

陆家慧, 刘树萍. 奇亚籽胶的功能性质及其在食品中的应用研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 432-438. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050001

LU Jiahui, LIU Shuping. Research Progress on the Functional Properties of Chia Gum and Its Applications in Foods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 432-438. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050001

· 专题综述 ·

奇亚籽胶的功能性质及其在食品中的应用研究进展

陆家慧, 刘树萍*

(哈尔滨商业大学旅游烹饪学院, 黑龙江哈尔滨 150028)

摘要: 奇亚籽在食品和医疗领域已有很长的应用历史。作为奇亚籽副产物, 奇亚籽胶具有特殊的理化性质和多样化的结构构象。奇亚籽胶作为食品工业应用的一个新型资源, 可以改善产品的营养价值, 调整食品系统的粘度、稳定性和质构。本文就奇亚籽胶的提取和干燥方式、主要营养价值和功能性质及其在肉制品、烘焙制品、乳制品和食品保鲜与包装等领域的应用进行综述。对奇亚籽胶未来研究方向和应用前景进行探讨, 以期食品工业谋求新型绿色改良剂提供思路和目标。

关键词: 奇亚籽, 胶体, 提取方式, 营养价值, 功能性质, 应用

中图分类号: TS202.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)09-0432-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050001



本文网刊:

Research Progress on the Functional Properties of Chia Gum and Its Applications in Foods

LU Jiahui, LIU Shuping*

(College of Tourism and Cuisine, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: Chia seed has been applied in foods and medical field for a long history. As a by-product of chia seed, chia gum has unique physical and chemical properties and diverse structural conformations. As an emerging resource in food industry applications, chia gum can also be used in technological applications such as improving the nutritional value of products, adjusting the viscosity, stability and texture of the food system. This paper reviews the extraction and drying methods, main nutritional value and functional properties of chia gum and its application in meat products, baking products, dairy products, food preservation and packaging. The future research direction and application prospect of chia gum are discussed in order to provide ideas and objectives for the food industry to seek new green modifiers.

Key words: chia seeds; colloid; extraction methods; nutritional value; functional properties; application

奇亚籽 (Chia seed) 是薄荷类植物芡欧鼠尾草的种子, 具有很高的营养价值, 已逐渐成为最受消费者欢迎的食品之一^[1]。奇亚籽蛋白质含量相对较高 (16%~26%), 且富含多不饱和脂肪酸尤其是亚麻酸^[2], 达总油脂 (30%~34%) 含量的 68%^[3]。相比其他水果和种子, 它具有更高的膳食纤维含量 (34%~42%)^[4]。同时, 奇亚籽也含有多种多酚和抗氧化成分, 例如: 咖

啡酸、迷迭香酸、杨梅素和槲皮素等^[5]。奇亚籽及其衍生产物在食品、医疗、制药、营养保健以及动物饲料等领域具有广阔的应用前景, 其中, 奇亚籽胶尤其受到研究者的关注。它良好的生物活性功能和物理性质, 不仅可以降低人体胆固醇水平并有助于改善肠道功能, 而且可以作为增稠剂、胶凝剂和螯合剂等应用于食品、制药和化妆品领域^[6], 是一种富有前景的

收稿日期: 2021-05-06

基金项目: 黑龙江省科学基金项目 (LH2021B015); 哈尔滨商业大学“青年创新人才”支持计划学术骨干项目 (2019CX18); 烹饪科学四川省高等学校重点实验室资助项目 (PRKX201906); 黑龙江省博士后科研启动金 (LBH-Q15072)。

作者简介: 陆家慧 (1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 烹饪营养与工业化, E-mail: 18012238100@163.com。

* 通信作者: 刘树萍 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 传统烹饪工业化, E-mail: liusp201@163.com。

2.2 奇亚籽胶的功能性质

2.2.1 奇亚籽胶的生理功能 奇亚籽胶作为一种高膳食纤维含量的水凝胶,具有改善人体健康的良好生理特性。VERA等^[26]研究表明奇亚籽胶可以在胃肠道中保持一定的粘度从而附着在胃壁上达到减缓肠道运输、提供更多饱腹感的目的。ALFONSO等^[27]认为奇亚籽胶可以缓解胃排空并改善肠胃松弛,还能够抑制营养物质吸收以及胆汁酸的结合,从而降低人的餐后血糖反应和胆固醇,并减少患冠心病,高血压,糖尿病等疾病的风险。TAMARGO等^[28]认为奇亚籽胶不会影响肠道的物理特性(肠内腔的粘度),但可能会影响肠道菌群的细菌生长和代谢活性,这和RUBIO^[29]的研究结果相似。

