验条件的影响, 由于胶原蛋白的乳化实际上发生于胶原蛋白的均质剪切过程中, 因此其乳化特性与均质条件密切相关, 一些学者也在实验过程中发现了这一因素对胶原蛋白乳化特性的影响, 进而开展了更加深入的研究。张素凤等^[42]考察高速搅拌机不同转速和乳化时间对水解胶原蛋白乳化特性的影响, 结果表明, 在转速2 000 r/min及乳化时间20 min条件下乳化性和乳化稳定性最好。高金龙^[14]使用超高压技术研究发现, 在压力300 MPa和加压时间5 min条件下山羊皮胶原蛋白乳化性最好。研究表明, 随着均质压力和均质次数的增加, 胶原蛋白乳状液的表面平均直径呈下降趋势, 在较高的均质压力下易出现剪切稀释行为, 呈现较低的稠度指数与黏度, 表现出良好的乳化稳定性^[24]。这可能是由于较高的均质压力以及较多的均质次数使作用在乳状液滴上的冲击力增加, 导致界面膜破裂, 进而增加了油与乳化剂之间的相互作用^[43-44]。



2.2.5 加热对胶原蛋白乳化特性的影响

不同测定温度和环境温度也会对胶原蛋白乳化效果造成差异。胶原蛋白对温度变化敏感,升温易造成胶原蛋白从三重螺旋结构分解, α -螺旋含量逐渐降低,无规卷曲含量逐渐增加,分子结构逐渐舒展,无序性增大^[45-46],其特殊结构的变化会导致胶原蛋白与油相的乳化效果受到一定影响。研究显示,加热可以通过降低油-水间的界面张力或降低两相的黏度来促进小液滴的产生,作为乳化剂的胶原蛋白在加热超过变性温度时会失去其乳化特性^[24],但是热变性并不总是伴随着乳化性能的损失。Voutsinas等^[47]发现,胶原蛋白加热后溶解度增大,乳化性能得到明显改善。梁健华^[48]研究发现,30℃条件下超声波辅助提取的胶原蛋白比4、15℃条件下提取的胶原蛋白乳化性及乳化稳定性更好,这可能是由于在超声波辅助作用及较高温度条件下,胶原蛋白分子结构展开,胶原蛋白表面的疏水基团增多,导致其乳化性增强。

2.3 提取方法对胶原蛋白乳化特性的影响

传统提取胶原蛋白的方法多采用热水法、盐法,这些方法获得的胶原蛋白提取率和纯度均较低,因此,酸法、酶法因其各自独特的优势逐渐受到研究人员的重视。酸法提取的胶原蛋白有价格低、结构完整的优点,但也存在提取时间长、提取率低的缺点^[49],而酶法提取胶原蛋白用时短、酶用量少、环境友好、纯度较高^[50]。秦福敏等^[51]研究发现,胃蛋白酶法提取的金枪鱼皮胶原蛋白与醋酸法提取的胶原蛋白相比具有较强的乳化性。这可能是由于酶增加了包埋于酶溶性胶原蛋白疏水性残基的暴露程度,从而提高了其乳化性^[52]。

然而,传统的胶原蛋白提取方式是一个高耗能、溶剂用量大、耗时的过程,对环境破坏大,而且提取过程难以控制,得到的多为变性胶原蛋白产品,因此,应用辅助提取手段,在不影响胶原蛋白生物活性的条件下,提高其产量,进行工业化应用,对降低胶原蛋白产品的成本有积极意义。近年来,超声波辅助提取法因具有绿色环保和节约能效等优势被应用于天然产物提取中。杨恒等^[53]采用超声波辅助酸法提取的方式,以乙酸为提取剂提取鸡肺中的胶原蛋白,研究发现,超声波辅助提取的胶原蛋白乳化活性和乳化稳定性比传统酸法提取分别提高32.4%和7.9%。梁健华^[48]同样发现,使用超声波辅助提取比传统的搅拌及泵搅拌提取罗非鱼皮胶原蛋白乳化性和乳化稳定性更好,当采用泵搅拌结合超声波辅助提取法时,胶原蛋白乳化特性最好。这可能是由于超声波提高了胶原蛋白分子内部疏水基团的暴露程度,同时也降低了胶原蛋白的颗粒粒径,使胶原蛋白吸附油滴的能力提高,从而增强了乳化性能^[54-55]。因此,通过超声波辅助酸法提取胶原蛋白可提高动物副产物的潜在利用价值,为动物副产物的精深加工提供了科学依据与可参

