

亚麻籽营养成分提取及其功能和应用研究进展

刘婷婷, 石少侠, 段虎平, 温毓秀, 于修焯

(西北农林科技大学 食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:综述了亚麻籽中亚麻籽油、亚麻籽蛋白、亚麻籽多糖、亚麻籽胶、木脂素等主要营养成分的提取方法及其原理和优缺点,并对其调节脂质代谢、降低血糖血脂水平、改善心脑血管疾病、预防癌症等营养功能及在食品加工等领域的应用进行分析和讨论,以期为亚麻籽营养成分的提取和相关产品的进一步开发利用提供参考。

关键词:亚麻籽;营养成分;提取;营养功能;应用

中图分类号:TS222;TS201.4 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2020)03-0090-08

Advances in nutrients extraction, functions and applications of flaxseed

LIU Tingting, SHI Shaoxia, DUAN Huping, WEN Yuxiu, YU Xiuzhu

(College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: The extraction methods of flaxseed nutrients (flaxseed oil, flaxseed protein, flaxseed polysaccharide, flaxseed gum and lignans) and their principles, advantages and disadvantages were reviewed. The nutritional functions of flaxseed in regulating lipid metabolism, reducing blood glucose and blood lipid level, improving cardiovascular, cerebrovascular diseases and preventing cancer were also discussed, and the application of flaxseed in food processing and other fields were analyzed and discussed to provide references for the extraction of flaxseed nutrients and further development of related products.

Key words: flaxseed; nutrient; extraction; nutritional function; application

亚麻籽为一年生草本植物亚麻的种子,其含有 α -亚麻酸(ALA)、木脂素、优质蛋白质、膳食纤维等成分^[1],也含有丰富的维生素、矿物质、植物甾醇和酚类化合物等微量营养素^[2]。这些营养成分使得亚麻籽具有改善机体脂质代谢、预防心血管疾病及癌症等功能特性^[3-4],对人体健康具有重要的作用。亚麻籽主要营养成分的高效提取是拓展其应用范围的重要基础。亚麻籽在食品中的应用提高了具有特殊营养功能的物质含量,强化食品营养,提升其理化特性及感官品质。随着社会的发展和人民生活水平的提高及健康意识不断加强,对功能食品的需求量逐步增大,亚麻籽相关产品逐渐引起国内外的

高度关注。因此,深入研究亚麻籽的营养成分和高效开发相关产品具有重要意义。本文综述了亚麻籽主要营养成分的提取方法、亚麻籽的营养功能及其在食品加工等方面的应用,以期为亚麻籽相关产品的进一步开发利用提供参考。

1 亚麻籽主要营养成分及提取方法

亚麻籽主要营养成分包括亚麻籽油、亚麻籽蛋白、亚麻籽多糖、亚麻籽胶和木脂素,其提取方法如表1所示。

1.1 亚麻籽油

亚麻籽含油率为35%~45%^[3],其油脂中ALA含量极为丰富。溶剂萃取法依据固液萃取原理,通过溶剂(丙酮、甲醇、石油醚、正己烷、二氯甲烷、乙醇和庚烷)萃取油脂^[5],提取过程中需要使用大量的有机溶剂,对人体和环境存在潜在的危害,且营养成分损失较大。压榨法提油解决了常规溶剂萃取法造成的污染问题,且设备简单^[6]。水剂法利用油料成分对油和水亲和力的差异,使得水分浸入油料代出油脂^[7],提取条件温和、环保。微波/超声波辅助

收稿日期:2019-07-28;修回日期:2019-08-24

基金项目:陕西省重点研发一般项目(2019NY-120)

作者简介:刘婷婷(1995),女,硕士研究生,研究方向为功能性油脂及安全检测(E-mail)2831468977@qq.com。

通信作者:于修焯,教授,博士(E-mail)xiuzhuyu@nwfau.edu.cn。

萃取法可增加溶剂与亚麻籽之间的接触,提高出油率^[8],但无法实现大规模工业化生产。亚/超临界萃取法虽然提取效率高,但成本相对较高^[9]。生物酶法得率高,无溶剂残留,油品质较好,但其提取时间长且对提取条件要求严格^[10]。因此,与其他提取工艺相比,水剂法在保证油脂质量安全的前提下,能

够同时提取油脂和蛋白质等高附加值产品,提高油料资源利用率,有其独特的优势,但该方法的操作简便性、连续性及处理量的大小均与大规模工业化生产存在一定差距,如何提高提油率也有待进一步研究。