2.2.2 奇亚籽胶的抗氧化能力 研究表明奇亚籽胶中含有丰富的天然抗氧化剂,例如生育酚、植物甾醇、类胡萝卜素和酚类化合物^[30-31],目前,已有研究表明,奇亚籽胶具有一定的抗氧化性。COELHO等^[32]提取出了奇亚籽胶中的酚类化合物,发现其具有淬灭DPPH自由基的能力以及可以抑制愈创木酚的酶促氧化。REYES等^[33]在奇亚籽胶中鉴定出的主要生物活性化合物是槲皮素和山奈酚,同时还含有浓度较低的咖啡酸和绿原酸,研究者也分析了奇亚籽胶对 β -胡萝卜素-亚油酸模型(β -CLAMS)和体外脂质氧化的影响,结果表明奇亚籽胶具有与市售抗氧化剂相当的功能效果,是良好的天然抗氧化剂。

2.2.3 溶解性 溶解度表示在受控温度下一段时间内已溶解的分子数量^[34]。HERNÁNDEZ等^[35]的研究表明在不同温度(30、60、70和90℃)、浓度(0.15%、0.25%和0.5%)和离心条件(800和2000 r/min)下奇亚籽胶的溶解度都接近100%,显著高于刺梧桐胶、阿拉伯胶以及落叶松胶^[36-37]。TIMILSENA等^[38]的研究表明奇亚籽胶的溶解度会随pH和温度的增加而提高,在碱性条件(pH9.0)和室温下的溶解度(97%)比在中性和酸性高,但在60℃后溶解度变化不显著。TIMILSENA等^[39]发现解聚后奇亚籽胶馏分在水中的溶解能力更强,推测是由于相邻链之间的分子间相互作用减弱所致。

2.2.4 乳化活性及乳化稳定性 乳化活性是指分子促进两种不相溶液体的增溶或分散,乳化稳定性是维持乳状液稳定及抗破裂的能力^[40],这是蛋白质和多糖在基于乳液的食品系统中重要的功能特性。大多数亲水胶体可以充当油水乳液的稳定剂,但只有少数可以充当乳化剂^[41]。MARIANELA等^[42]的研究表明,奇亚籽胶的乳化活性及稳定性显著大于明胶和瓜尔豆胶,这为食品行业乳化稳定剂的选择提供了新的思路。研究者们对奇亚籽胶高乳化活性的原因也展开了探究,GARTI等^[43]认为奇亚籽胶之所以具备稳定乳液的能力,是其含有的少量蛋白质使它能够吸附到固体或液体界面上,并且在没有任何化学或酶促改性

的情况下能够稳定水乳液中的油相。AVILADE等^[44]的研究结果则表明,奇亚籽胶溶液的黏弹特性与其界面距离密切相关,他们认为该凝胶乳化性能的形成是由油相周围空间结构所决定的,因此,奇亚籽胶在低浓度或室温条件下均可呈现出高乳化活性(>45%)和乳化稳定性^[45]。浓度的改变也会增强奇亚籽胶的乳化能力,刘婷婷等^[46]进一步提纯出奇亚籽胶中的多糖,对其进行功能和流变特性分析,结果表明随着质量浓度的增加,奇亚籽胶多糖对乳状液的稳定性显著增强,因为多糖质量浓度的升高减缓了乳状液液滴的扩散运动,使液滴间具有强作用力从而形成稳定结构。不同干燥方式对奇亚籽胶乳化活性也有影响,ANTIGO等^[47]研究了冷冻干燥和热风干燥对奇亚籽胶功能特性的影响,结果显示两种胶体溶液均显示出假塑性特征,并且冷冻干燥后的样品在乳化活性、乳液稳定性和溶解度等方面性能更佳。以上结果表明,奇亚籽胶颗粒可在连续的可溶性聚合物溶液中组成独特稳定的体系,有利于在食品基质中提供不同程度的稳定作用,并且在食品工业中尤其是加工条件较为苛刻的领域,有潜力取代人工合成的稳定剂和乳化剂。

