

苹果渣可溶性膳食纤维的研究进展

杨 辉,任雁宇,王 涛

(陕西科技大学 食品与生物工程学院,陕西 西安 710021)

摘要:可溶性膳食纤维(SDF)是苹果中的一种重要营养成分,对人体具有多种营养保健功能,在食品及其他行业中都具有很大的发展潜力。论述了苹果渣 SDF、AP 和聚葡萄糖的组成、性质、生物活性,对 SDF、AP 和聚葡萄糖的提取方法做了阐述并提出工艺优缺点,论述了苹果渣 SDF 的脱色、改性等方法的研究进展,并对苹果渣膳食纤维加工技术的发展及应用进行了展望。

关键词:苹果渣;膳食纤维;苹果果胶;聚葡萄糖;生物活性

中图分类号:S 661.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)05-0061-07

Progress in soluble dietary fiber from apple pomace

YANG Hui, REN Yan-yu, WANG Tao

(College of Food and Biological Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an Shaanxi 710021)

Abstract: Soluble dietary fiber (SDF) is one of the important nutrients in apple, which has a variety of wholesome function to human body and great potential for development in the food and other industries. The composition, properties, biological activity and extraction of SDF, pectin and polydextrose in apple pomace, and the advantages and disadvantages of the technology were discussed. The research progress in the methods of decolorization and modification of SDF in apple pomace was summarized. The application and process development of the apple SDF were prospected.

Key words: apple pomace; dietary fiber; apple pectin; polydextrose; bioactivity

我国是苹果生产大国,据美国农业部数据显示,2010 年全球苹果产量为 5 921 万 t,而我国苹果产量为 3 326 万 t,占全球总产量的 56% 左右。苹果除 71% 的用来鲜食外,其余大约 20% 用来生产果汁、苹果酒、果酱等^[1]。一般生产 1 t 浓缩果汁需要 7.3 t 苹果,这就会产生大量的苹果渣,苹果渣含有 10.8% 的水分、0.5% 的灰分和 51.1% 的膳食纤维^[2],不仅是纤维和多酚类物质的丰富来源,也可以利用其抗氧化性质来预防疾病。充分利用并提取苹果渣中有效成分,可避免因苹果渣大量腐烂造成的环境污染与资源浪费。日本、新西兰等国早在上世纪初就开始研究利用苹果渣生产膳食纤维^[3],我国对苹果渣膳食纤维的研究始于上个世纪中叶。目前,苹果渣的综合利用主要包括:生产饲料、苹果粉、酿造果醋以及提取其中营养成分(膳食纤维、柠檬酸和天然香精等),如常大伟等^[4]利用超声波辅助

酸液法提取苹果渣中的营养成分果胶。但由于技术的限制,苹果渣只有少部分被利用,大部分还是作为废弃物被处理掉。因此,研究充分有效利用苹果渣的途径已成为当务之急。

1 苹果渣膳食纤维的理化性质和生理功能

膳食纤维(dietary fiber, DF)一词在 1953 年由 Hipsley 提出,在第 26 届 CCFDU 会议中得到完善,即:小肠内不能消化吸收,聚合度不小于 3 的碳水化合物。膳食纤维(dietary fiber, DF)是一种植食性成分,除了纤维素、半纤维素、果胶及亲水胶体物质如树胶、海藻多糖等天然纤维素组分外,还包括一些人工合成的,如聚葡萄糖等,被称为是人类的“第七大营养素”。膳食纤维可分为可溶性膳食纤维(SDF)和不溶性膳食纤维(IDF)。其中,SDF 是指不能被人体消化道酶分解,但可溶于温水或热水,并能被一定浓度的乙醇再沉淀出来的膳食纤维,主要是一些胶类,如果胶、树胶、阿拉伯胶等;IDF 是指不被人体消化道酶水解的,又不溶于热水的膳食纤维,如纤维素、半纤

收稿日期:2015-03-17

基金项目:陕西科技大学学术带头人团队基金(2013XSD19)

作者简介:杨辉,1960 年出生,男,陕西西安人,教授。

纤维素、壳聚糖、植物蜡等。苹果膳食纤维包括 SDF 和 IDF,一般为非晶性,无甜味,溶于酸、碱或盐溶液,不溶于乙醇、丙酮、正丁醇、乙醚、乙酸乙酯等有机溶剂,其中 SDF 对人具有多种保健功能^[5-6],所以研发制备 SDF 的方法具有一定的实际价值。