表1 亚麻籽主要营养成分提取方法及优缺点

成分	提取方法	优点	缺点	参考文献
亚麻籽油	压榨法	工艺简单,避免使用化学试剂,油品质较高,营养成分及活性物质保留较好	出油率低,饼残油率高,易造成资源浪费	[5-6]
	溶剂萃取法	出油率较高,粕残油率低,提取时间短	使用大量有机溶剂,不利于人体健康和环境保护	[5]
	水剂法	条件温和,安全环保污染小,能耗及成本低	提油率较低	[7]
	微波/超声波辅助萃取法	萃取时间短,溶剂消耗少,对油脂的热损伤小、减少物质损失	成本和能耗较高,无法实现大规模工业化生产	[8]
	亚/超临界萃取法	传质快,萃取速度和效率高,无毒无溶剂残留、高效环保	对设备要求高,成本及能耗过高,投资大	[9]
	生物酶法	得率高,无溶剂残留,油品质较好	酶制剂价格昂贵、提取条件要求严格,且提取时间长	[10]
亚麻籽蛋白	等电点沉淀法	成本低,过程操作简便	蛋白质可能发生不可逆变性,营养价值降低	[11]
	水酶法	处理条件温和,易于控制,环保	酶制剂价格昂贵,成本较高	[12]
	胶束化技术	保持蛋白质的天然状态,得率高	操作过程较为烦琐	[13]
	酸预处理超滤法	提取时间短,提取率较高	蛋白质易发生变性,营养价值降低	[11]
亚麻籽多糖	溶剂萃取法	操作简便,成本低	使用有机溶剂较多,残留物不易清除	[14]
	离子交换色谱法	选择性高,使用溶剂较少	传质较慢,耗时较长	[15]
	高压流体萃取法	萃取效率高	部分具有生物活性物质损失,成本高	[16]
亚麻籽胶	水剂法	工艺简单,成本低,无污染	得率较低	[17]
	酸碱萃取法	得率较高	对设备等具有腐蚀作用且污染环境	[18]
	超声辅助酶解法	提取条件温和,节约能源,操作方便,且提取物纯度较高	成本高,提取率易受温度等因素影响,工艺不稳定	[18]
木脂素	超临界萃取法	萃取效率高,污染小,环保	对设备及技术要求高,提取成本高	[19]
	溶剂萃取法	成本低,操作简便,提取周期短	提取率低,有机溶剂消耗大,污染环境,成本较高	[20]
	碱提法	成本低,操作简便	清洗效率低,提取不完全	[21]

1.2 亚麻籽蛋白

亚麻籽蛋白占亚麻籽的10%~30%^[18],是一种具有较高营养价值的植物蛋白质,可分为白蛋白、球蛋白和谷蛋白,其氨基酸种类齐全,必需氨基酸含量达5.16%^[22]。亚麻籽蛋白提取常用碾磨、脱胶、脱脂等处理来提高蛋白质的回收率^[23]。等电点沉淀法依据碱溶酸沉原理,通过调节溶液的pH达到沉

淀蛋白质的等电点,从而提取蛋白质^[11];水酶法提取工艺是采用纤维酶、半纤维酶、果胶酶或蛋白酶等,通过酶解破坏细胞壁,以及相邻氨基酸/蛋白质与碳水化合物分子之间的肽链提取蛋白质^[12];胶束化技术是以盐溶液(常用硫酸铵)沉淀蛋白质的方法^[13];酸预处理超滤法采用酸溶液处理亚麻籽,然后进行超滤、干燥得到亚麻籽蛋白^[11]。等电点沉淀

法和酸预处理超滤法成本较低,且提取时间短,但在此过程中蛋白质可能发生变性,丧失部分功能,营养价值降低。水酶法及胶束化技术更有利于保持蛋白质的天然状态,但成本较高。因此,寻找高效环保、能耗低的提取方法十分必要。

1.3 亚麻籽多糖

亚麻籽多糖含两种主要成分:鼠李糖和阿拉伯木聚糖。鼠李糖是一种酸性多糖,由 *L*-岩藻糖、*L*-鼠李糖、*D*-半乳糖和 *D*-半乳糖醛酸组成,约占亚麻籽多糖的 25%;阿拉伯木聚糖由阿拉伯糖、半乳糖和木糖组成,约占亚麻籽多糖的 75%^[3]。溶剂萃取法是一种利用相似相溶原理,采用萃取剂萃取亚麻籽多糖,从而实现组分传质分离的方法^[14];离子交换色谱法是利用被分离组离子交换能力或选择性系数的差别而分离亚麻籽多糖的方法^[15];高压流体萃取法采用高压高温萃取技术,以有机溶剂将亚麻籽多糖从固体基质快速传质到溶剂中^[16],该方法与溶剂萃取法相似,但提高了萃取速度与效率。离子交换色谱法选择性较高,且溶剂使用较少,但耗时较长。高压流体萃取法的快速传质会破坏部分生物活性物质,且成本较高。溶剂萃取法是最简便且低成本的技术,但溶剂残留较多,易造成环境污染。因此,寻找一种绿色环保的萃取剂具有重要意义。离子液体和深共晶溶剂是一类熔点低于其任何单个组分的天然产物的混合物,可作为潜在的绿色溶剂^[24]。