2.2.5 持水力和持油力 持水力(WHC)是在施加外力后被水化样品吸收和持有水分的能力,持油力(OHC)则表现为通过蛋白质分子内的非极性侧向位点吸收油的能力^[48]。持水力的大小取决于许多因素,例如:物料成分和水的相互作用,水合位置数和蛋白质构型等^[49]。研究表明奇亚籽胶具有良好的持水力和持油力。OLIVOS等^[50]将奇亚籽胶与其他商用胶体进行了比较,发现奇亚籽胶的WHC和OHC显著高于常见市售商业胶体。GALLA等^[51]认为奇亚籽胶之所以具有良好的持水力是因为它的蛋白质和纤维含量高,二者可以充分地与水结合从而锁住水分。SALGADO等^[52]使用扫描电镜和拉曼光谱对奇亚籽胶的微观结构进行分析,发现构成奇亚籽胶的黏液丝是一种纳米团聚体,彼此相互交织构成了海绵状的空间网格结构。COOREY等^[45]认为这种海绵状结构具有更好的捕获和吸收油滴的能力。此外,SEGURA等^[53]发现提取原材料的不同会影响奇亚籽胶的功能性质,研究者从整粒和研碎的奇亚籽中提取了奇亚籽胶,发现前者的吸水能力显著高于后者,二者的持水力(100~149.28 g/g)和持油力(19.5~40.4 g/g)也不尽相同。奇亚籽胶的高WHC可以确保烘焙产品的新鲜度和柔软度,而它优越的脂肪吸收能力则与油炸食品的脱脂效果以及风味属性息息相关,因而可在食品加工设计中发挥重要作用。

3 奇亚籽胶在食品中的应用

奇亚籽胶因其营养价值及持水/油性、乳化性、稳定性等特性,可在食品工业中充当绿色改良剂或抗氧化剂,因此,对其在食品领域的应用开展研究很有学术意义和实用价值。

3.1 在肉类产品中的应用

奇亚籽良好的乳化稳定性和抗氧化性在肉类产品中有着广阔的应用前景,它可以提高烹饪产量,降低配方和生产成本,改善肉制品的质构和营养属性,延长肉制品的货架期。目前,在肉类产品中主要的添加方式是直接添加或制作成多糖/蛋白质或复合基质的乳液凝胶(EG)。CAMARA 等^[54] 尝试用冻干的粉末状奇亚籽胶与均质冷凝的奇亚籽凝胶替代博洛尼亚香肠中的磷酸盐以充当乳化剂和粘合剂,结果表明添加了奇亚籽凝胶的香肠比添加冻干粉的香肠具有更好的乳液稳定性,且当添加量为 2% 时感官接受性最佳。在此基础上,CAMARA 等^[55] 使用响应面法探究不同种类胶凝剂(羧甲基纤维素钠、转谷氨酰胺酶、角叉菜胶、乳清蛋白、胶原蛋白、复合藻酸盐)与奇亚籽胶复配制作成的 EG,并研究其对猪肉肠品质的影响,发现奇亚籽胶与乳清蛋白、藻酸盐、胶原蛋白相容性最佳,复配添加可提高 EG 和猪肉肠的稳定性。同时该研究还表明奇亚籽胶与转谷氨酰胺酶和角叉菜胶结合效果不理想,可能是由于各种成分的混合增加了乳液系统的复杂性,从而阻碍空间网络的交互作用。ANA 等^[56] 进一步使用藻酸盐-奇亚籽胶复配的乳液凝胶替代博洛尼亚香肠中的猪背脂,并研究了模拟体外消化过程中产品微观结构的变化,结果表明,奇亚籽胶对蛋白质网络中分散脂肪滴的大小和密致程度有很大的影响。以上研究表明,奇亚籽胶与藻酸盐及蛋白质之间有着良好的化学亲和性,可以形成稳定的凝胶网络。使用其所制成的乳液凝胶既具有与动物脂肪相似的功能性,又不会对感官特性造成很大的影响,说明其作为一种肉类产品的乳化剂和粘合剂是具有市场前景的。

3.2 在焙烤类制品中的应用

由于奇亚籽胶具有强大的保水和保油能力,因此,可作为一种天然添加剂,应用在烘焙产品中。FERNANDES 等^[57] 使用奇亚籽胶替代面包中的油脂,所制得的面包与对照组相比脂类含量降低了 36.7%,消费者的感官接受性更高且购买意向更强烈。GALLO 等^[58] 研究了在同等储存条件下使用奇亚籽胶作为巧克力蛋糕中的鸡蛋替代品,感官结果分析表明奇亚籽胶的添加对巧克力蛋糕的风味没有造成明显影响,并且相较对照组,添加奇亚籽胶还可以抑制蛋糕的脂质氧化,提高产品的储存安全性。奇亚籽胶不仅可以单独添加到产品中,还能与其他功能成分复配使用。GUIOTTO 等^[59] 将经全脂、半脱脂和脱脂的奇亚籽粉复合奇亚籽胶添加到面包中以替代小麦面粉,改良后的面团吸水率更高、稳定性更强、面包感官接受性良好。LUNA 等^[60] 使用水、菊粉、奇亚籽胶和亚麻籽油组合制作成的功能成分作为松饼中的黄油替代品,改良后的松饼营养品质得到了提升,脂肪含量降低且 TBARS 值较对照组显著降低。研究者认为这与奇亚籽胶中存在的抗氧化化合物有

