

亚麻籽胶功能性质及其在食品中的应用进展

马兰雪^{1#}, 李曦^{1#}, 邹玉峰², 刘登勇^{1,2*}

- (1. 渤海大学食品科学与工程学院, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 锦州 121013;
2. 江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 南京 210095)

摘要: 亚麻籽胶作为新型的天然功能性胶体, 是主要存在于亚麻籽壳表面的一种阴离子杂多糖, 具有凝胶、乳化、增稠等特性, 被当作一种绿色添加剂广泛应用于食品加工中, 以提高产品品质。同时作为一类水溶性膳食纤维, 亚麻籽胶还具备减轻体重、调节肠道菌群、降低血糖及胆固醇等生理功能, 故其在食品中不仅作为稳定剂、乳化剂、增稠剂等角色, 也兼具营养功能。本文综述了亚麻籽胶的提取、成分组成及其功能特性, 总结了近几年亚麻籽胶的生理功能研究进展, 阐述了亚麻籽胶在食品加工领域中不同应用方向的国内外最新研究, 以期对亚麻籽胶在食品加工中的深入开发与应用提供理论参考。

关键词: 亚麻籽胶; 功能特性; 研究进展

Functional properties of flaxseed gum and its application in food

MA Lan-Xue^{1#}, LI Xi^{1#}, ZOU Yu-Feng², LIU Deng-Yong^{1,2*}

- (1. College of Food Science and Technology, Bohai University, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China;
2. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, Quality and Safety Control, Nanjing 210095, China)

ABSTRACT: Flaxseed gum, as a new type of natural functional colloid, is an anionic heteropolysaccharide mainly existing on the surface of flaxseed shell. It has the characteristics of gel, emulsification, thickening, etc. It is widely used in food processing as a green additive to improve product quality. At the same time, as a kind of water-soluble dietary fiber, flaxseed gum also has physiological functions such as weight loss, intestinal flora regulation, blood sugar and cholesterol reduction. Therefore, flaxseed gum not only serves as a stabilizer, emulsifier, thickener and other roles in food, but also has nutritional functions. In this paper, the extraction, composition and functional characteristics of flaxseed gum were summarized, and the research progress of physiological function of flaxseed gum in recent years was summarized. The latest researches on different application directions of flaxseed gum in food processing at home and abroad were elaborated, so as to provide theoretical references for the further development and application of flaxseed gum in food processing.

KEY WORDS: flaxseed gum; functional properties; research progress

#马兰雪和李曦为共同第一作者。

#MA Lan-Xue and LI Xi are co-first authors.

*通信作者: 刘登勇, 博士, 教授, 主要研究方向为肉品加工与质量安全控制、食品风味与感知科学。E-mail: jz_dyliu@126.com

*Corresponding author: LIU Deng-Yong, Ph.D, Professor, Bohai University, No.19, Keji Road, New Songshan District, Jinzhou 121013, China. E-mail: jz_dyliu@126.com

0 引言

亚麻(*Linum usitatissimum* L.)是一种一年生的草本植物,为亚麻科亚麻属,别称胡麻,是世界主要油料作物之一,主产于俄罗斯、中国、哈萨克斯坦、加拿大等国家。根据联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization, FAO)提供的数据显示^[1],2018年世界亚麻籽产量约318万t,中国约为36万t。作为亚麻籽的主产国之一,我国种植区域主要集中在北方和西南地区,如内蒙古、陕西、山西、贵州、云南等地。亚麻的种子由种皮、胚乳和子叶三者构成,其中胚乳及子叶部分富含亚麻籽油,种皮中富含亚麻木酚素和亚麻籽胶。