1.4 亚麻籽胶

亚麻籽胶是一种可溶性膳食纤维,约占亚麻籽的 8%^[3]。亚麻籽胶能够缓慢地吸水形成一种具有较低黏度的分散体系,亚麻籽胶具有良好的溶解性、流变学特性以及乳化性能等^[25],可作为食品增稠剂、稳定剂等,用于乳制品、香肠、饮料等产品中,以弥补人们膳食纤维摄入不足的需要。水剂法是以水(盐水)为溶剂,溶解并离心过滤得到亚麻籽胶粗提物^[17];酸碱萃取法是将原料经酸碱处理、离心过滤,经乙醇沉淀后冻干,得到亚麻籽胶^[18];超声辅助酶解法通过酶制剂除去原料中的脂肪、蛋白质等物质,从而获得亚麻籽胶^[18]。以上提取方法中,水剂法提取工艺简单且成本低、无污染,但得率较低,而酸碱萃取法对设备等具有腐蚀作用;超声辅助酶解法提取条件温和,且提取纯度较高,但工艺不稳定,成本高,需要采取措施降低温度等因素对提取率的影响。亚麻籽胶价格低廉,在食品和化妆品等化工领域中可替代大多数亲水胶体,用途广泛,因此寻找其高效提取方法可作为一种研究方向。

1.5 木脂素

木脂素占亚麻籽的 0.7%~2%^[4],其主要以开环异落叶松树脂酚二葡萄糖苷(SDG)形式存在,脱脂亚麻籽粉可制得 SDG 含量较高的木脂素浓缩物^[26]。超临界萃取法是以亲水性溶剂提取,在临界温度和临界压力条件下以超临界二氧化碳萃取分离木脂素的方法^[19];溶剂萃取法是采用溶剂从脱脂亚麻籽中提取木脂素,以离子交换树脂富集、层析分离可得到木脂素^[20];碱提法是以溶剂溶解、以碱水解,通过脱糖基化作用断裂低聚物酯键,释放得到木脂素的方法^[21]。杨雪艳等^[27]采用碱提法提取亚麻籽中的木脂素,纯度可达 28%。溶剂萃取法提取成本低、操作简便,但溶剂使用量大;超临界萃取法提取木脂素成本较高,且相关报道较少,不适用于工业化生产。木脂素具有很强的抗氧化活性,在食品和医药领域的应用前景广阔。因此,亟待开发新的提取方法,以提高木脂素的提取效率和纯度。

2 亚麻籽的营养功能

2.1 调节脂质代谢

亚麻籽可提高血清高密度脂蛋白胆固醇水平,对于调节机体脂质代谢有一定的促进作用。Opyd 等^[28]以富含饱和脂肪酸并添加胆酸的高脂饮食作为脂类吸收的刺激物,诱导大鼠代谢紊乱,以此比较亚麻籽和脱脂亚麻籽对高脂高胆酸饲料大鼠肠道酶活性和脂质代谢的影响,结果表明:无论添加何种形式的亚麻籽,都可减少肝脏脂肪,尤其是甘油三酯的积累。添加亚麻籽可抑制结肠 β -葡萄糖醛酸酶活性升高,而脱脂亚麻籽可提高小肠黏膜二糖化酶(蔗糖、麦芽糖酶和乳糖酶)活性。相关研究也表明,亚麻籽调节脂质代谢作用与过氧化物酶体增殖物激活受体 α 的表达降低有关,其作用机制可分为 3 个方面:①调节血液胆固醇的分布,防止胆盐的再吸收及其过量排泄;②减缓血糖反应,从而降低胰岛素刺激肝胆固醇的合成;③由产生丙酸的肠道微生物发酵可溶性纤维,从而抑制胆固醇的合成^[29]。

2.2 降低血糖血脂水平

通过亚麻籽干预可调节人体血糖血脂水平,改善脂质分布。II 型糖尿病(T_2D)是一种常见的慢性疾病,目前大多数的治疗方法效果不佳,而对于患有 T_2D 的便秘患者,食用亚麻籽饼干可减轻便秘症状,降低体重,改善血糖和血脂水平^[30]。林非凡等^[31]采用 β -环糊精包合法从亚麻籽油中分离得到高纯度 ALA,研究其对小白鼠高血脂的预防和治疗作用。结果表明:ALA 对小白鼠的高脂血症和动脉粥

样硬化有明显的抑制作用。因此,在主食中适量添加亚麻籽成分进行简单的饮食干预,在降低血糖血脂水平、预防糖尿病上不仅实用有效,而且具有十分广阔的应用前景。

2.3 改善心脑血管疾病

亚麻籽在预防并改善心脑血管疾病方面也发挥着重要作用。Parikh 等^[32]发现喂食 SDG、脱脂亚麻籽粕和亚麻籽油的动物心脏梗死面积减小,饮食补充亚麻籽油可降低心律失常的发生率,利于心脏功能的恢复。Rodriguez - Leyva 等^[33]研究每日摄入亚麻籽对外周动脉疾病患者收缩压和舒张压的影响,结果表明:食用亚麻籽可以减少血管壁的脂质积聚,亚麻籽诱导饮食干预能起到有效的降压作用,同时还具有一定的抗炎和减肥功效。

2.4 预防癌症

亚麻籽能够降低癌细胞的活力,有研究评估了天然棕色亚麻籽补充剂对 1,2 - 二甲基胍在体内诱导 DNA 损伤的预防作用,结果表明:亚麻籽补充剂

可降低 DNA 损伤的频率,从而减少肿瘤的产生^[34]。临床试验结果表明,亚麻籽具有降低乳腺癌肿瘤生长的潜力,从而降低该类型癌症发生的风险^[35]。此外,亚麻籽及其生物活性成分还可降低结直肠癌的发生率^[36]。因此,可将亚麻籽作为预防癌症的功能性食品,但其作用机制尚不明确。