关。在焙烤类产品中使用奇亚籽胶不仅可以用作脂肪替代品以实现降脂的目的,还可以改善产品的感官特性,为食品企业改良烘焙产品提供了思路。

3.3 在乳制品及衍生品中的应用

鉴于消费者对食品健康和营养的需求不断提升,研究者和食品制造商设计出纤维含量高、脂肪含量低、不含化学添加剂的新型乳制品。将奇亚籽胶添加在乳制品及衍生产品中,充当脂肪或者商用乳化剂/增稠剂来改善食品的口感和质量。CAMPOS 等^[61] 基于对冰淇淋质构、超限和融溶测试的结果,认为奇亚籽胶可以代替配方中的乳化剂和稳定剂。刘婷婷等^[62] 研究发现,奇亚籽胶所具有的保水性和保油性会使得冰淇淋浆料黏度增加,进而阻碍溶质分子的迁移,减少物质间的相互作用从而增强冰淇淋的稳定性;但感官分析显示,用粘液配制的冰淇淋样品和对照组之间存在显著性差异,主要是由于奇亚籽胶的添加会加重产品的颜色。DARWISH 等^[63] 发现随着酸奶中奇亚胶浓度的增加(最高 2%)膳食纤维含量也随之增加,弹性值及感官评分也相应升高,但是添加量为 3% 时会让酸奶的口味变得过淡。RIBES 等^[64] 进一步研究了奇亚籽胶对脱脂酸奶营养、质构和感官特性的影响,在酸奶配方中添加 7.5% 的奇亚籽胶可以降低储存过程中的脱水收缩程度,并且在酸奶内部形成了高度集中的网络结构,具有更好的抗应力性,因此,它的稠度、硬度和粘度值更高。CHAVES 等^[65] 探究了奇亚籽胶复配刺槐豆胶添加到甜品羊奶冻中的影响,结果表明:二者的添加增加了羊奶冻的水分含量和表观粘度,而表观粘度的增加也降低了膨胀率,阻碍了气泡掺入从而加强了产品的稳定性,同时羊奶冻的总脂质含量较对照样品降低了 50%。奇亚籽胶可以单独或与其他亲水胶体协同作用,使得乳制品的质地和热稳定性增强,营养成分得以改善,其独特的物理和化学特性使之在乳类制品中有着广阔的应用前景,也为乳品行业研发新型产品开辟了新的道路。

3.4 在食品保鲜和包装中的应用

奇亚籽胶作为一种新型的复杂多糖可以和蛋白质、脂质等结合,具有建立聚合物相互作用的能力,因此有良好的成膜特性,可用于包装涂料和可食用涂膜。不同干燥方式得到的奇亚籽胶成膜性能有所差异。VIEIRA 等^[66] 发现奇亚籽胶作为一种新型膜基具有较高的热稳定性和潜在的天然抗氧化能力,作为包装材料可以延长食品的保质期。为了达到更好的储藏效果,奇亚籽胶可以单独或与其他材料复配应用于食品保鲜和包装中。OBAN 等^[67] 使用奇亚籽胶与枸杞提取物复配制作了可食用包衣,将其涂在虹鳟鱼片的表面,涂膜在鱼片的表面形成了活性涂层;与对照组相比,鱼片的保质期延长了 5 倍,使用 2% 枸杞提取物的奇亚籽胶包衣抑制脂质氧化最为显著,并且有效阻碍了各类嗜温需氧菌的生长。COBAN 等^[68]