苹果渣 SDF 的分子链主要由不同的单糖分子构成,其在排列上和空间上的变化形成了不同的大分子物质,赋予了 SDF 特别的理化性质和生理功能。其生物理化性质主要包括:吸水溶胀、机械隔离、网孔吸附、离子交换及菌群调节作用等;生理功能主要有:SDF 具有碳水化合物性质,可有效防治结肠癌;可影响糖代谢和脂代谢进而调节血糖;可显著降低胆固醇的吸收率和胆汁酸的重吸收率,起到降血脂作用;可增加饱腹感达到减肥目的;可促进肠道蠕动帮助消化。此外,SDF 还有其它生理功能,如抗炎、抗氧化^[7]等。

2 苹果渣膳食纤维研究进展

2.1 苹果渣可溶性膳食纤维(SDF)的制取方法

苹果渣 SDF 是苹果细胞壁的一种重要基本多糖,不同的提取方法或改性手段得到的 SDF 在理化生物活性上具有较大差异^[8]。SDF 的提取方法主要有化学法、物理法、生物法。

苹果渣 SDF 目前的提取工艺流程为:苹果渣→粉碎→预处理→干燥→称取干燥样品→加水调节 pH→预定方法提取滤液→醇沉→沉淀物干燥→SDF。

即先将干苹果渣粉碎,过 40 目筛备用。称取一定量的苹果渣,按预定方法处理,除去其中的游离糖分、脂肪、淀粉等成分后干燥。称取一定量的干燥样品根据预定方法提取所需滤液,经醇沉、干燥等过程后得到 SDF。

2.1.1 化学法

化学法主要是将原料干燥磨碎,采用 NaOH、Na₂CO₃、Ca(OH)₂、HCl 等化学试剂,提取制备纤维素的方法,其中以酸水解法最为简单,环节易于操控。丁晨阳等^[9]以苹果渣为原料,利用酸水解法提取 SDF,并借助响应面设计分析,最终确定当盐酸质量浓度为 2.0%,料液比为 1:17 g/mL,在 78.2 °C 浸提 65 min 时 SDF 的提取率可达到 17.68%。化学法提取的 SDF 具有一定量的蛋白质和淀粉等杂质,会破坏提取的 SDF 而且污染环境,因此,还需要一定程度的改善。

2.1.2 物理法

物理法一般包括微波技术、水浴法及超声波法。

微波技术具有选择性强、操作时间短、产物杂质少、易于提纯等特点,近年来被广泛用于食品、制药、化工等行业。微波在传递过程中遇到不同的物料会根据其性质的不同而产生反射、穿透、吸收等不同现象。在快速振动的微波电磁场中,被辐射的极性物质分子吸收电磁能,产生大量热能。甄红伟等^[10]采用微波技术提取 SDF,并对生产工艺进行优化,确定微波法提取苹果渣 SDF 的影响因素次序是:料液比 > 火力 > 时间 > pH,最适宜的提取条件为:料液比 1:20 g/mL,时间为 2 min,微波火力为小火(功率 540 W),pH 6.0,该条件下产率可达 13.6%。该方法可为果渣的开发利用提供理论依据。

利用微波辅助来提高萃取效率是新发展的一种技术。在微波辅助提取过程中,微波会对样品和溶剂同时加热,使提取物在短时间内溶解,缩短提取时间^[11]。利用微波辅助提取苹果渣 SDF,可加快酸碱水解苹果渣组织,缩短 SDF 的提取时间,充分利用果渣资源。刘素稳等^[12]探讨了微波辅助化学法提取 SDF 的工艺条件,结果表明微波—碱法制备 SDF 的最佳工艺条件是:料液比 1:65 g/mL,pH 11.5,微波功率 480 W,微波辐射时间 120 s,SDF 得率为 20.98%;微波—酸法制备 SDF 的最佳工艺条件是:料液比 1:65 g/mL,pH 1.5,输出功率 800 W,微波辐射时间 100 s,SDF 得率为 19.84%,相比酸提取法,SDF 的提取时间由 60 min 缩短为 2 min。相比于单纯使用化学法或微波法,微波辅助化学法不仅能缩短提取时间,还能在一定程度上提高 SDF 的产率。