亚麻籽胶(flaxseed gum)又称富兰克胶、胡麻胶,是亚麻籽中除脂肪、蛋白质外含量最为丰富的一种天然高分子复合胶^[2]。亚麻籽胶作为一种天然亲水胶体,是一种阴离子杂多糖。由含量75%中性单体和25%酸性单体组成异生物聚合物构成,其中半乳糖、木糖、阿拉伯糖为亚麻籽胶的中性单体,摩尔比为1:6.2:3.5,分子量为1200 kDa,酸性单体主要由摩尔比为1:1.4:1.7:2.6的L-岩藻糖、L-半乳糖、D-半乳糖醛酸、L-鼠李糖构成,分子量有3.8%的650 kDa和21.3%的17 kDa两部分^[3-4]。亚麻籽胶中多糖的具体含量与亚麻籽原料的品种有关,LIU等^[5]以6个不同品种的加拿大亚麻籽为原料制备亚麻籽胶,发现其产量、中性糖含量、酸性糖含量在原料品种间存在明显差异。此外,亚麻籽胶中也含有少量蛋白质,且主要存在形式为结合蛋白,含量约为2.48%,游离蛋白含量仅为0.19%^[6]。SAFDAR等^[7]使用不同方法对亚麻籽胶进行脱蛋白处理,结果表明,亚麻籽胶在脱蛋白后仍保留了结构和功能的特点,其保水性、溶解度、溶胀能力等性能有所提高。

亚麻籽胶具有良好的功能特性,可代替果胶、阿拉伯胶等作为增稠剂、稳定剂及乳化剂应用于食品体系中,同时也具有较高营养价值和一定生理功能,能够降低血糖及胆固醇水平、降低肥胖发生率、预防结肠癌等^[8]。随着对亚麻籽胶结构及功能的深入研究,其在食品工业中的应用范围在不断扩大,从冰淇淋、果冻中的稳定剂,到肉制品如香肠、肉丸等的凝胶剂、乳化剂,再到奶制品、水产品的涂膜保鲜剂,以及吞咽困难患者潜在替代增稠剂,亚麻籽胶在食品中的应用潜力不断被发掘。本文以亚麻籽胶的组成及提取为始,进一步对其功能特质、生理功能,以及在食品加工工业中应用的最新研究进展进行了综述,为日后亚麻籽胶的深入研究及高值利用提供理论参考。

1 亚麻籽胶的提取

亚麻籽胶是存在于亚麻籽籽粒表层的一层胶质薄膜,含量约占籽重8%。目前国内外对亚麻籽胶的提取方法主

要为干提法和湿提法。干提法主要依据亚麻籽胶分布的结构特点,采用打磨的方式使胶从亚麻籽皮上脱离,此法虽过程简单,设备成本低,但所获亚麻籽胶较湿提法相比,纯度、黏度低,且成品质量不高。杨金娥等^[9]采用砂辊打磨亚麻籽法获取亚麻籽胶粉,得率最高为6.06%。湿提法通常是以浸提剂浸泡亚麻籽或亚麻籽粕、亚麻籽壳,进而干燥得到亚麻籽胶粉。湿提法所得成品质量高,黏度大,应用领域广,但相对于干提法工艺较繁琐,烘干耗能大。冯爱娟等^[10]利用超声辅助对亚麻籽胶的提取方法进行了优化,在最佳提取条件下,以亚麻籽壳为原料得到的亚麻籽胶提取率可达19.8%。李小凤等^[11]通过研究微波辅助提取与热水浸提2种方法对亚麻籽胶得率的影响,发现80℃热水浸提亚麻籽获得的亚麻籽胶得率为7.28%,高于80℃下600 W微波辅助提取的6.46%,但耗费的时间为微波辅助提取的6倍。

在用湿提法提取亚麻籽胶时,浸提温度及时间、干燥方法等因素会影响亚麻籽胶的品质。较高温度或较长提取时间可能会降低提取胶的质量和纯度,从而影响其成分、功能和流变特性。KAUSHIK等^[12]研究了不同温度下提取的亚麻籽胶的化学成分和结构特征,发现在30℃或50℃较低温条件下提取得到的亚麻籽胶更适合于乳化应用,而70℃或90℃较高温提取得到的更适合在需要较强油脂吸收能力的食品中使用。VIEIRA等^[13]分析了不同温度下提取的可溶性亚麻籽胶的流变行为和抗氧化能力,在25℃较低温度下提取的成品有较高的粘弹性,而60℃较高温提取的有较高的抗氧化性。WANG等^[14]通过不同干燥方式研究了对亚麻籽胶粉性能的影响,发现通过喷雾干燥、冷冻干燥、真空干燥、80℃和105℃烘箱干燥的方法得到的亚麻籽胶粉具有不一样的功能特性,可在食品加工中各自发挥不同的作用。