表1 奇亚籽胶在食品中的应用及效果

Table 1 Application and effect of chia gum in food

目标产品	添加目的	添加方式	作用效果	参考文献
博洛尼亚香肠	替代磷酸盐	直接添加	降低了50%的脂肪,改善了产品稳定性和质构特性	[55]
猪肉肠	替代磷酸盐	制成乳液凝胶	改善产品稳定性	[56]
博洛尼亚香肠	替代脂肪与磷酸盐	制成乳液凝胶	改善产品稳定性和产品质构特性	[57]
面包	替代油脂	直接添加	降低了56.6%的脂肪,提高了产品的储存安全性	[58]
巧克力蛋糕	替代鸡蛋	直接添加	降低了51.6%的脂肪,改善产品稳定性和产品质构特性	[59]
面包	替代小麦面粉	复配添加	增强了面团吸水率、醒发时间和稳定性,改善了面包的营养品质	[60]
松饼	替代黄油	复配添加	降低了78%的脂肪,增加了膳食纤维和不饱和脂肪酸的含量,提高了产品的储存安全性	[61]
冰淇淋	作为乳化稳定剂	直接添加	增加了黏度和稳定性,对色泽有负面作用	[62]
酸奶	作为乳化稳定剂	直接添加	改善了营养特性,提高了感官属性	[63]
脱脂酸奶	作为乳化稳定剂	直接添加	降低储存过程中的脱水收缩程度,提高感官属性	[64]
羊奶冻	改善产品稳定性	复配添加	降低了50%的脂肪,改善产品稳定性,增加了表观粘度	[65]
虹鳟鱼片	改善产品储存特性	制成可食用涂膜	抑制了脂质氧化和微生物生长,延长保质期	[67]
鲈鱼鱼片	改善产品储存特性	制成可食用涂膜	延长产品货架期至20 d	[68]
可食用甜菜染料	封装保护	微囊化封装	稳定保留了食用染料的颜色	[69]

将奇亚籽胶复配蜂胶提取物制作的涂膜包裹在鲈鱼鱼片上,研究了其在2℃储存期间的储藏特性,经测定,未涂膜的鱼片有效保质期为8d而奇亚籽胶和0.3%蜂胶提取物的组合可延长保质期至20d。除了制作涂膜,奇亚籽胶因其在室温下优异的稳定性还可以作为食品包装,微囊化多种活性成分。LDA等^[69]使用奇亚籽胶作为天然甜菜染料的包封剂,结果表明,与对照组相比,用奇亚籽胶和麦芽糊精制备的样品在喷雾干燥后花青素负载量更高,并且将其分散在不同pH和温度的水溶液中,微胶囊显示出良好的染料保留能力。开发奇亚籽胶作为可食用涂膜可以延缓食品脱水、抑制脂质氧化和微生物生长,并且可以延长食品的货架期,因此,其在高水分产品(如肉类和乳制品)中的应用前景广阔。由于奇亚籽胶有着优秀的包封特性,可在部分稳定性较差的食品基质中作为封装过程中的防腐剂,其绿色天然的特点也为生产可生物降解的食品包装提供了新的可能(表1)。

4 结论与展望

作为一种新型天然绿色凝胶,奇亚籽胶拥有广阔的市场前景。目前,奇亚籽胶的水提工艺研究已较为成熟,但其最佳的干燥方式和纯化手段尚未有一致的结论,因此,接下来的研究应着眼于通过可靠的科学数据支持,实现提取方法和剂量的标准化以支持大规模的食品应用,在改善提取参数的同时,挖掘更具有工业潜力的纯化与干燥方法。

奇亚籽胶在食品工业中有着巨大的应用潜力,在肉类产品中可以作为天然乳化剂替代磷酸盐来改善肉制品的质量;在烘焙食品中不仅可以提高产品营养价值,还可以作为稳定剂代替蛋白、脂肪或面筋;而增稠和乳化的效果同样可以作为绿色增稠剂开发新型乳制品。此外,奇亚籽胶也因其优异的成膜特性和抗氧化性为食品保鲜领域增添了新的选项。在未来的研究中,除了优化相应配方和技术手段以确保质量之外,还应该对现有或新型食品基质中掺入奇亚籽

胶的感官特性进行验证和分析,探究奇亚籽多糖和食品内其他生物活性物质的相互作用以及对食品本身的影响,在明确奇亚籽胶对人体消化性能影响的基础上,进行相应的研究以消除或抑制其对肠道菌群的负面作用。

参考文献

- [1] ULLAH R, NADEEM M, KHALIQUE A, et al. Nutritional and therapeutic perspectives of chia: A review[J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2016, 53(4): 17–25.
- [2] CYNTHIA S F, SOUZA L F, GILZE E S, et al. Effect of chia seed consumption on cardiovascular risk factors in humans: A systematic review[J]. *Nutricion Hospitalaria*, 2015, 15(9): 25–30.
- [3] URRUTIA O, SORET B, INSAUSTI K, et al. The effects of linseed or chia seed supplementation on adipose tissue development, fatty acid composition, and lipogenic gene expression in lambs[J]. *Small Ruminant Research*, 2014, 123(2-3): 204–211.
- [4] DINCOGLU A, OZAY O. A renewable source as a functional food: Chia seed[J]. *Current Nutrition & Food Science*, 2019, 42(6): 54–60.
- [5] AGUILAR J E, LICEAGA A M. Identification of chia seed peptides with enzyme inhibition activity towards skin-aging enzymes[J]. *Amino Acids*, 2020, 52(6): 1149–1159.
- [6] LUO M, CAO Y, WANG W, et al. Sustained-release antimicrobial gelatin film: Effect of chia mucilage on physicochemical and antimicrobial properties[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 87(2): 783–791.
- [7] LIN K Y, DANIEL J R. Structure of chia seed polysaccharide exudates[J]. *Carbohydrate Polymers*, 1994, 23(1): 13–18.
- [8] DAVOUD S, MOHSEN T. An update on physicochemical and functional properties of newly seed gums[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 119(25): 1240–1247.
- [9] RODRIGUEZ E, MARIA, ROMAN G, et al. Sorption isotherms, thermodynamic properties and glass transition temperature of mucilage extracted from chia seeds[J]. *Carbohydrate Polymers: Scientific and Technological Aspects of Industrially Important Polysaccharides*, 2015, 121(3): 441–449.