超声波提取法是一种利用超声波在液体中产生空化效应对作用物产生机械作用,从而使大分子达到机械性断键效果的技术,因为能够增大溶剂原料细胞的渗透量并破坏细胞壁,强化传质,有效加速溶质的提取过程,与传统工艺相比较,具有提取时间短、提取效率高等优点^[13]。高悦等^[14]利用水浴法和超声法分别制备了苹果渣 SDF,水浴法优化工艺条件为水浴温度 80 °C、pH 5、料液比 1:20 g/mL、时间 90 min,苹果渣 SDF 得率为 12.76%;超声波法优化工艺条件为温度 60 °C、pH 5、料液比 1:20 g/mL、时间 45 min、超声功率 225 W,苹果渣 SDF 得率 14.14%。研究表明:水浴法虽比超声法能更快的水解苹果组织,但会破坏苹果渣纤维表面的微结构。这两种方法对 SDF 的提取都有一定的参考价值。

物理法制备苹果渣 SDF 简单易行,产物易于提纯,但对设备要求较高,费用相对昂贵,难以实现大规模生产。

2.1.3 生物法

生物法一般分为酶法与发酵法。

纤维素酶可以酶解 IDF 得到半纤维素、聚葡萄糖等可溶性多糖,同时大分子被分解成较小分子的 SDF 并得到释放,因此,酶法可提高 SDF 的产率。牟建楼等^[15]以苹果渣为原料,研究纤维素酶法提取苹果渣 SDF,并优化其工艺条件,最终确定在纤维素酶用量 0.67%、缓冲液 pH 5.55、酶解时间 1.9 h、酶解温度 45 °C 条件下,SDF 的最高提取率为 17.50%;付成程等^[16]采用 X-cell 纤维素酶提取苹果渣 SDF,优化后的工艺条件为:酶用量 75 U/g,温度 50 °C,pH 4.6,酶解时间 5 h,SDF 提取率可达 18.90%。相比于牟建楼等的研究,本研究虽然产率高,但时间长、温度高、耗能多。

半纤维素酶可促使纤维素、半纤维素分解,引起植物细胞壁溶解,使植物细胞内容物释放出来,并将不易消化的大分子多糖、蛋白质、脂类降解为小分子物质,进而提高 SDF 的含量和品质^[17]。薛战锋等^[18]用半纤维素酶提取苹果渣 SDF,在 pH 4.6、温度 50 °C、酶加量 90 U/g、酶作用时间 5 h 条件下,提取率达 18.97%。此外,通过木聚糖酶酶解 IDF,可提取高活性的 SDF^[19]。

发酵提取法是指采用保加利亚杆菌、嗜热链球菌等菌种对苹果渣进行发酵后提取 SDF 的方法。王静等^[20]以黑曲霉为发酵菌种,得到最佳提取工艺条件为:起始 pH 6.0、接种量 10% (wt)、料液比为 1:20 g/mL、发酵时间 96 h,制备的 SDF 含量可达 24.11%。与化学法相比,发酵法虽需较长时间,但无需添加相应酸碱试剂,因此提取的膳食纤维不会残留大量化学离子,与以上其他方法相比,发酵法在提高产率上占较大优势。

持水力与膨胀力是评定 SDF 品质的重要指标,酶法制得的可溶性膳食纤维的持水力和膨胀力比微波法制得的优越^[21]。通过以上对比可知,酶法相比于物理和化学法,更具有发展前景。

2.2 苹果果胶(AP)的提取

苹果果胶(AP)是 SDF 的一种,在食品工业中可作为胶凝剂、乳化稳定剂、增厚剂,在医学上有降血脂等重要用途。苹果果胶的提取工艺流程如下:

苹果渣预处理→预定方法提取→过滤→浓缩→脱色处理→分离→纯化→冷冻干燥→成品(AP)。

AP 的提取方法主要有化学法、物理化学法、酶法。由于提取方法和来源的不同,在文献中 AP 的确切结构尚未达成共识^[22]。

苹果果胶(AP)的来源和提取条件对其生化特性及聚合度都有显著影响,一般提取条件是 pH 值 1.5 ~ 3、温度 60 ~ 100 °C、时间 0.5 ~ 6 h^[23-24]。Canteri - Schemin^[25]等以苹果渣干粉为原料,用浓度为 6.2 g/100 mL 的柠檬酸提取 AP,反应 153 min,可以得到酯化度 DE 为 68.84% 的产物,产物粒度大小表征在 106 ~ 250 μm 之间,表明 AP 提取成功。Marcon^[26]等用质量分数为 5% 的柠檬酸做萃取剂从苹果渣中提取 AP,分别在 30、50、80 min 和 50、75、100 °C 下提取,经过研究得到最佳提取条件是在 100 °C 下提取 80 min,AP 产量达到 16.8%。曲昊杨^[27]等以苹果渣为原料,在最佳工艺条件下,即温度 95 °C、提取时间 120 min、料液比 1:20 g/mL、提取水解体系 pH 1.5,高酯 AP 得率为 6.07%,用碱法对产物进行脱脂后低酯 AP 得率为 5.14%。