3 亚麻籽的应用

在发达国家,亚麻籽粉在食品、医药及饲料等行业已成为一种较为普遍的原料,国内对亚麻籽的相关研究也取得一定进展。

3.1 在食品中的应用

亚麻籽在食品工业主要应用于营养食用油、新型保健食品和强化食品的制作^[4]。近年来,许多学者将亚麻籽与其他辅料一起加入到食品中,如面粉制食品、香肠、燕麦营养保健粉等的制作中^[37-39],以提高食品的营养,并且研究取得一定进展。亚麻籽在食品中的应用见表 2。

表 2 亚麻籽在食品中的应用

产品	形态及添加量	应用	参考文献
面包	亚麻籽粉 12%, 亚麻籽油 5%	增大多不饱和脂肪酸的比例,提高产品营养价值	[40]
	亚麻籽粉 10%	亚麻籽粉对小麦面团流变特性及面包品质的影响	[41]
	亚麻籽粉 15%	亚麻籽粉对面包品质及化学组分含量,特别是对生育酚和不饱和脂肪酸组成的影响	[42]
	亚麻籽皮 4%	亚麻籽皮对小麦面包抗氧化能力和营养品质的影响	[43]
	亚麻籽胶 2.4%	亚麻籽胶代替瓜尔胶和果胶,制作无麸质面包	[44]
面条	亚麻籽粉 10%	改善传统面条营养品质	[45]
	亚麻籽胶 3%	改善面条的蒸煮品质	[46]
	脱脂亚麻籽粉 10%	开发适于乳糜泻患者的食品,同时使产品富含膳食纤维,提高营养价值	[47]
馒头	亚麻籽粉 15%	亚麻籽强化馒头的理化性质及营养品质	[48]
	亚麻籽皮提取物 1%	亚麻籽皮提取物对馒头抗氧化能力及营养特性的影响,达到营养强化目的	[49]
松饼	亚麻籽粉 20%	研究添加亚麻籽粉对产品生物活性物质(ALA 和 SDG)的影响,强化松饼的感官特性	[50]
	亚麻籽粉 10%	亚麻籽粉对松饼理化及品质特征的影响	[51]
乳制品	亚麻籽粉 4%	强化酸奶的营养,开发具有理想的理化特性、营养品质和感官属性的益生菌产品	[52]
	亚麻籽油 0.6%	亚麻籽对嗜酸乳杆菌的生长、酸化和贮藏稳定性的影响,并对后续发酵产品的质地和感官特性进行评价	[53]
肉制品	亚麻籽油 20%, 亚麻籽提取物 0.1%	亚麻籽油及亚麻籽提取物替代动物脂肪,改善肝磷脂氧化稳定性,设计出一种营养价值高、贮存稳定的肉制品	[54]
	亚麻籽油 2%	亚麻籽油添加量对鸡肉香肠物理特性的影响	[37]
海绵蛋糕	亚麻籽粉 10%	功能性蛋糕的制作,开发新产品	[39]
杂粮饼干	亚麻籽粉 10%	亚麻籽对产品物理性质、氧化稳定性的影响及消费者对饼干的接受程度,开发富含亚麻籽的杂粮饼干	[38]

由表2可以看出,亚麻籽大多以亚麻籽粉的形式添加到食品中,且推荐添加量基本在10%左右。其中关于面包产品的研究较多,因其独特的感官品质深受人们喜爱。然而对于我国传统主食食品的研究报道较少,随着主食工业化发展,将亚麻籽应用到传统主食的制作中具有广阔的应用前景。

3.1.1 面包

把亚麻籽应用到面包制作中的研究比较广泛。Wandersleben等^[55]研究发现,在面包的制作中添加亚麻籽可以显著提升面包的营养价值。Marpalle等^[41]研究了亚麻籽粉(添加量为5%、10%、15%)对面团流变学特性及面包品质的影响,结果表明亚麻籽粉改善了面团的弹韧性,提高面团的吸水率,面包适口性更好。Korus等^[44]以亚麻籽胶(添加量为1.2%、1.8%、2.4%)为结构形成剂制备无麸质面包,结果发现以亚麻籽胶代替瓜尔胶和果胶,提高了面包的感官接受度。亚麻籽胶吸水性和保水性较强,加入后可以保持面包新鲜度,延长面包的松软时间和货架期。此外,亚麻籽的添加可提高酚类物质含量、自由基清除能力^[43],延缓面包老化,由此可见,将亚麻籽添加到面包中,改善了产品口感及品质,丰富面包营养,并提升其抗氧化能力,可作为一种有益的食品原料。但面包烘烤过程中温度较高,造成多不饱和脂肪酸等物质的损失,今后的研究方向可考虑在面包配方中添加天然抗氧化剂,以减少营养成分的损失。