考方向。除此之外,国内也有学者通过微生物发酵法制备胶原蛋白,从土壤中筛选产胶原蛋白酶且酶活性较高的菌株,经鉴定后通过该菌株发酵罗非鱼皮,并与采用传统方法制得的胶原蛋白理化性质进行比较,发现微生物发酵法提取的胶原蛋白乳化性较高^[56]。

3 胶原蛋白乳化特性在食品产业中的应用

胶原蛋白因其良好的乳化特性在食品产业中可直接作为乳化剂,广泛用于肉制品、乳制品、蛋制品、焙烤食品等需要保留油脂的食品中。

3.1 胶原蛋白乳化特性在肉制品中的应用

在一些肉制品中,胶原蛋白可作为乳化剂用于保护产品的原有特色,如乳化肉酱和肉汤的脂肪,保持其原有色泽及鲜浓口味^[57]。将鳕鱼胶原蛋白粉直接加入肉制品中,通过破坏胶原蛋白分子内氢键,可使原有的紧密超螺旋结构破坏,形成分子较小、结构较为松散的明胶,改善肉质嫩度^[58]。对乳化型肉制品来说,研究胶原蛋白乳化性能的影响因素不仅可以优化生产工艺,用较少瘦肉固定较多脂肪,降低原料成本,还可以改善产品品质,提高最终产品的出品率,从而提高经济效益。王锐^[59]研究发现,用富含胶原蛋白的鸡皮复配凝胶替代脂肪能够提高鸡皮复配凝胶乳化肠的水分和蛋白质含量,降低乳化肠中的脂肪含量,水分活度也会随之增加,经蒸煮后,替代脂肪的比例持续增加,能够对乳化肠的质构和色泽产生有利影响。李骏等^[60]发现,在鸡肉肠中添加鱼皮明胶能够提高鸡肉肠持水性,增强产品硬度、黏附性和咀嚼性,添加量为0.5%时,鸡肉肠的口感、色泽和整体接受度最高。杨辉等^[61]用酶法从废弃的安康鱼鱼肠中提取胶原蛋白,并研究胶原蛋白的最佳提取条件,结果表明,在pH 1.9、料液比1:10、胃蛋白酶添加量1%、酶解时间4 h、酶解温度10℃条件下显著提高了产品的保湿性。

3.2 胶原蛋白乳化特性在乳制品中的应用

胶原蛋白在液态乳中具有良好的乳化能力,在乳制品杀菌和贮藏时,胶原蛋白一般通过以下3种作用保持乳制品的稳定性:一是利用氢键的形成来阻止乳清析出,减少牛乳中的酪蛋白发生收缩作用,从而阻止固液相分离;二是乳化稳定作用,胶原蛋白可为牛乳中的天然乳化剂和稳定剂酪蛋白提供更加稳定的条件,保护胶体^[9];三是可作为乳泡沫的稳定剂,胶原蛋白作为亲水胶体可与水共同形成胶原蛋白薄层,减小外界环境对气泡中空气压力的影响,起到稳定泡沫的作用,从而保持稳定的乳化状态^[62]。Karakaya^[63]研究表明,在发酵乳酸饮料中添加胶原蛋白后,可降低乳酸饮料的脱水性和沉降性,提高饮料的乳酸菌含量、稳定性和营养价值。

倪海平等^[64]将鱼胶原蛋白加入脂肪含量更高且脂肪球极微小的羊乳中,发现羊乳乳化性及乳化稳定性均有了很大改善,且不会出现脂肪上浮现象,生产出的羊乳制品更加爽滑细腻。鳕鱼胶原蛋白可以为乳制品中胶体物质提供保护,在不同类型的干酪、酸性稀奶油等乳制品的制作过程中,鳕鱼胶原蛋白中的亲水基与乳制品中的水分紧密结合,起到良好的乳化稳定作用,能有效控制乳清析出^[65]。