利用超声波提取 AP,超声波的空化效应使液体介质中产生几千到上万个大气压强并作用于样品产生强烈撞击,使其中不属于基体结构的 AP 分离出来,实现对 AP 的有效浸取。岳贤田^[28]利用超声波提取 AP,最佳工艺条件为:盐酸 pH 值 1.8,用水作为溶剂,料液比为 1:20,超声波功率 600 W,超声波辐射时间 40 min,乙醇浓度 60%,AP 提取率可达 12.9%。对 AP 施加超声波后,AP 的分子量会显著降低,甲基化程度也会降低,但是不会影响 AP 的分子结构^[29]。Wang S^[30]等用微波辅助法从干苹果渣中提取 AP,研究得到最佳提取工艺条件为提取时间 20.8 min、pH 值 1.01、料液比为 0.069、微波功率 499.4 W,从 2 g 苹果渣中得到 0.315 g AP,达到 AP 预测提取率的最佳效果,且大大缩短了提取时间。

市售的 Multicatalytic 酶制剂,能从丰富的植物细胞壁中的纤维素与半纤维素中释放果胶,能有效替代无机酸来提取果胶且方法简单有效。Wikiera 等人^[31]以苹果渣为原料,利用 Celluclast 和 Viscoferm 两种酶代替常规无机酸来萃取 AP,得率分别是 18.95% 和 17.86%,显著高于酸法提取(14.52%);并发现 Celluclast 和 Viscoferm 用于苹果渣原料,可以完整、温和地提取含有丰富的阿拉伯糖、鼠李糖等聚合物,这种方法有效地避免了酸法提取 AP 的高温、低 pH 和彻底解体原材料的不利条件。化学提取的 AP 酯化率(58%)^[32]低于物理酶法结合提取的 AP 酯化率(69%)^[32],这也可以由 FT-IR 分析得到证实;在稳剪切流变条件下,以上两种方法都表现出剪切稀化性质,而物理酶法组合提取的 AP 在高剪切速率条件下表现出较差的弹性,这可

能是由于多个甲基的存在限制了聚合物链的相互作用^[32]。

酶法制得的 AP 结构较复杂,不易完全溶解,Wikiera^[33]等针对此问题进行了研究,发现用木聚糖酶和 Multicatalytic 制得 AP 后,用 2 mol/L 的 TFA (不饱和脂肪酸)酸在 120 °C 下育温 2.5 h 后,聚半乳糖醛完全水解,再用 2mol/L 的 TFA 酸在 100 °C 下溶解 2.5 h,中性糖完全水解,可得到单体糖。Naghshineh^[34]等用不同浓度的纤维素和木聚糖酶在 100 Mpa 和 200 Mpa 下提取 AP,并对不同条件下的产物理化性质进行比较研究,得出施加压力后酶法提取 AP 产量显著增加,且不会对 AP 的质量产生任何影响。相比于其它方法,酶法提取的 AP 具有更高的分子量。

从苹果渣中提取 AP 易发生氧化而褐变,严重影响了 AP 的感官特性和适用范围。Rha^[35]等针对此现象的实验研究发现从苹果渣中提取 AP 后,用 hydroxamation 进行改性,可以提高 AP 的抗氧化性作用,从而防止 AP 发生褐变。Schieber A^[36]等用疏水性苯乙烯—二乙烯基苯共聚物对苹果渣进行处理得到干苹果渣,再用稀释的无机酸吸附酚类成分后用乙醇洗脱,回收多酚,苹果渣被处理后对提取的 AP 凝胶性能无影响,回收的多酚可作为天然的抗氧化剂或功能性食品组分。这种方法不仅可改善 AP 提取的褐变问题,而且可获得精制的 AP。

AP 的化学特性依赖于其纯化过程,Emaga T H^[37]等分别用酪蛋白酸钠和乙醇纯化 AP,纯化后 AP 的物理化学特性用等温滴定量热法(ITC)在不同的 pH 值下进行评价,研究发现:在 pH 为 3 和 3.5 时,酪蛋白酸钠与 AP 存在相互作用,pH 为 2 时这种作用不存在,这种相互作用表现为静电相互作用和凝聚机制;一定条件下乙醇纯化果胶时常伴随着其它物质的析出,纯度较差,但是,相对于酪蛋白酸钠,它能使提取的 AP 全部析出,且为中性 AP;此外,酪蛋白酸钠纯化的 AP 与乙醇纯化的 AP 相比具有更好的物理化学性质,如乳化剂与稳定性等,但纯化过程需要大量的酪蛋白酸钠试剂。