2 亚麻籽胶的功能性质

2.1 凝胶特性

近几十年来,食品生物聚合物中提取的天然凝胶,在性能和应用范围上都要优于合成凝胶^[15]。亚麻籽胶作为一种天然的食品添加剂,具有弱胶凝性,能够形成热可逆冷致凝胶,与食品中一些成分有较好的相容性。CHEN等^[16]发现亚麻籽胶能够改变与花生分离蛋白混合凝胶的成胶性能,在140 g/kg的花生分离蛋白溶液中加入5 g/kg亚麻籽胶后,溶液胶凝时间变短,混合凝胶的强度增加。FENG等^[17]通过研究NaCl浓度对含亚麻籽胶的猪肌原纤维蛋白的热胶凝性能的影响,发现NaCl浓度在0.2~0.6 mol/L范围内,稍高的NaCl浓度可提高猪肌原纤维蛋白凝胶的强度,但亚麻籽胶的加入使凝胶强度下降。JIANG等^[18]将亚麻籽胶和魔芋葡甘聚糖按不同比例混合形成复合凝胶,研

究其在特定物理胶化条件下的水胶性质和协同效应,发现凝胶的性能随二者浓度的不同呈现出显著的差异,亚麻籽胶和魔芋葡甘聚糖之间存在较强的相互作用和协同作用。贾娜等^[19]将不同质量分数的亚麻籽胶(0.1%~0.4%)添加到儿茶素与肌原纤维蛋白的混合体系中,研究其对儿茶素与蛋白互作后凝胶性质的影响,结果表明,亚麻籽胶能够降低儿茶素对肌原纤维蛋白凝胶性质的不良影响。

2.2 乳化性质

亚麻籽胶作为优良的高分子乳化剂,与阿拉伯胶相似,能够同蛋白质络合,可替代阿拉伯胶制备 O/W 乳液^[20]。在以亚麻籽粕为原料提取的亚麻籽胶中,还含有一定量的亚麻籽蛋白,研究表明^[21],在除去亚麻籽胶中的亚麻籽蛋白后,亚麻籽胶溶液的乳化稳定性会下降,因此,很多人认为这种混合体系会对亚麻籽胶的乳化能力起到协同增效的功用。此外,SUN 等^[22]证实了亚麻籽胶与油分子之间存在较强的相互作用,在对不同浓度亚麻籽胶稳定橄榄油乳剂的性能研究时发现,随着亚麻籽胶浓度的提高,乳状液的乳化稳定性增强。WANG 等^[23]考察了亚麻籽胶浓度和 pH 值对液体猪油乳剂稳定性的影响,结果表明,亚麻籽胶具有取代或与对 pH 敏感的蛋白乳化剂结合使用的潜力,进而稳定乳化型产品,在对亚麻籽胶浓度和 pH 值对脂滴聚集影响的研究结果中,也得出了相似的结论^[24]。LIU 等^[25]对不同浓度的亚麻籽胶和 NaCl 对熔融猪油乳剂稳定性的影响进行研究,发现增加亚麻籽胶的含量,能够提高乳状液的稳定性和耐盐性。此外,对亚麻籽胶中蛋白质的组成分析结果表明,低分子量蛋白 Conlinin 是决定亚麻籽胶乳化特性的关键蛋白组分,并在亚麻籽胶乳化性能中发挥着基础性作用^[26]。

2.3 流变特性

亚麻籽胶为白色粉末,在较低浓度时遇水可完全溶解,且具有较强的胀润能力,溶液浓度低于 3 g/L 呈近似牛顿流体状态,当浓度高于 3 g/L 表现为假塑性流体,假塑性流体特征随浓度的升高而显著。影响亚麻籽胶流变性的因素有很多,如在制取亚麻籽胶时使用的干燥方法中,乙醇沉淀法能够提高亚麻籽胶溶液的表现粘度^[27-28]。对亚麻籽胶溶液进行高压均质处理,在均质过程中溶液温度逐渐升高,溶液的表现粘度随均质压力的增强明显降低^[29]。此外,离子强度对亚麻籽胶凝胶的流变特性也有较显著的影响^[30]。作为一种有潜力的增稠剂,亚麻籽胶已被进行与流变特性相关的摩擦学分析,用来探索作为吞咽困难患者的潜在替代增稠剂的能力,吞咽困难是一种吞咽障碍,主要影响老年人,但能够通过增加流质食物的粘稠程度来改善。研究表明^[31],在含淀粉的水或牛奶中加入亚麻籽胶或黄原胶制备胶浆,黄原胶组的黏度、假塑性和粘弹性要高于亚麻籽胶组,但亚麻籽胶组的摩擦系数较黄原胶组低,