3.3 胶原蛋白乳化特性在其他食品中的应用

在焙烤食品中,胶原蛋白可作为食品添加剂提升产品的乳化性。在蛋糕中添加鳗鱼胶原蛋白不仅可以改善面团的醒发,提升蛋糕的感官品质,而且还改善了蛋糕的乳化性,提高了其营养价值^[66]。研究表明,鸡蛋壳膜中含有约10%的胶原蛋白^[67],蛋壳资源丰富,故对其进行深加工显得特别必要。目前,胶原蛋白也可作为辅料应用于蛋制品加工中,琥珀蛋肠即以松花蛋、水和明胶为主要原料,配以调味辅料制备而成^[68];徐海菊^[69]以鲑鱼皮胶原蛋白代替部分蛋黄作为乳化剂,用鲑鱼皮胶原蛋白2%、蛋黄15%、醋酸0.3%、水10%的配方制备蛋黄酱产品,结果表明,产品的乳化性及营养功能均得到提高;张联英^[22]通过正交试验得出,3%鱼皮胶原蛋白作为乳化剂应用于蛋黄酱,具有良好的可行性。近年来,兼具环保、素食特性的植物基仿肉制品逐渐引起消费者的兴趣,它是以植物蛋白为原料,主要通过挤压、成丝、调理等技术来生产具有类似肉类质构、口感和风味的仿肉制品,其乳化工艺也较为成熟,在模拟肉生产过程中,乳化性较好的蛋白原料可以吸收较多脂肪,不使脂肪浮于挤压物料表面,既能保证产品风味和口感,又不会对挤压加工过程造成不良影响^[70]。

4 结 语

胶原蛋白乳化特性受胶原蛋白自身因素、外界环境及提取方法等多种因素的影响,会对胶原蛋白的乳化特性产生不同程度的影响,因此未来对于胶原蛋白乳化特性的改良可通过结合多种影响因素,分析出最佳条件下的胶原蛋白乳化特性,进一步提高胶原蛋白乳化特性在食品产业中应用的可行性。目前,胶原蛋白乳化特性在食品产业中的应用前景良好,尤其是在食品产业中可直接作为食品添加剂,在食品行业发挥着至关重要的作用,深入研究胶原蛋白作为乳化剂的功能特性可为丰富胶原蛋白乳化机理、改善糜类肉制品及乳化型肉制品等众多乳化型食品的生产实践提供理论依据。

参考文献:

[1] BILEK S E, BAYRAM S K. Fruit juice drink production containing hydrolyzed collagen[J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 14: 562-569. DOI:10.1016/j.jff.2015.02.024.

[2] MATMAROH K, BENJAKUL S, PRODPRAN T, et al. Characteristics of acid soluble collagen and pepsin soluble collagen from scale of spotted golden goatfish (*Parupeneus heptacanthus*)[J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(3): 1179-1186. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.05.099.

[3] LIU D, LIANG L, REGENSTEIN J M, et al. Extraction and characterisation of pepsin-solubilised collagen from fins, scales, skins, bones and swim bladders of bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*)[J]. *Food Chemistry*, 2012, 133(4): 1441-1448. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.02.032.

[4] 蒋挺大. 胶原与胶原蛋白[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 1-2.

[5] 周光宏. 畜产品加工学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002: 40-41.

[6] 吴菊清. 猪肉肌原纤维蛋白乳化特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015: 16.

[7] 忽晓平, 赵改名, 柳艳霞, 等. 金华火腿粗肽液的乳化特性[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(6): 98-103. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201706016.

[8] 焦坤. 羊肩胛软骨Ⅱ型胶原的提取及其理化特性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012: 12-13.

[9] 刘寒. 食品蛋白质的功能性质(二): 胶原蛋白和血浆蛋白[J]. *肉类研究*, 2009, 23(8): 62-68.

[10] 张根生, 岳晓霞, 李继光, 等. 大豆分离蛋白乳化性影响因素的研究[J]. *食品科学*, 2006, 27(7): 48-51.