3.1.2 面条

De Moura等^[47]以脱脂亚麻籽粉(5%~15%)为原料制作意大利面,并对其制作工艺条件进行优化,结果表明添加10%脱脂亚麻籽粉的意大利面整体效果较好,可作为一种补充膳食纤维的来源,具有较高营养价值。面条的制作简单,食用方便,制作过程中要考虑到面条的弹韧性。亚麻籽粉颗粒与面粉相比较粗糙,添加后会削弱面粉筋结构的形成,这极大地限制了亚麻籽在此类食品中的应用。若将亚麻籽粉深度粉碎,又会造成大量营养物质(如亚麻籽油)的损失,为此可将亚麻籽营养成分进行提取浓缩,应用于产品制作中,这样既丰富了食品的营养,也可减少资源浪费。Kishk等^[46]以亚麻籽胶部分代替小麦粉制备面条,结果表明面条的蒸煮品质得到了提高,且口感较好,综合得分高。然而将亚麻籽营养成分进行提取浓缩,并应用于面条的相关应用较少,应加大对亚麻籽功能性成分提取方法的研究,充分发挥其营养成分,如亚麻籽蛋白、木脂素等的营养价值及功能。

3.1.3 馒头

亚麻籽可加入到馒头的制作中用以提高蛋白质、亚麻酸等成分含量,达到营养强化的目的。Zhu等^[48]的研究表明亚麻籽粉(添加量为2.5%、5%、10%、15%、20%)提高了馒头的体外抗氧化活性,同时降低了体外淀粉消化率及血糖指数。Hao等^[49]以亚麻籽皮提取物为原料制作馒头,研究其抗氧化能力及营养特性,结果表明馒头的植物化学成分含量及其抗氧化活性明显提高。由此可见,亚麻籽皮提取物可作为高附加值的功能性食品添加剂。然而,需要动物或临床试验进一步研究其在食品应用中的安全性。此外,亚麻籽皮对馒头品质的影响还需要进一步研究,以降低亚麻籽皮添加对口感等感官性能的不利影响。

3.1.4 松饼

Kaur等^[51]以亚麻籽粉(添加量为10%、20%、30%、40%)替代小麦粉制作松饼,亚麻籽粉的添加提高了松饼的香味、降低了甜味,添加10%亚麻籽粉未对松饼的感官特性产生不利影响。同时,亚麻籽粉的添加改善松饼营养成分比例,使其具有更高的抗氧化水平,可降低人体低密度脂蛋白胆固醇水平^[50]。与面包、馒头等产品相比,松饼的制作对面筋网络结构的要求相对较低,因此在感官品质可接受范围内,可以尽量增加亚麻籽的添加量,最大程度地提升产品的营养价值。

3.1.5 乳制品

研究表明,亚麻籽的添加对乳制品贮藏中的菌种活力有积极影响^[52]。Kristina等^[53]将亚麻籽油及亚麻籽粉添加到牛奶中,结果表明,添加亚麻籽油对嗜酸乳杆菌的生长无显著影响,且对其贮藏期间的生存能力有积极的影响,而添加亚麻籽粉对牛乳风味和品质不利。然而,添加亚麻籽粉对牛乳品质造成破坏的机制并不明确,有待进一步研究。但可以明确的是,可将亚麻籽油用来开发具有理想感官品质和营养属性的酸奶,并延长乳制品保质期。

3.1.6 肉制品

亚麻籽成分添加到肉制品中,可提高肉制品的营养价值。Bilska等^[54]以亚麻籽油及亚麻籽提取物(主要是SDG)替代动物脂肪,研究其对肝磷脂氧化稳定性的影响,结果表明,添加亚麻籽油可以增强肉制品的弹性、复水性,消除肉质淀粉感,提高肉制品咀嚼性以及贮存稳定性。以亚麻籽油代替动物脂肪制作肉制品,可显著提高多不饱和脂肪酸的含量,在一定程度上降低血胆固醇含量,从而降低冠心病、动脉粥样硬化等疾病发生的风险。此外,亚麻籽胶

具有较强的保水性能,将其用于肉制品加工具有独特的优势,应加强亚麻籽胶提取方法及其工艺优化方面的研究。

3.2 在其他方面的应用

亚麻籽及其营养成分除了在食品方面得到广泛应用外,在医药、化工等领域有所应用,合理利用亚麻籽制备保健产品、药品、化妆品等逐渐引起人们兴趣^[56]。亚麻籽经低温压榨制得的亚麻籽油具有优良的功能特性,可将亚麻籽油包埋在阿拉伯胶胶囊内,作为治疗胃肠功能障碍的药物成分^[2]。同时,由于亚麻籽油具有良好的渗透性,可以将其添加到特殊用途化妆品中,而提取亚麻籽油的副产品亚麻籽粕,可作为生产可生物降解化合物的功能性填料^[57],也可用于生产动物饲料^[58],提高亚麻籽资源的开发利用。总之,亚麻籽的各功能成分在医药、化工、饲料等领域具有巨大的应用潜力。