这有助于增加吞咽最后一步的快感。

3 亚麻籽胶生理功能

亚麻籽胶作为优良的水溶性膳食纤维,具备减轻体重、降低血糖及胆固醇等生理功能,还能够作为一种益生元调节肠道微生物群,以预防代谢综合症^[32]。LUO 等^[33]使用含亚麻籽胶质量分数为 30%、20%、10%的日粮饲喂体重较高的肥胖大鼠,进行为期 5 周的观察实验,发现较空白组相比,含 10%、20%亚麻籽胶的日粮显著降低了大鼠的体重和体脂,并改变了大鼠肠道微生物的组成。AU 等^[34]对 12 名健康成年男性的随机交叉餐后研究表明,在乳制品中添加 0.7%含量亚麻籽胶对餐后血糖有调节作用。YANG 等^[35]通过酶法对亚麻籽胶进行降解得到的亚麻籽低聚糖,具有一定的抗 HepG2 和 Hela 细胞增殖能力,认为其具有在食品和生物医药工业中作为一种抗氧化和抗肿瘤的候选药物的潜力。此外,KRISTENSEN 等^[36]通过对 17 名健康青年受试者的双盲随机交叉研究发现,不同食物基质中的亚麻籽胶可增加受试者脂肪排泄,降低总胆固醇及低密度脂蛋白胆固醇,但对食欲没有影响。

4 亚麻籽胶在食品中的应用

4.1 亚麻籽胶在肉制品中的应用

在肉制品的生产领域中,产品常会出现保水保油性弱、质构差、出品率不高等问题。食用胶的加入能够提高肉制品的粘合性和保水性,同时可增强产品稳定性及出品率,给予肉制品良好的口感,提升产品品质。亚麻籽胶在食品中能够代替大多数非凝胶性亲水胶体,且价格相对较低,具有优良的乳化特性、凝胶性质和亲水作用,并且能够与肉制品中的蛋白质和淀粉相互作用,增强产品的复水性,消除淀粉感,成为商品化肉制品加工中一种理想的保水、保油、抗淀粉回生的天然品质改良剂^[37]。此外,亚麻籽胶对脂肪有较好的乳化作用,可以增强肉蛋白、肌原纤维蛋白以及盐溶肉蛋白的热稳定性,提高盐溶肉蛋白的凝胶强度,因此被广泛应用于肉制品加工。

近年来,随着对亚麻籽胶的深入研究增多,其在肉制品中的应用越来越普遍。利用亲水胶体在食品加工中能够替代部分脂肪、赋予产品滑润口感的特性,亚麻籽胶也被应用于脂肪替代物的研究中。扶庆权等^[38]以一定浓度的亚麻籽胶替代西式香肠中的部分鸡皮原料,发现亚麻籽胶替代组制成的低脂西式香肠较对照组相比,蒸煮损失明显减少,保水性显著增加,肠体的质构特性和总体接受性均得到明显改善。

肉制品在实际的生产加工中,通常使用几种食用胶按适宜比例进行复配,从而对单一食用胶发挥的效果起到互补作用,提升其使用效能。付丽等^[39]将亚麻籽胶、卡拉

胶、魔芋胶按一定比例复配,研究三者对台湾烤肠冷冻稳定性效果的影响,结果表明,三者按适量比例复配能够提升台湾烤肠的弹性和冻融损失率,可以有效地抑制其速冻后发生的冰晶重结晶问题。潘男等^[40]将亚麻籽胶与魔芋胶和黄原胶一同复配加入到油炸牛肉饼中,提高了牛肉饼的品质,但当亚麻籽胶的含量过多时会增加牛肉饼的硬度,使得感官评分降低。此外,产品中亚麻籽胶同淀粉的比例也会对产品品质产生一定影响,速冻猪肉丸中加入适量和适宜比例的亚麻籽胶及复配淀粉,使得猪肉丸的品质得到了显著提高^[41]。在适宜的贮藏温度下,适当减少淀粉添加量、提高亚麻籽胶含量,能够提升火腿肠的感官品质^[42]。