[11] LEAL-CALDERON F, THIVILLIERS F, SCHMITT V. Structured emulsions[J]. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 2007, 12(4): 206-212. DOI:10.1016/j.cocis.2007.07.003.

[12] 胡娜, 乔美靓, 刘毅, 等. 乳化型猪皮胶原蛋白的溶解性和乳化性研究[J]. *肉类研究*, 2010, 24(6): 10-14.

[13] 乌日古莫乐. 吉尔利阁蒙古牛骨胶原蛋白的提取及理化特性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015: 39.

[14] 高金龙. 山羊皮中胶原蛋白的提取及理化特性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010: 24.

[15] 王碧, 王坤余, 叶勇, 等. 水解胶原蛋白的溶解性和乳化性研究[J]. *皮革化工*, 2003(1): 5-8; 24. DOI:10.3969/j.issn.1674-0939.2003.01.003.

[16] YAMAUCH K, SCHIMIZU M, KAMIY T. Emulsifying properties of whey proteins[J]. *Journal of Food Science*, 1980, 45(5): 1237-1244. DOI:10.1111/j.1365-2621.1980.tb06529.x.

[17] DAMODARAN S, PARAF A. Food proteins and their applications[J]. *Food Science and Technology*, 1997, 142(12): 1992. DOI:10.1088/0031-8949/2010/T142/014054.

[18] MONTERO P, JAVIER B. Emulsifying capacity of collagenous material from the muscle and skin of hake (*Merluccius merluccius* L.) and trout (*Salmo irideus* Gibb): effect of pH and NaCl concentration[J]. *Food Chemistry*, 1991, 41(3): 251-267. DOI:10.1016/0308-8146(91)90051-O.

[19] AEWSIRI T, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Chemical compositions and functional properties of gelatin from pre-cooked tuna fin[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2010, 43(4): 685-693. DOI:10.1111/j.1365-2621.2006.01509.x.

[20] GÓMEZ-GUILLÉN M C, GIMÉNEZ B, LÓPEZ-CABALLERO M E, et al. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: a review[J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(8): 1813-1827. DOI:10.1016/j.foodhyd.2011.02.007.

[21] SURH J, DECKER E A, MCCLEMENTS D J. Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by fish gelatin[J]. *Food Hydrocolloids*, 2006, 20(5): 596-606. DOI:10.1016/j.foodhyd.2005.06.002.

[22] 张联英. 几种主要淡水鱼胶原蛋白的制备及其特性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004: 40-42.

[23] 刘浩, 徐乐, 常亚南, 等. 构建软骨支架的天然生物材料[J]. *河北科技大学学报*, 2015, 36(5): 539-545. DOI:10.7535/hbkd.2015yx05015.

[24] 王杉杉. 牦牛皮胶原蛋白的提取及其活性肽的制备[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2018: 61-62.

[25] SINGH P, BENJAKUL S, MAQSOOD S, et al. Isolation and characterisation of collagen extracted from the skin of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*)[J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(1): 97-105. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.05.111.