4 结束语

亚麻籽富含多种功能性成分,来源广泛,且成本相对低廉,在食品工业中的应用以及改善人体健康方面具有独特的优势。根据近年的研究,笔者认为对于亚麻籽的开发还有很大空间,可从几个方面进行深入探索:①应建立更加便捷高效的方法提取亚麻籽的功能性成分,同时深化对其成分的氧化稳定性研究,进一步开发相关产品;②对于亚麻籽的营养功能研究,主要集中于体外模拟和动物试验,其具体机制不十分明确,还需更多临床试验加以研究和验证;③过多添加亚麻籽易导致部分食品感官特性变差,还需改善加工工艺,提高营养的同时确保产品感官品质良好,以最大限度发挥其营养功能价值;④亚麻籽在食品行业的应用研究多以面包为主,应积极开发以亚麻籽成分为原料的传统主食及休闲食品。而且亚麻籽油及亚麻籽胶具有良好的亲和力和保湿性能,可积极开发以亚麻籽功能性成分为主要原料的护肤产品。此外,还可充分利用亚麻籽粕制作动物性饲料,实现亚麻籽资源综合利用,拓展其在食品、医药、化工等行业的应用。

参考文献:

- [1] DZUVOR C, TAYLOR J T, ACQUAH C, et al. Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed[J]. *Molecules*, 2018, 23(10): 2444.
- [2] KAJLA P, SHARMA A, SOOD D R. Flaxseed—a potential functional food source[J]. *J Food Sci Tech*, 2015, 52(4):1857–1871.
- [3] SINGH K K, MRIDULA D, REHAL J, et al. Flaxseed: a potential source of food, feed and fiber[J]. *Crit Rev Food Sci*, 2011, 51(3):210–222.
- [4] 林凤英,林志光,邱国亮,等. 亚麻籽的功能成分及应用研究进展[J]. *食品工业*, 2014, 35(2):220–223.
- [5] BHARGAVI G, RAO P N, RENGANATHAN S. Review on the extraction methods of crude oil from all generation bio-fuels in last few decades[J]. *Mat Sci Eng*, 2018, 330: 012024.
- [6] SHIM Y Y, GUI B, WANG Y, et al. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil processing and selected products[J]. *Trends Food Sci Tech*, 2015, 43(2):162–177.
- [7] GAO Y, WANG N, XU L, et al. A novel process for the aqueous extraction of linseed oil based on nitrogen protection[J]. *J Food Sci Tech*, 2015, 9(8): 606–613.
- [8] GUTTE K B, SAHOO A K, RANVEER R C. Effect of ultrasonic treatment on extraction and fatty acid profile of flaxseed oil[J]. *OCL*, 2015, 22(6): D606.
- [9] ZANQUI A B, DE MORAIS D R, DA SILVA C M, et al. Subcritical extraction of flaxseed oil with *n*-propane: composition and purity[J]. *Food Chem*, 2015, 188:452–458.
- [10] 崔宝玉,刘喆,阚侃,等. 亚麻油提取工艺的研究进展[J]. *中国麻业科学*, 2010, 32(4):238–241.
- [11] CASTEL V, ANDRICH O, NETTO F M, et al. Comparison between isoelectric precipitation and ultrafiltration processes to obtain *Amaranth mantegazzianus* protein concentrates at pilot plant scale[J]. *J Food Eng*, 2012, 112(4):288–295.
- [12] KARAMAC M, KOSINSKA-CAGNAZZO A, KULCZYK A. Use of different proteases to obtain flaxseed protein hydrolysates with antioxidant activity[J]. *Int J Mol Sci*, 2016, 17(7): 1027.
- [13] HADNADJEV M, DAPCEVIC-HADNADJEV T, POJIC M, et al. Progress in vegetable proteins isolation techniques; a review[J]. *Food Feed Res*, 2017, 44(1):11–21.
- [14] FARRAN A, CAI C, SANDOVAL M, et al. Green solvents in carbohydrate chemistry: from raw materials to fine chemicals[J]. *Chem Rev*, 2015, 115(14):6811–6853.
- [15] 徐晓飞,陈健. 多糖含量测定的研究进展[J]. *食品科学*, 2009, 30(21):443–448.
- [16] PLAZA M, TURNER C. Pressurized hot water extraction of bioactives[J]. *Trend Anal Chem*, 2015, 71:39–54.
- [17] RASHID F, AHMED Z, HUSSAIN S, et al. *Linum usitatissimum* L. seeds: flax gum extraction, physicochemical and functional characterization[J]. *Carbohydr Polym*, 2019, 215:29–38.
- [18] MOCZKOWSKA M, KARP S, NIU Y, et al. Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed—a physicochemical approach[J]. *Food Hydrocolloid*, 2019, 90:105–112.
- [19] PERRETTI G, VIRGILI C, TROILO A, et al. Supercriti-