- [10] FERNANDES S S, ROMANI V P, FILIPINI G, et al. Chia seeds to develop new biodegradable polymers for food packaging: Properties and biodegradability[J]. *Polymer Engineering and Science*, 2020, 85(1): 255–264.
- [11] WEN W U, YANG Z, TING L I, et al. Research on the processing technology of the chia seed fruit with peach gum tremella beverage[J]. *The Food Industry*, 2018, 15(2): 1–6.
- [12] HUBER K L, FERNANDEZ J R, WEBB C, et al. Hyvia: A novel, topical chia seed extract that improves skin hydration[J]. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 2020, 19(1): 22–28.
- [13] JUSTYNA W, DOMINIK P, LENAENA R. Ionic liquids as a key medium for efficient extraction of copper complexes from chia seeds[J]. *Talanta*, 2016, 152(24): 482–488.
- [14] MUNOZ L A, COBOS A, DIAZ O, et al. Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration[J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 108(1): 216–224.
- [15] ORIFICI S C, CAPITANI M I, MC TOMÁS, et al. Optimization of mucilage extraction from chia seeds using response surface methodology[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(6): 4495–4500.
- [16] GUSTAVO A P, ARAUJO N M P, PEREIRA G M, et al. Obtaining a novel mucilage from mutamba seeds exploring different high-intensity ultrasound process conditions[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, 64(18): 258–264.
- [17] XING X, HSIEH Y S Y, YAP K, et al. Isolation and structural elucidation by 2D NMR of planteose, a major oligosaccharide in the mucilage of chia seeds[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 175(23): 231–240.
- [18] GOH K, MATIA M L, CHIANG J H, et al. The physico-chemical properties of chia seed polysaccharide and its microgel dispersion rheology[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 149(45): 297–307.
- [19] SEGURA C M, ACOSTA C Z, ROSADO R G, et al. Whole and crushed nutlets of chia from Mexico as a source of functional gums[J]. *Food Science & Technology*, 2014, 34(4): 701–709.
- [20] TAVARES L S, JUNQUEIRA L A, DOGÍ C, et al. Cold extraction method of chia seed mucilage: Effect on yield and rheological behavior[J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2018, 55(20): 457–466.
- [21] YEDIDA H V, BITRA V, BURLA S, et al. Hydration behavior of chia seed and spray drying of chia mucilage[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(2): 144–156.
- [22] YAKINDRA P T B, BO W C, RAJU A B, et al. Preparation and characterization of chia seed protein isolate-chia seed gum complex coacervates[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 52(8): 554–563.
- [23] YEH H Y, SU N W, LEE M H. Chemical compositions and physicochemical properties of the fiber-rich materials prepared from shoyu mash residue[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2005, 53(11): 43–51.
- [24] SPADA J C, DICK M, PAGNO C H, et al. Caracterização física, química e sensorial de sobremesas à base de soja, elaboradas com mucilagem de chia[J]. *Ciência Rural*, 2014, 44(2): 374–379.