- [26] 郭延娜, 吴菊清, 周光宏, 等. 匀浆机转速、pH值和肌原纤维蛋白质浓度对肌原纤维蛋白质乳化特性的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(6): 1371-1377. DOI:10.3969/j.issn.1000-4440.2010.06.046.
- [27] SANTANA R C, PERRECHIL F A, SATO A C K, et al. Emulsifying properties of collagen fibers: effect of pH, protein concentration and homogenization pressure[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(4): 604-612. DOI:10.1016/j.foodhyd.2010.07.018
- [28] 韩霜, 马良, 王雪蒙, 等. 兔皮胶原蛋白的加工特性[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 21-25. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201705004.
- [29] 高育哲, 徐红华, 李铁晶, 等. 定位酶解与蛋白质表面性质及结构特性关系的研究进展[J]. 大豆通报, 2008(2): 33-36. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2008.02.002.
- [30] BERTHOLD A, CREMER K, KREUTER J, et al. Collagen microparticles: carriers for glucocorticosteroids[J]. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 1998, 45(1): 23-29. DOI:10.1016/S0939-6411(97)00119-7.
- [31] LIU Zunying, SU Yicheng, ZENG Mingyong. Amino acid composition and functional properties of giant red sea cucumber (*Parastichopus californicus*) collagen hydrolysates[J]. Journal of Ocean University of China, 2011, 10(1): 80-84. DOI:10.1007/s11802-011-1787-4.
- [32] 祝超智, 李珊珊, 崔文明, 等. 离子强度对煮制前后猪肉胶原蛋白乳化特性的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(6): 8-13. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191206-300.
- [33] 宋平健, 于听琦, 王溪尧, 等. 鹿角盘胶原蛋白生物功能特性的研究[J]. 辽宁科技学院学报, 2019, 21(5): 26-28; 40. DOI:10.3969/j.issn.1008-3723.2019.05.009.
- [34] AIDER M, DJENANE D, OUNIS W B, et al. Amino acid composition, foaming, emulsifying properties and surface hydrophobicity of mustard protein isolate as affected by pH and NaCl[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2012, 47(5): 1028-1036. DOI:10.1111/j.1365-2621.2012.02937.x.
- [35] CHOVE B E, GRANDISON A S, LEWIS M J, et al. Emulsifying properties of soy protein isolate fractions obtained by isoelectric precipitation[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(8): 759-763. DOI:10.1002/jsfa.877.
- [36] 李玉珍, 肖怀秋. 大豆分离蛋白不同酶解方式水解度与乳化性和起泡性关系[J]. 食品与发酵科技, 2009, 45(4): 49-51. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2009.04-016.
- [37] ZORBA O, GOKALP H Y, YETIM H, et al. Salt, phosphate and oil temperature effects on emulsion capacity of fresh or frozen meat and sheep tail fat[J]. Journal of Food Science, 1993, 58(3): 492-496. DOI:10.1111/j.1365-2621.1993.tb04308.x.
- [38] 刘振锋, 吕卫金, 戴圣佳, 等. 胶原蛋白的提取、改性及应用研究进展[J]. 食品与药品, 2014, 16(6): 443-447. DOI:10.3969/j.issn.1672-979X.2014.06.021.
- [39] 申璇, 袁久刚, 王强, 等. 糖化改性对胶原蛋白乳化性能的影响[J]. 生物学杂志, 2017, 34(5): 20-23; 42. DOI:10.3969/j.issn.2095-1736.2017.05.020.
- [40] TOLEDANO O, MAGDASSI S. Emulsification and foaming properties of hydrophobically modified gelatin[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1998, 200(2): 235-240. DOI:10.1006/jcis.1997.5376.
- [41] 王金涛, 曹健, 吕燕红, 等. 胶原蛋白水解产物的1-乙基-3-(3-二甲丙氨基)-碳化二亚胺改性[J]. 中国皮革, 2007(21): 48-53.
- [42] 张素凤, 王群, 王学川, 等. 水解胶原蛋白乳化性和乳化稳定性研究[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版), 2014, 32(4): 10-13; 18.
- [43] WILLIAMS P A. Food emulsions: principles, practice, and techniques[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2001, 36(2): 223-224. DOI:10.1046/j.1365-2621.2001.00459.x.
- [44] FLOURY J, DESRUMAUX A, JÉRÉMIE L, et al. Effect of high-pressure homogenization on droplet size distributions and rheological properties of model oil-in-water emulsions[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2000, 1(2): 127-134. DOI:10.1016/S1466-8564(00)00012-6.