- cal antisolvent fractionation of lignans from the ethanol extract of flaxseed[J]. *J Supercrit Fluid*, 2013, 75:94 – 100.
- [20] 杨宏志. 亚麻籽脱毒和木脂素提取工艺研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [21] ELIASSON C, KAMAL – ELDIN A, ANDERSSON R, et al. High – performance liquid chromatographic analysis of secoisolariciresinol diglucoside and hydroxycinnamic acid glucosides in flaxseed by alkaline extraction[J]. *J Chromatogr A*, 2003, 1012(2):151 – 159.
- [22] MALOMO S A, ALUKO R E. A comparative study of the structural and functional properties of isolated hemp seed (*Cannabis sativa* L.) albumin and globulin fractions[J]. *Food Hydrocolloid*, 2015, 43:743 – 752.
- [23] GUTIÉRREZ C, RUBILAR M, JARA C, et al. Flaxseed and flaxseed cake as a source of compounds for food industry[J]. *J Soil Sci Plant Nutr*, 2010, 10(4):454 – 463.
- [24] RADOŠEVIĆ K, ĆURKO N, GAURINA SRČEK V, et al. Natural deep eutectic solvents as beneficial extractants for enhancement of plant extracts bioactivity[J]. *LWT – Food Sci Technol*, 2016, 73:45 – 51.
- [25] LIU J, SHIM Y Y, TSE T J, et al. Flaxseed gum a versatile natural hydrocolloid for food and non – food applications[J]. *Trends Food Sci Tech*, 2018, 75:146 – 157.
- [26] KOUR J, SINGH S, CHANDRA SAXENA D. Nutraceuticals from barley flour, flaxseed and rice bran oil – extraction, chromatographic analysis, microbiological analysis and pesticide estimation [J/OL]. *J Food Process Pres*, 2018, 42(11): e13777 [2019 – 07 – 01]. <http://doi.org/10.1111/ifpp.13777>.
- [27] 杨雪艳, 聂开立, 林凤, 等. 亚麻籽功能成分的综合提取工艺研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42(1):116 – 120,124.
- [28] OPYD P M, JURGONSKI A, JUSKIEWICZ J, et al. Comparative effects of native and defatted flaxseeds on intestinal enzyme activity and lipid metabolism in rats fed a high – fat diet containing cholic acid [J]. *Nutrients*, 2018, 10(9): 1181.
- [29] GUNNESS P, GIDLEY M J. Mechanisms underlying the cholesterol – lowering properties of soluble dietary fiber polysaccharides[J]. *Food Funct*, 2010, 1(2):149 – 155.
- [30] SOLTANIAN N, JANGHORBANI M. A randomized trial of the effects of flaxseed to manage constipation, weight, glycemia, and lipids in constipated patients with type 2 diabetes[J]. *Nutr Metab*, 2018, 15(1): 36.
- [31] 林非凡, 谭竹钧. 亚麻籽油中 α – 亚麻酸降血脂功能研究[J]. *中国油脂*, 2012, 37(9):44 – 47.
- [32] PARIKH M, RAJ P, AUSTRIA A, et al. The effects of dietary flaxseed on cardiac function in rats after myocardial infarction[J]. *J Mol Cell Cardiol*, 2018, 124:96.
- [33] RODRIGUEZ – LEYVA D, WEIGHELL W, EDEL A L, et al. Potent antihypertensive action of dietary flaxseed in hypertensive patients[J]. *Hypertension*, 2013, 62(6): 1081 – 1089.
- [34] PAMPLONA – SILVA M T, MORANDI W V, BERNARDI L, et al. Brown flaxseed prevents DNA damage induced by 1,2 – dimethylhydrazine in a pre – clinical model [J/OL]. *Braz Arch Biol Technol*, 2018, 61: e18180303 [2019 – 07 – 01]. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2018180303>.
- [35] CALADO A, NEVES P M, SANTOS T, et al. The effect of flaxseed in breast cancer: a literature review[J]. *Front Nutr*, 2018, 5: 4.
- [36] DELUCA J A A, GARCIA – VILLATORO E L, ALLRED C D. Flaxseed bioactive compounds and colorectal cancer prevention[J]. *Curr Oncol Rep*, 2018, 20(8): 59.
- [37] BOLGER Z, BRUNTON N P, MONAHAN F J. Impact of inclusion of flaxseed oil (pre – emulsified or encapsulated) on the physical characteristics of chicken sausages [J]. *J Food Eng*, 2018, 230:39 – 48.
- [38] ĆUKELJ N, NOVOTNI D, SARAJLIJA H, et al. Flaxseed and multigrain mixtures in the development of functional biscuits[J]. *LWT – Food Sci Technol*, 2017, 86: 85 – 92.
- [39] PARK B G, LEE S Y. Quality and antioxidant properties of sponge cake added with flaxseed powder[J]. *Culinary Sci Hospital Res*, 2017, 23(3):207 – 215.
- [40] DE AGUIAR A C, BOROSKI M, MONTEIRO A R G, et al. Enrichment of whole wheat flaxseed bread with flaxseed oil[J]. *J Food Process Pres*, 2011, 35(5):605 – 609.
- [41] MARPALLE P, SONAWANE S K, ARYA S S. Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread[J]. *LWT – Food Sci Technol*, 2014, 58(2): 614 – 619.
- [42] MENTES Ö, BAKKALBASSI E, ERCAN R. Effect of these of ground flaxseed on quality and chemical composition of bread[J]. *Food Sci Technol Int*, 2008, 14(4): 299 – 306.
- [43] SECZYK L, SWIECA M, DZIKI D, et al. Antioxidant, nutritional and functional characteristics of wheat bread enriched with ground flaxseed hulls [J]. *Food Chem*, 2017, 214:32 – 38.
- [44] KORUS J, WITCZAK T, ZIOBRO R, et al. Linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage as a novel structure forming agent in gluten – free bread [J]. *LWT – Food Sci Technol*, 2015, 62(1):257 – 264.
- [45] YUKSEL F. Investigation of certain nutritional properties of noodle enriched with raw flaxseed[J]. *Qual Assur Saf Crop*, 2019, 11(2):183 – 189.