- [25] FERNANDA S S, CAMPO C, COSTA T M H, et al. Nanoencapsulation of linseed oil with chia mucilage as structuring material: Characterization, stability and enrichment of orange juice [J]. *Food Research International*, 2019, 120(11): 872–879.
- [26] VERA N, LAGUNA L, ZURA L, et al. A comparative study of the physical changes of two soluble fibers during *in vitro* digestion[J]. *Proceedings*, 2020, 53(21): 18–25.
- [27] ALFONSO B P, EVA M, SANZ Y, et al. Impact of dietary fiber and fat on gut microbiota re-modeling and metabolic health[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 57(12): 201–212.
- [28] TAMARGO A, CUEVA C, LAGUNA L, et al. Understanding the impact of chia seed mucilage on human gut microbiota by using the dynamic gastrointestinal model simgi[J]. *Journal of Functional Foods*, 2018, 50(26): 104–111.
- [29] MA R. Implicaciones de la fibra en distintas patologías[J]. *Horizons*, 2012, 31(31): 121–140.
- [30] MARINELI R, ÉRICA A M, LENQUISTE S A, et al. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil[J]. *LWT-Food Science & Technology*, 2014, 59(2): 1304–1310.
- [31] OLIVEIRA A S C, VENDRAMINI C D B, CAZARIN C B, et al. Characterization of phenolic compounds in chia seeds, fiber flour and oil[J]. *Food Chemistry*, 2017, 232(1): 295–305.
- [32] COELHO M S, SALAS D L M. Chemical characterization of chia for use in food products[J]. *Journal of Food & Nutrition Research*, 2014, 2(5): 263–269.
- [33] REYES C E, TECANTE A, VALDIVIA L M A. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia seeds[J]. *Food Chemistry*, 2008, 107(2): 656–663.
- [34] SABATIER M, HUSNY J, NICOLAS M, et al. Solubility and impact of ascorbic acid on the *in vitro* bioavailability of two casein-based iron fortificants from reconstituted milk[J]. *Current Developments in Nutrition*, 2020, 4(2): 1836–1836.
- [35] HERNÁNDEZ M L. Mucilage from chia seeds: Microstructure, physico-chemical characterization and applications in food industry[J]. *Journal of Comparative Physiology B*, 2012, 157(3): 393–402.
- [36] LÓPEZ F Y, HIGUERA C I, GOYCOOLEA F M, et al. Other exudates: Tragacanth, karaya, mesquite gum and larchwood arabinogalactan[J]. *Handbook of Hydrocolloids*, 2009, 25(18): 495–534.
- [37] ZHAO F, YANG Z, RAO J, et al. Gum arabic-mediated synthesis of glyco-pea protein hydrolysate via maillard reaction improves solubility, flavor profile, and functionality of plant protein [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(36): 36–45.
- [38] TIMILSENA Y P, ADHIKARI R, KASAPIS S, et al. Molecular and functional characteristics of purified gum from Australian chia seeds[J]. *Carbohydr Polym*, 2016, 136(54): 128–136.
- [39] TIMILSENA Y P, ADHIKARI R, KASAPIS S, et al. Rheological and microstructural properties of the chia seed polysaccharide[J]. *International Journal of Biological Macromolecules: Structure, Function and Interactions*, 2015, 89(43): 687–692.
- [40] GHADERI S, HESARINEJAD M A, SHEKARFOROUSH E, et al. Effects of high hydrostatic pressure on the rheological properties and foams/emulsions stability of alyssum homolocarpum seed gum[J]. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8(10): 42–51.
- [41] CHEN M, LU J, LIU F, et al. Study on the emulsifying stabil-