2.3 聚葡萄糖的制备

聚葡萄糖是由葡萄糖和少量的山梨醇、柠檬酸经高温熔融缩聚而成,属于 SDF 的一种,具有低热量、无糖、益生元的特性等特点。聚葡萄糖主要由 α -1,6 糖苷键连接,难以被人体消化吸收,具有调节肠道微生物环境、通便、预防肠道疾病等生理功能,可作为一种功能型食品添加剂。

聚葡萄糖生产工艺流程:聚葡萄糖生产原料→混合→真空热熔缩聚→溶解→纯化→乙醇沉淀→真空干燥→粉碎→成品。

传统的聚葡萄糖生产工艺分为三步:聚合→溶液中和、脱色→溶剂蒸发、干燥,该方法存在生产程序复杂、产品纯度和色泽不稳定等缺点。陈子昂^[38]等针对这个问题提出了一步制备法,即利用搅动的反应体系,将聚合、中和、脱色、干燥放在一个反应器中进行,得到的产品其纯度、色泽及主要质量指标均优于三步法,且简化了生产程序,降低了生产成本。目前生产聚葡萄糖均采用一步合成法,万茵^[39]等对聚葡萄糖合成工艺进行研究,为使反应物全部溶解充分反应,又避免发生焦糖化影响反应结果,将实验的温度控制在 130~160 °C 之间,真空度控制在 1~20 mmHg 之间,经过实验研究确定最佳合成条件为 130~140 °C、1.5 h,产品纯化后聚葡萄糖含量大于 90%,残余葡萄糖含量小于 2%,溶液黏度稍高于蔗糖溶液。万里^[40]研究了温度、反应时间等对原料转化率和分子量的影响,得到的优化条件为 125~135 °C、反应 1.5 h。张泽生^[41]等对聚葡萄糖的合成工艺进行了研究,以合成产物中还原糖含量为检测指标,确定最佳工艺参数为搅拌速率 90 r/min、真空度 101 kPa、反应温度 170 °C、反应时间 50 min、柠檬酸用量 0.7%、山梨醇 11.8%,得到的聚葡萄糖中还原糖含量低于 2%,产品色泽较浅,口感良好。

一步合成法生产工艺存在反应产物在干燥最后阶段会发泡膨化、体积膨胀等缺陷,生产效率较低。高质量的聚葡萄糖产品要求 pH 值趋于中性、含糖量小于 0.5%,以适应无糖产品生产或不发生美拉德反应(Maillard Reaction)的生产需要。可达到无糖标准的聚葡萄糖是氢化聚葡萄糖(氢化聚葡萄糖是通过催化剂氢化法将聚葡萄糖中的糖转化为山梨醇从而达到无糖标准,是丹尼斯克公司的专利)。目前国内生产聚葡萄糖的大企业只有两三家,且年产量只有上千吨,远远达不到市场需求;同时也没有聚葡萄糖含量的测试标准,是以国际上通行的美国 FDA 规定的 FCC 方法作为测试标准。

目前,聚葡萄糖作为食品添加剂已得到广泛应用。聚葡萄糖在低酸环境下较稳定,可添加在乳酸饮品中,提供良好的口感;聚葡萄糖十分耐热,可作为蔗糖和油脂的替代品,能延缓淀粉老化,保持水分,提供较好的质构和口感,适于加工低糖、低脂的焙烤食品,如可用于生产高膳食纤维的面包、蛋糕和饼干等焙烤食品;聚葡萄糖的溶解度和劲度都很高,

能用来代替糖制造低糖无糖的硬糖和橡皮糖,而口感与传统糖果无异;另外,聚葡萄糖还可以用于其它食品中,改善食品结构,强化营养功能。

2.4 苹果渣膳食纤维(DF)的脱色技术

利用苹果渣提取 SDF 和 AP 时,果渣中多酚物质被氧化易发生褐变,不仅降低了 SDF 和 AP 的感官特性而且限制了它们的使用范围。因此,在提取产物前必须先对苹果 DF 进行脱色处理。脱色过程实质上是氧化剂或还原剂使有色物质分解、转化为无色物质的过程。目前,通常使用还原法和氧化法。氧化法可使有色物质氧化分解成低羧酸、CO₂、分子醛等物质。常用的氧化脱色剂有次氯酸盐、O₃、H₂O₂和 O₂。还原法脱色后的产物易被氧化复色,本文主要介绍氧化法。