- [46] KISHK Y F M, ELSHESHETAWY H E, MAHMOUD E A M. Influence of isolated flaxseed mucilage as a non-starch polysaccharide on noodle quality[J]. *Int J Food Sci Tech*, 2011, 46(3):661-668.
- [47] DE MOURA C M A, SOARES JÚNIOR M S, FIORDA F A, et al. Cooking and texture properties of gluten-free fettuccine processed from defatted flaxseed flour and rice flour[J]. *Int J Food Sci Tech*, 2016, 51(6):1495-1501.
- [48] ZHU F, LI J. Physicochemical properties of steamed bread fortified with ground linseed (*Linum usitatissimum*) [J]. *Int J Food Sci Tech*, 2018, 54(5):1670-1676.
- [49] HAO M, BETA T. Development of Chinese steamed bread enriched in bioactive compounds from barley hull and flaxseed hull extracts[J]. *Food Chem*, 2012, 133(4):1320-1325.
- [50] SANTIAGO A, RYLAND D, CUI S, et al. Effect of milled flaxseed and storage conditions on sensory properties and selected bioactive compounds in banana and cinnamon muffins used in a clinical trial[J]. *J Sci Food Agric*, 2019, 99(2):831-843.
- [51] KAUR R, KAUR M. Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed[J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2018, 91:278-285.
- [52] MOUSAVI M, HESHMATI A, GARMAKHANY A D, et al. Optimization of the viability of *Lactobacillus acidophilus* and physico-chemical, textural and sensorial characteristics of flaxseed-enriched stirred probiotic yogurt by using response surface methodology[J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2019, 102:80-88.
- [53] KRISTINA B, IRENA N, JAN K, et al. Influence of flaxseed components on fermented dairy product properties [J]. *Czech J Food Sci*, 2018, 36(1):51-56.
- [54] BILSKA A, WASZKOWIAK K, BLASZYK M, et al. Effect of liver pate enrichment with flaxseed oil and flaxseed extract on lipid composition and stability[J]. *J Sci Food Agric*, 2018, 98(11):4112-4120.
- [55] WANDERSLEBEN T, MORALES E, BURGOSDÍAZ C, et al. Enhancement of functional and nutritional properties of bread using a mix of natural ingredients from novel varieties of flaxseed and lupine[J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2018, 91:48-54.
- [56] WANG H, WANG J, QIU C, et al. Comparison of phytochemical profiles and health benefits in fiber and oil flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.) [J]. *Food Chem*, 2017, 214:227-233.
- [57] MYSIUKIEWICZ O, BARCZEWSKI M. Utilization of linseed cake as a postagricultural functional filler for poly(lactic acid) green composites[J]. *J Appl Polym Sci*, 2019, 136(10):47152.
- [58] HEAD B, BIONAZ M, CHERIAN G. Flaxseed and carbohydrase enzyme supplementation alters hepatic *n-3* polyunsaturated fatty acid molecular species and expression of genes associated with lipid metabolism in broiler chickens [J]. *J Vet Sci*, 2019, 6:25.

(上接第73页)

参考文献:

- [1] 王斌,王开良,童杰洁,等.我国油茶产业现状及发展对策[J]. *林业科技开发*,2011,25(2):11-15.
- [2] 李远发,胡灵,王凌晖.油茶资源研究利用现状及其展望[J]. *广西农业科学*,2009,40(4):450-454.
- [3] 郭华,周建平,罗军武,等.茶籽油的脂肪酸组成测定[J]. *中国油脂*,2008,33(7):71-73.
- [4] 龙伶俐,薛雅琳,张东,等.油茶籽油主要特征成分的研究分析[J]. *中国油脂*,2012,37(4):78-81.
- [5] PREEDY R V, WATSON R R, PATEL V. Nuts and seeds in health and disease prevention[M]. London, Burlington, San Diego: Academic Press, 2011:1115-1122.
- [6] SNYDER J M, FRANKEL E N, SELKE E. Capillary gas chromatographic analyses of headspace volatiles from vegetable oils[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1985, 62(12):1657-1679.
- [7] 王萍,张银波,江木兰.多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. *中国油脂*,2008,33(12):42-46.
- [8] 刘世鹏,周伯川.油茶籽的开发利用[J]. *中国油脂*, 1996,21(4):39-42.
- [9] 谭传波,赖琼玮,杨耀学,等.鲜榨油茶籽油提取工艺研究[J]. *中国油脂*,2018,43(8):12-14.
- [10] 谭传波,田华,赖琼玮,等.不同工艺山茶油中生物活性物质含量的比较[J]. *中国油脂*,2018,43(12):41-44.
- [11] 谭传波,田华,周刚平,等.鲜榨山茶油与特级初榨橄榄油营养价值的比较[J]. *中国油脂*, 2019, 44(1):67-69.