- ity and interfacial adsorption of pea proteins[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 88(35): 159–164.
- [42] MARIANELA I, SUSANA M, MABEL C. Effect of mucilage extraction on the functional properties of chia meals[M]. New York: Food Industry, 2013: 25–38.
- [43] GARTI N, YAGHMUR A, LESER M E, et al. Improved oil solubilization in oil/water food grade microemulsions in the presence of polyols and ethanol[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2001, 49(5): 2552–2562.
- [44] AVILADE L R G, ALVAREZ R J, VERNON C R E J, et al. Viscoelasticity of chia seed mucilage dispersion in the vicinity of an oil-water interface[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 49(15): 200–207.
- [45] COOREY R, TJOE A, JAYASENA V. Gelling properties of chia seed and flour[J]. *Journal of Food Science*, 2014, 79(5): 859–866.
- [46] 刘婷婷, 赵文婷, 刘鸿铨, 等. 奇亚籽皮多糖对乳状液聚集稳定性的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(10): 29–37. [LIU T T, ZHAO W T, LIU H C, et al. Effects of chia seed peel polysaccharides on the stability of emulsion aggregation[J]. *Food Science*, 2020, 41(10): 29–37.]
- [47] ANTIGO J, BERGAMASCO R, MADRONA G S. How drying methods can influence the characteristics of mucilage obtained from chia seed and psyllium husk[J]. *Ciência Rural*, 2020, 50(8): 65–72.
- [48] WANG L, XING X, LIU Y, et al. Effects of different drying methods on the functional and structural properties of dietary fiber from peanut shell[J]. *Agricultural Biotechnology*, 2020, 9(3): 132–136.
- [49] ZONDO S, MAHLAMBI P. Correlation between chemical composition, water holding capacity and flavonoids content of maize varieties harvested at Buxedeni village of Kwanongoma in Kwazulu natal, south Africa[J]. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2020, 8(11): 675–681.
- [50] OLIVOS L B L, VALDIVIA L M A, TECANTE A, et al. Thermal and physicochemical properties and nutritional value of the protein fraction of mexican chia seed[J]. *Food Science & Technology International*, 2010, 16(1): 89–96.
- [51] GALLA N R, DUBASI G R. Chemical and functional characterization of gum karaya seed meal[J]. *Food Hydrocolloids*, 2010, 24(5): 479–485.
- [52] SALGADO C M D L P, CALDERÓN D G, CHANONA P J, et al. Chia seed mucilage release characterisation a microstructural and image analysis study[J]. *Industrial Crops & Products*, 2013, 51(8): 453–462.
- [53] SEGURA C M, ACOSTA C Z, ROSADORUBIO G, et al. Whole and crushed nutlets of chia from Mexico as a source of functional gums[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 34(4): 701–709.
- [54] CMARA A, VIDAL V, SANTOS M, et al. Reducing phosphate in emulsified meat products by adding chia mucilage in powder or gel format: A clean label technological strategy[J]. *Meat Science*, 2020, 163: 108085.
- [55] CMARA A, OKURO P K, SANTOS M, et al. Understanding the role of chia mucilage on olive oil-based emulsion gels as a new fat substitute in emulsified meat products[J]. *European Food Research and Technology*, 2020, 35(8): 1–14.
- [56] ANA K, FERREIR A, IGNÁCIO C, et al. Satiety and *in vitro* digestibility of low saturated fat bologna sausages added of chia mucilage powder and chia mucilage-based emulsion gel[J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 65: 103753.
- [57] FERNANDES S S, MERCEDES M L. Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes[J]. *Food Chemistry*, 2017, 227(15): 237–244.
- [58] GALLO L, BOTELHO R B A, GINANI V C, et al. Chia gel as egg replacer in chocolate cakes: Applicability and microbial and sensory qualities after storage[J]. *Journal of Culinary Science & Technology*, 2018, 18(9): 1–11.
- [59] GUIOTTO E N, MABEL C T, HAROS C M. Development of highly nutritional breads with by-products of chia seeds[J]. *Foods*, 2020, 9(6): 34–42.
- [60] LUNA K G, ANSORENA D, ASTIASARÁN I. Flax and hempseed oil functional ingredient stabilized by inulin and chia mucilage as a butter replacer in muffin formulations[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(1): 159–167.
- [61] CAMPOS B E, RUIVO T D, SCAPIM M R D S, et al. Optimization of the mucilage extraction process from chia seeds and application in ice cream as a stabilizer and emulsifier[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 65(26): 874–883.
- [62] 刘婷婷, 张闪闪, 赵文婷, 等. 奇亚籽皮多糖对冰淇淋乳化稳定性及品质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(10): 6. [LIU T T, ZHANG S S, ZHAO W T, et al. The effect of chia seed peel polysaccharides on the emulsification stability and quality of ice cream[J]. *Food Science*, 2021, 42(10): 6.]
- [63] DARWISH A, SOHAIMY S A. Functional properties of chia seed mucilage supplemented in low fat yoghurt[J]. *The Alexandria Medical Journal*, 2018, 39(3): 450–459.
- [64] RIBES S, PEA N, FUENTES A, et al. Chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage as a fat replacer in yogurts: Effect on their nutritional, technological, and sensory properties[J]. *Journal of Dairy Science*, 2020, 104(3): 81–88.
- [65] CHAVES M A, PIATI J, MALACARNE L T, et al. Extraction and application of chia mucilage and locust bean gum in goat milk frozen dessert[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(10): 4148–4158.
- [66] VIEIRA I S, SOUSA R M, OLIVEIRA A, et al. Polymeric blends of hydrocolloid from chia seeds/apple pectin with potential antioxidant for food packaging applications[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 202(24): 203–210.
- [67] OBAN Z E, N ERGÜR. Chia musilage coating: Applications with gojiberry extract for shelf-life extension of oncorhynchus mykiss and it's antibacterial and oxidative effects[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 45(3): 132–139.
- [68] COBAN M Z, COBAN O E. Potency and use of chia mucilage coating containing propolis liquid extract for improves shelf-life of sea bass fillets[J]. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 2020, 19(3): 255–260.
- [69] LDA J A, APS A, RDCB B, et al. Chia seed mucilage as a potential encapsulating agent of a natural food dye[J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 285: 110101.