4.2 亚麻籽胶在果冻制品及乳制品中的应用

亚麻籽胶与其他胶一起能够有较好的复配性,因此也被应用于果冻中。在制作果冻的过程中,只使用单一的食用胶通常达不到理想的效果,产品易发生脱水、皱缩的品质问题,利用复配胶体之间的协同作用,可以改善产品品质,提升成品品质。祝竞芳等^[43]将亚麻籽胶与卡拉胶复配加入到枸杞果冻的制作中,发现二者按一定比例复配可以显著改善枸杞果冻的口感。

亚麻籽胶还可作为稳定剂应用到搅拌型酸奶中,能够改善酸奶的品质及口感。李向东等^[44]向酸奶中加入适宜配比的亚麻籽胶、瓜尔豆胶及变性淀粉,在保证成品品质不变的条件下,产品的保质期得到一定延长。将亚麻籽胶与羧甲基纤维素配合加入酸奶中,酸奶的粘附性增加,贮藏稳定性不受影响^[45]。

4.3 亚麻籽胶的涂膜保鲜应用

近几年食品复合涂膜保鲜技术发展迅速,亚麻籽胶具有一定抗氧化能力和自由基清除能力的同时^[46],还具备一定的成膜特性,因此被视为一种有前景的涂膜材料。研究发现它可以替代商业涂膜剂聚醋酸乙烯酯作为切达干酪成熟过程中包装用生物涂层材料^[47],还能够与壳聚糖一起构成自组装膜应用到奶豆腐的包装中,减缓奶豆腐表面脂肪槽的形成,从而抑制奶豆腐表面脂肪析出,进而延长奶豆腐的贮藏期^[48]。将具备良好成膜性的亚麻籽胶与具有抗氧化和抑菌能力的柠檬草精油结合对即食石榴进行涂膜工艺加工,与对照组相比,二者的联合使用对一定温度下石榴果实的品质和货架期有积极影响,并且显著抑制了微生物的生长^[49]。刘锋等^[50]使用亚麻籽胶结合柠檬马鞭草精油,对冰温贮藏下的大菱鲆鱼片进行了涂膜处理,发现经复合涂膜后的鱼片样品显著抑制了冰温贮藏大菱鲆肌原纤维蛋白的氧化和降解,并可将此法作为大菱鲆保鲜的一种新方法,具有一定应用前景。

5 总结与展望

近年来食品胶体在食品加工工业的发展中地位逐步提

升,应用面也愈加广泛。亚麻籽胶作为一种水溶性多糖的天然植物胶,已被普遍用于食品加工中,改善食品的营养和品质。基于现有研究,亚麻籽胶在不同食品组分中的凝胶性能、乳化性能以及流变特性等已显示出较大优势,但目前对亚麻籽胶的生理功能、营养学特性,以及分子构象方面的研究还需进一步深入。此外,从复配胶体到涂膜保鲜,乃至被用于开发口咽部吞咽困难相关产品,亚麻籽胶在食品中的应用范围正在逐步拓宽,高值化加工逐步深化,未来亚麻籽胶将会作为功能性食品原料应用于更复杂更新颖的食品体系中,充分发挥其作为新型食用胶的特点,提高食品的品质及营养价值,具有广阔应用前景。