2.4.1 超声波辅助 O₃脱色技术

利用超声技术,一方面使 O₃ 均匀分散在溶液中,强化 O₃ 与 DF 的接触;另一方面通过超声促进 O₃ 产生更多的·OH 自由基,使 DF 的呈色物质氧化分解,从而达到脱色目的。李蕊岑等^[42]利用此方法对苹果渣 DF 进行脱色处理,得出影响脱色效果因素主次顺序是:碱液浓度 > 超声频率 > O₃ 发出量 > 料液比,优化后的工艺条件是:脱色时间 5 h,料液比 1:25 g/mL, O₃ 发出量 15 g/h, 超声频率 70 kHz, 碱液浓度 6%, 最终 DF 的 L(白度)值可达 80.11, 与单纯使用双氧水相比,该方法解决了溶剂残留的问题,脱色效果显著。

2.4.2 超声波或微波辅助 H₂O₂脱色技术

利用超声波使 H₂O₂ 均匀分散在溶液中,强化其与 DF 的接触,促进 H₂O₂ 产生更多的活性物质 HOO⁻, 使 DF 的呈色物质氧化分解,从而达到脱色目的。陈雪峰等^[43]对苹果 DF 进行脱色处理,确定了脱色过程影响因素的主次顺序为:碱液浓度 > 脱色时间 > H₂O₂ 浓度 > 料液比 > 超声频率,最佳工艺条件为:脱色时间 45 min, 料液比 1:15 g/mL, H₂O₂ 浓度 1.3%, 超声频率 60 kHz, 碱液浓度 1.3%, 最终 L(白度)值可达 80.79。刘素稳等^[44]将微波加热技术应用用于 H₂O₂ 脱色工艺中,优化后的工艺条件为:pH 12.5, 微波作用时间 48 s, 双氧水浓度 9.17%, 料液比 1:14 g/mL, 微波功率 480 W, 脱色后的白度为 57.34%, 脱色前原料白度为 27.54%, 脱色效果显著。微波辅助时虽然可提高脱色效果,但是会破坏 DF 表面的微结构,其对 DF 生物活性的影响还有待研究。

2.5 苹果渣膳食纤维(DF)的改性

DF 的生理活性与其 SDF 的含量有很大关系,

一般来说,苹果渣中 SDF 含量只有 3%~5%,但高品质的 DF 要求其中 SDF 的含量达 10% 以上,因此,需采用一定的方法提高 SDF 的含量。

目前 DF 的改性方法主要是:以酸法、碱法为主的化学法;以酶法、发酵法为主的生物技术法及以超微粉碎技术、挤压技术、超高压技术为主的物理方法。化学处理仅能简单提高 SDF 含量而且会引入化学基团带来安全隐患。因此,深入研究生物技术和物理方法有更重要的意义。酶法具有条件温和、专一性强、产品色泽变化小、反应时间短、副产物少、纯度高等优点,被认为是一种很有潜力的方法。目前用于 DF 改性的酶主要有木聚糖酶、纤维素酶和木质素氧化酶。魏决等^[45]用纤维素酶对苹果 DF 进行改性,实验表明:温度、时间、酶加量对最终 SDF 的得率有显著影响,优化后的工艺条件为:酶加量 3.4%、料液比 1:42 g/mL、提取温度 48 ℃、提取时间 93 min, SDF 的提取率为 21.3%, 比改性前的 SDF 的持水力和溶胀性分别提高了 77.1% 和 60.7%。由此证实改性手段的确可改善 SDF 的理化性质,这可能是由于改性手段使 SDF 的分子结构发生了一定变化。利用物理法使物料分子发生裂解及极性变化,促使 IDF 向 SDF 转化。武凤玲等^[46]在对苹果渣 SDF 进行挤压改性时添加阿拉伯胶,结果表明此方法比单纯挤压改性效果好,优化工艺条件为:物料粒度 60 目,阿拉伯胶添加量 1%, 螺杆转速 825 r/min, 静置时间 90 min, 加水量 20%, 改性后 SDF 含量达到 27.7%, 其抗氧化能力和水合性质有一定程度的提高。对改性处理后的 SDF 进行硫酸酯修饰,可改善其生物功能活性^[47]。