- [45] USHA R, RAMASAMI T. The effects of urea and *n*-propanol on collagen denaturation: using DSC, circular dichroism and viscosity[J]. Thermochimica Acta, 2004, 409(2): 201-206. DOI:10.1016/S0040-6031(03)00335-6.
- [46] 高玲玲, 王振宇, 李铮, 等. 热处理对羊骨胶原蛋白结构的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(3): 67-74. DOI:10.16429/j.1009-7848.2019.03.008.
- [47] VOUTSINAS L P, CHEUNG E, NAKAI S, et al. Relationships of hydrophobicity to emulsifying properties of heat denatured proteins[J]. Journal of Food Science, 2010, 48(1): 26-32. DOI:10.1111/j.1365-2621.1983.tb14781.x.
- [48] 梁健华. 超声波辅助提取罗非鱼皮胶原蛋白及其功能结构性质的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016: 77-78.
- [49] MAGNÚS G, HAFSTEINSSON H. Gelatin from cod skins as affected by chemical treatments[J]. Journal of Food Science, 2010, 62(1): 37-39. DOI:10.1111/j.1365-2621.1997.tb04363.x.
- [50] 刘迪. 猪跟腱胶原蛋白的提取及蛋白基包装材料的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 3-4.
- [51] 秦福敏, 冷云, 陈海华, 等. 金枪鱼皮胶原蛋白制备工艺和功能性质的研究[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2014, 31(2): 120-124; 130. DOI:10.3969/J.ISSN.1674-148X.2014.02.009.
- [52] 陈日春, 郑宝东. 鲑鱼鱼鳞酶溶性胶原蛋白理化特性研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(12): 83-88.
- [53] 杨恒, 时海波, 邹烨, 等. 超声波辅助酸提鸡肺胶原蛋白的持油性和乳化性[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(4): 940-947. DOI:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.04.027.
- [54] 温青玉, 杨帆, 盛威, 等. 小麦分离蛋白质理化性质及功能特性研究[J]. 河南农业科学, 2018, 47(5): 149-154. DOI:10.15933/j.cnki.1004-3268.2018.05.028.
- [55] 王笑宇, 韩东, 陈子净, 等. 超声波处理对 β -伴大豆球蛋白乳化性能的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(6): 153-159. DOI:10.16429/j.1009-7848.2018.06.020.
- [56] 韩玮. 微生物发酵法制备胶原蛋白及其性质和应用研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019: 32-34.
- [57] 徐润, 梁庆华. 明胶的生产及应用技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1988: 254.
- [58] 杜敏, 南庆贤. 猪皮胶原蛋白的制备以及其在食品中的应用[J]. 食品科学, 1994, 14(7): 36.
- [59] 王锐. 鸡皮复配凝胶制备及其在乳化肠中的应用研究[D]. 成都: 成都大学, 2020: 80-91.
- [60] 李骏, 孟少华, 赵建生, 等. 鱼皮明胶添加量对鸡肉肠品质的影响[J]. 肉类工业, 2020(1): 16-19.
- [61] 杨辉, 赵新宇, 解海洋, 等. 安康鱼肠中胶原蛋白与多糖的提取与保湿性[J]. 皮革与化工, 2020, 37(1): 25-28.
- [62] 陈秀金, 曹健, 汤克勇. 胶原蛋白和明胶在食品中的应用[J]. 郑州工程学院学报, 2002(1): 66-69; 93. DOI:10.3969/j.issn.1673-2383.2002.01.016
- [63] KARAKAYA M. Assessment of the attributes of meat emulsion of various species with oil and fat in a model system[D]. Turkish: Ataturk University, 1990.
- [64] 倪海平, 王君, 赵亚萍, 等. 鱼胶原蛋白在羊乳中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2008(增刊1): 276-277; 245. DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2008.zl.054.
- [65] 高晶晶. 鳕鱼胶原蛋白在食品加工中的应用[J]. 农产品加工(学刊), 2014(20): 79-80. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2014.10.055.
- [66] 安锋利, 王建林, 权美平, 等. 胶原蛋白的应用及其发展前景[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(1): 8-11. DOI:10.3969/j.issn.1001-6813.2003.23.005.
- [67] 赵文竹, 杨焱, 于志鹏, 等. 鸡蛋壳中功能蛋白活性成分研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(9): 210-214. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2016.09.050.
- [68] 李纯, 吕玉璋, 吴兴壮, 等. 几种风味蛋肠的加工方法及工艺要点[J]. 肉类研究, 2001, 15(2): 27-28.
- [69] 徐海菊. 添加鱼皮胶原蛋白蛋黄酱加工工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(1): 68-71. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2011.01.020.
- [70] 吴元浩, 徐婧婷, 刘欣然, 等. 植物基仿肉原料的应用与加工现状[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(17): 5955-5963. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2020.17.028.