参考文献

- [1] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). FAOSTAT Database [EB/OL]. <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>
- [2] KAJLA P, SHARMA A, SOOD DR. Flaxseed—a potential functional food source [J]. J Food Sci Technol, 2015, 52(4): 1857–1871.
- [3] 禹晓, 黄沙沙, 聂成镇, 等. 亚麻籽胶结构及功能应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(1): 212–217.
YU X, HUANG SS, NIE CZ, et al. Research progress on structure and function of flaxseed gum [J]. Food Res Dev, 2020, 41(1): 212–217.
- [4] KAUSHIK P, DOWLING K, ADHIKARI R, et al. Effect of extraction temperature on composition, structure and functional properties of flaxseed gum [J]. Food Chem, 2017, 215: 333–340.
- [5] LIU J, SHIM YY, SHEN J, et al. Variation of composition and functional properties of gum from six Canadian flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars [J]. Int J Food Sci Technol, 2016, 51(10): 2313–2326.
- [6] 陈海华. 亚麻籽胶的功能性质、结构及其应用[D]. 无锡: 江南大学, 2005.
CHEN HH. Functional properties, structure and application of flaxseed gum [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2005.
- [7] SAFDAR B, PANG Z, LIU X, et al. Optimizing deproteinization methods and effect of deproteinization on structural and functional characteristics of flaxseed gum [J]. Int J Food Sci Technol, 2020. DOI: 10.1111/ijfs.14500
- [8] CARRARO JCC, DANTAS MIDS, ESPESCHIT ACR, et al. Flaxseed and human health: Reviewing benefits and adverse effects [J]. Food Rev Int, 2012, 28(2): 203–230.
- [9] 杨金娥, 黄庆德, 黄凤洪, 等. 打磨法提取亚麻籽胶粉的工艺[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 270–276.
YANG JE, HUANG QD, HUANG FH, et al. Extraction technology of flaxseed rubber powder by grinding [J]. J Agric Eng, 2013, 29(13): 270–276.
- [10] 冯爱娟, 叶茂. 超声波辅助提取亚麻籽胶工艺条件优化[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(10): 66–69.
FENG AJ, YE M. Optimization of ultrasonic assisted extraction process of linseed gum [J]. Food Res Dev, 2016, 37(10): 66–69.
- [11] 李小凤, 赵倩竹, 滕英来, 等. 亚麻籽胶微波辅助提取与热水浸提方法比较研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(8): 55–61.
LI XF, ZHAO QZ, TENG YL, et al. A comparative study on microwave assisted extraction and hot water extraction of linseed gum [J]. J Chin Cere Oils Ass, 2016, 31(8): 55–61.

- [12] KAUSHIK P, DOWLING K, ADHIKARI R, *et al.* Effect of extraction temperature on composition, structure and functional properties of flaxseed gum [J]. *Food Chem*, 2017, 215: 333–340.
- [13] VIEIRA JM, MANTOVANI RA, RAPOSO MFJ, *et al.* Effect of extraction temperature on rheological behavior and antioxidant capacity of flaxseed gum [J]. *Carbohydr Polym*, 2019, 213: 217–227.
- [14] WANG Y, LI D, WANG LJ, *et al.* Effects of drying methods on the functional properties of flaxseed gum powders [J]. *Carbohydr Polym*, 2010, 81(1): 128–133.
- [15] CAO Y, MEZZENGA R. Design principles of food gels [J]. *Nat Food*, 2020, 1(2): 106–118.
- [16] CHEN C, HUANG X, WANG L, *et al.* Effect of flaxseed gum on the rheological properties of peanut protein isolate dispersions and gels [J]. *LWT Food Sci Technol*, 2016, 74: 528–533.
- [17] FENG M, PAN L, YANG X, *et al.* Thermal gelling properties and mechanism of porcine myofibrillar protein containing flaxseed gum at different NaCl concentrations [J]. *LWT Food Sci Technol*, 2018, 87: 361–367.
- [18] JIANG Y, REDDY CK, HUANG K, *et al.* Hydrocolloidal properties of flaxseed gum/konjac glucomannan compound gel [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 133: 1156–1163.
- [19] 贾娜, 张风雪, 孙嘉, 等. 亚麻籽胶对儿茶素-肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(20): 1–7.
- JIA N, ZHANG FX, SUN J, *et al.* Effects of flaxseed gum on the heat-induced gel properties of catechin-myofibrin [J]. *Food Sci*, 2019, 40(20): 1–7.
- [20] 陈海华, 许时婴. 亚麻籽胶的乳化性质[J]. *食品与生物技术学报*, 2006, (1): 21–26.
- CHEN HH, XU SY. Emulsifying properties of flaxseed gum [J]. *Chin J Food Biotechnol*, 2006, (1): 21–26.
- [21] QIAN KY, CUI SW, WU Y, *et al.* Flaxseed gum from flaxseed hulls: Extraction, fractionation, and characterization [J]. *Food Hydrocolloid*, 2012, 28(2): 275–283.
- [22] SUN J, LIU WY, FENG MQ, *et al.* Characterization of olive oil emulsions stabilized by flaxseed gum [J]. *J Food Eng*, 2019, 247: 74–79.
- [23] WANG M, FENG MQ, JIA K, *et al.* Effects of flaxseed gum concentrations and pH values on the stability of oil-in-water emulsions [J]. *Food Hydrocolloid*, 2017, 67: 54–62.
- [24] CAO CN, WANG C, FENG YY, *et al.* Physical and rheological properties of mixed-component emulsion-based products: Influence of flaxseed gum concentration and pH on the aggregation of lipid droplets [J]. *Colloid Surface A*, 2020, 597: 124818.
- [25] LIU WY, FENG MQ, WANG M, *et al.* Influence of flaxseed gum and NaCl concentrations on the stability of oil-in-water emulsions [J]. *Food Hydrocolloid*, 2018, 79: 371–381.
- [26] LIU J, SHIM YY, POTH AG, *et al.* Conlinin in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) gum and its contribution to emulsification properties [J]. *Food Hydrocolloid*, 2016: 963–971.
- [27] Wang Y, Wang LJ, Li D, *et al.* Effects of drying methods on rheological properties of flaxseed gum [J]. *Carbohydrate Polym*, 2009, 78(2): 213–219.
- [28] LIU J, SHIM YY, TSE T, *et al.* Flaxseed gum a versatile natural hydrocolloid for food and non-food applications [J]. *Trend Food Sci Technol*, 2018, 75: 146–157.
- [29] WANG Y, LI D, WANG LJ, *et al.* Effects of high pressure homogenization on rheological properties of flaxseed gum [J]. *Carbohydrate Polym*, 2011, 83(2): 489–494.
- [30] WANG Y, LI D, WANG LJ, *et al.* Rheological study and fractal analysis of flaxseed gum gels [J]. *Carbohydr Polym*, 2011, 86(2): 594–599.
- [31] VIEIRA JM, OLIVEIRA FD, JR, *et al.* Rheology and soft tribology of thickened dispersions aiming the development of oropharyngeal dysphagia-oriented products [J]. *Food Sci*, 2020, 3: 19–29.
- [32] YANG C, XU Z, DENG Q, *et al.* Beneficial effects of flaxseed polysaccharides on metabolic syndrome via gut microbiota in high-fat diet fed mice [J]. *Food Res Int*, 2020, 131: 108994.
- [33] LUO JM, LI YT, MAI YS, *et al.* Flaxseed gum reduces body weight by regulating gut microbiota [J]. *J Funct Food*, 2018, 47: 136–142.
- [34] AU MMC, GOFF HD, KISCH JA, *et al.* Effects of soy-soluble fiber and flaxseed gum on the glycemic and insulinemic responses to glucose solutions and dairy products in healthy adult males [J]. *J American Coll Nutr*, 2013, 32(2): 98–110.
- [35] YANG C, HU C, ZHANG H, *et al.* Optimization for preparation of oligosaccharides from flaxseed gum and evaluation of antioxidant and antitumor activities *in vitro* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 153: 1107–1116.
- [36] KRISTENSEN M, SAVORANI F, CHRISTENSEN S, *et al.* Flaxseed dietary fibers suppress postprandial lipemia and appetite sensation in young men [J]. *Nutri Metabol Cardiovasc Dis*, 2013, 23(2): 136–143.
- [37] 张蓉银, 王晶, 玉江山. 天然亲水复合稳定剂在肉制品加工中的乳性能研究[J]. *草食家畜*, 2019, (1): 55–59.
- ZHANG RY, WANG J, YU SJ. Study on milk properties of natural hydrophilic compound stabilizer in meat products processing [J]. *Plant Livestock*, 2019, (1): 55–59.
- [38] 扶庆权, 周辉, 王海鸥, 等. 天然食用胶替代部分脂肪对西式香肠品质特性的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2019, 30(2): 118–123.
- FU QQ, ZHOU H, WANG HO, *et al.* Effect of natural edible glue on quality and character of western sausage [J]. *Chin Food Addit*, 2019, 30(2): 118–123.
- [39] 付丽, 陈晓, 高雪琴. 食用胶复合添加对台湾烤肠品质影响的研究[J]. *肉类工业*, 2019, (11): 25–30, 40.
- FU L, CHEN X, GAO XQ. Study on the effect of compound edible glue on the quality of Taiwan baked sausage [J]. *Meat Ind*, 2019, (11): 25–30, 40.
- [40] 潘男, 张岱玉, 王浩, 等. D-最优混料设计优化油炸牛肉饼中食用胶的添加量[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(1): 247–252.
- PAN N, ZHANG DY, WANG H, *et al.* D-optimal mixture design optimized the amount of edible glue added to fried beef patties [J]. *Technol Food Ind*, 2018, 39(1): 247–252.
- [41] 邓思杨, 蒋悦, 乔雨, 等. 亚麻籽胶与变性淀粉对速冻猪肉丸品质影响的研究[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(11): 59–64.
- DENG SY, JIANG Y, QIAO Y, *et al.* Study on the effect of flaxseed gum and modified starch on the quality of frozen pork meatballs [J]. *Food Res Dev*, 2018, 39(11): 59–64.
- [42] 杨雪, 冯美琴, 孙健, 等. 淀粉、亚麻籽胶与贮藏温度对火腿肠品质影响的析因试验分析[J]. *食品科学*, 2017, 38(13): 1–6.
- YANG X, FENG MQ, SUN J, *et al.* Effect of starch, flaxseed gum and

- storage temperature on the quality of ham sausage [J]. Food Sci, 2017, 38(13): 1–6.
- [43] 祝竞芳, 聂曼曼, 陈洁, 等. 卡拉胶与亚麻籽胶复配在枸杞果冻中的应用研究[J]. 中国食品添加剂, 2019, 30(7): 162–167.
- ZHU JF, NIE MM, CHEN J, *et al.* Study on the application of carrageenan and flaxseed gum in medlar Jelly [J]. Chin Food Addit, 2019, 30(7): 162–167.
- [44] 李向东, 吕加平, 夏志春, 等. 亚麻籽胶在搅拌型酸奶加工中的应用研究[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 331–335.
- LI XD, LU JP, XIA ZC, *et al.* Study on the application of flaxseed gum in the processing of stirred yoghurt [J]. Food Sci, 2008, 29(12): 331–335.
- [45] BASIRI S, HAIDARY N, SHEKARFOROUSH SS, *et al.* Flaxseed mucilage: A natural stabilizer in stirred yogurt [J]. Carbohydr Polym, 2018, 187: 59–65.
- [46] FATMA, BOUAZIZ, MOHAMED, *et al.* Antioxidant properties of water-soluble gum from flaxseed hulls [J]. Antioxidants, 2016, 5(3): 26.
- [47] AFSHIN SR, SHAHIN Z, SHAHRAM NR, *et al.* The effect of xanthan gum and flaxseed mucilage as edible coatings in cheddar cheese during ripening [J]. Coatings, 2018, 8(2): 80.
- [48] 高鹏飞. 亚麻籽胶/壳聚糖自组装膜在奶豆腐包装中的应用[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- GAO PF. Application of flaxseed gum/chitosan self-assembly film in milk curd packaging [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017.
- [49] YOUSUF B, SRIVASTAVA AK. Flaxseed gum in combination with lemongrass essential oil as an effective edible coating for ready-to-eat pomegranate arils [J]. Int J Biol Macromol, 2017, 104: 1030–1038.
- [50] 刘锋, 谢晶. 柠檬马鞭草精油结合亚麻籽胶对大菱鲆肌原纤维蛋白生化特性及构象的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(1): 104–111.
- LIU F, XIE J. Effects of lemon verbena essential oil combined with flaxseed gum on the biochemical properties and conformation of myofibrin of Turbot [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(1): 104–111.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介



马兰雪, 硕士, 主要研究方向为肉品加工与质量安全控制。
E-mail: 2534364542@qq.com



李曦, 硕士, 主要研究方向为肉品加工与质量安全控制。
E-mail: 1475933416@qq.com



刘登勇, 博士, 教授, 主要研究方向为肉品加工与质量安全控制、食品风味与感知科学。
E-mail: jz_dyliu@126.com