2.6 苹果渣膳食纤维(DF)的测定方法

目前 DF 的检测方法主要有洗涤法和酶—重量法。洗涤法简单但会损失 DF, 酶—重量法是国际分析化学家协会(AOAC)认可和推荐的方法,也是目前公认的测定标准^[48]。国内根据 AOAC991.43^[49]制定 GB/T22224—2008^[49]食品中 DF 的测定酶—重量法和 GB/T5009.88—2008^[50]食品中 DF 的测定 2 个标准,这两个标准与 AOAC 的方法基本一致。酶—重量法需要较昂贵的 DF 测定仪,试剂成本高,测定过程繁琐,持续时间长,为了更好地利用该方法开展 DF 含量的测定和研究,周思旭^[51]对比了改进后的酶—重量法和国家标准测定方法,结果表明采用改进后的酶—重量法检测食品中膳食纤维含量结果的数据重复性较好,精密度较高。

3 应用

苹果渣 SDF 的有效成分对人体具有多种保健功能,可作为食品添加剂添加一定量到面包、面条等食品中,作为高血压、高血脂病人的治疗用品;SDF 可作为结肠黏膜细胞的能源物质,刺激肠道有益细菌的增殖,维持肠道生物环境平衡和稳定,日常饮食中适量摄入 SDF 高含量的食品可增加肠道局部的免疫力;SDF 可代替碳水化合物添加到饮品中改善口感;还能添加到酱类调味剂中,改善产品结构,增加稠度;SDF 可以影响相关炎症细胞因子的表达,对炎症的发生起到很好的预防作用;SDF 制品可与药物连用起到降血脂的作用,SDF 通过影响脂质相关代谢基因的表达而达到抗高血脂的目的^[52];AP 提取工艺较成熟,根据产物酯化度的不同,可作为胶凝剂来制作不同含糖量及热量的食品;因其有耐酸性等特性,可作为乳化稳定剂以减少蛋白质在酸性条件下的沉降,改善食品口感;利用离子交联基本法制得的低酯多膜 AP 气凝胶具有较大比表面积(593 m²/g),因控制药物释放时,表面积或体积是关键参数之一,所以多膜 AP 气凝胶可被用作药物递送载体^[53]。另外,Lim^[54]等通过给大鼠喂 AP 发现,通过补充 AP 可以抑制在心肌梗塞中细胞的凋亡,因此,膳食纤维的摄入也可以降低冠心病的风险。

4 展望

从苹果渣中提取 SDF 较多的是采用酸法和碱法,或者酸碱联合的方法,主要不足是酸碱废液废水处理负担很重,环境压力大,其次是产品中带入大量的离子,需反复漂洗,得到的膳食纤维含量低、色泽差,采用酶法可以避免大量酸碱物质的利用,减少环境保护的压力,产品质量稳定,但主要问题是缺乏有效的酶,特别是当原料不同时需要选用多种酶才能更有效的制备膳食纤维,除了酶法可替代酸碱法外,微生物法也是较好的 SDF 制备方法,该法需要多种微生物的共同作用,而这些微生物往往可以发酵苹果渣制备乳酸饮料等保健饮品,因此,未来 SDF 的生产方面,酶法和微生物法有很好的发展前景,这方面的研究将会集中在 SDF 专用酶的提取分离和混合发酵剂的分离复配等。同时,苹果渣膳食纤维与苹果乳酸等饮品的整合生产是苹果渣综合利用的发展方向。

值得注意的是,制备 SDF 的方法还有化学合成法,其产量、纯度各方面优于从果渣中提取的产品,比较成熟的是聚葡萄糖的化学合成,未来这种方法将会在更多地区应用。

在应用方面,苹果 SDF 在降血糖、抗肿瘤等药品、益生元产品、乳制品中的应用相对于在其他食品领域的应用更受人们的关注,但在这些领域还比较缺乏非常有效的、符合食品药品安全的产品。在苹果 SDF 产品中,聚葡萄糖和果胶较之其他产品应用前景将更加广泛。

参考文献:

- [1] Kaushal N K, Joshi V K, Sharma R C. Effect of stage of apple pomace collection and the treatment on the physico-chemical and sensory qualities of pomace Papad (fruit cloth) [J]. *Journal of food science and technology*, 2002, 39(4): 388-393.
- [2] Sudha M L, Baskaran V, Leelavathi K. Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making [J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(2): 686-692.
- [3] 马艳萍, 马惠玲, 陈长友, 等. 苹果渣固态酒精发酵工艺研究 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2004, 32(11): 81-84.
- [4] 常大伟, 张爽, 孔令知. 超声波辅助提取苹果渣中果胶的研究 [J]. *陕西科技大学学报*, 2013, 31(2): 101-104.
- [5] Vasanthan T, Jiang G S, Yeung J, et al. Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking [J]. *Food Chemistry*, 2002, 77(1): 35-40.
- [6] Burcitt D P J, Burkitt Walker A R P, Painter N J. Dietary fiber and disease [J]. *Journal of American Medical Association*, 1974, 229(8): 1068-1077.
- [7] Solà R, Valls R M, Godàs G, et al. Cocoa, hazelnuts, sterols and soluble fiber cream reduces lipids and inflammation biomarkers in hypertensive patients: a randomized controlled trial [J]. *PloS one*, 2012, 7(2): 31103.
- [8] Shen R L, Wang Y. Modification of dietary fiber and its effects on the property [J]. *Farm Prod Process*, 2009, 8(3): 17-20.
- [9] 丁晨阳, 韩舜愈, 盛文军, 等. 响应面法优化苹果渣中可溶性膳食纤维提取工艺 [J]. *食品工业科学*, 2012, 33(7): 266-270.
- [10] 甄红伟, 王瑞霞, 牟建楼. 微波提取果渣中膳食纤维的工艺研究 [J]. *北方园艺*, 2012, 34(20): 138-140.
- [11] Valerie C. Microwave-assisted solvent extraction of environmental samples [J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2000, 19(4): 229-230.
- [12] 刘素稳, 郭朔, 流畅, 等. 微波辅助提取苹果渣可溶性膳食纤维 [J]. *中国食品学报*, 2010, 10(5): 152-159.
- [13] Patist A, Bates D. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production [J]. *Innovation Food Science and Emerging Technologies*, 2008, 9(2): 147-154.
- [14] 高悦, 张莹, 路祺, 等. 水浴和超声法制备苹果渣可溶性膳食纤维及其性能研究 [J]. *食品工业科学*, 2013, 34(24): 232-236.
- [15] 牟建楼, 王颖, 孙剑锋. 响应面法优化纤维素酶提取苹果渣中可溶性膳食纤维 [J]. *食品科学*, 2012, 33(8): 95-98.
- [16] 付成程, 郭玉荣, 霍天博, 等. 纤维素酶对苹果肉渣膳食纤维物化特性的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(1): 64-68.
- [17] Larcher W. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress

- physiology of functional groups [M]. Berlin; Springer Science & Business Media, 2003.
- [18] 薛战锋, 郭玉蓉, 付成程, 等. 半纤维素酶法苹果肉渣膳食纤维的提取[J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(11): 1474-1479.
- [19] 任媛媛, 李丹丹, 陈学武. 酶解法制备高活性水溶性膳食纤维的研究[J]. 中国食品添加剂, 2015, 15(2): 88-93.
- [20] 王静, 何晓玲. 发酵法制取苹果渣中可溶性膳食纤维[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 255-256, 392.
- [21] 牟建楼, 王颀, 李慧玲. 不同提取方法对苹果渣中可溶性膳食纤维的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(9): 115-120.
- [22] Rockwell P L, Kiechel M A, Atchison J S, et al. Various-sourced pectin and polyethylene oxide electrospun fibers [J]. Carbohydrate polymers, 2014, 107(7): 110-118.
- [23] Baissise S, Ghannem H, Fahloul D, et al. Comparison of structure and emulsifying activity of pectin extracted from apple pomace and apricot pulp [J]. World Journal of Dairy & Food Sciences, 2010, 5(1): 79-84.
- [24] Emaga T H, Ronkart S N, Robert C, et al. Characterization of pectins extracted from banana peels (Musa AAA) under different conditions using an experimental design [J]. Food chemistry, 2008, 108(2): 463-471.
- [25] Canteri - Schemin M H, Fertonani H C R, Waszczynskij N, et al. Extraction of pectin from apple pomace [J]. Brazilian Archives of Biology and Technology, 2005, 48(2): 259-266.
- [26] Marcon M V, Vriesmann L C, Wosiacki G, et al. Pectins from apple pomace [J]. Polimeros, 2005, 15(2): 127-129.
- [27] 曲昊杨, 朱文学, 刘琛, 等. 苹果渣果胶提取工艺优化及碱法降酯效果评价[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 87-92.
- [28] 岳贤田. 超声波辅助提取苹果皮中果胶的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(5): 3055-3057.
- [29] Zhang L, Ye X, Ding T, et al. Ultrasound effects on the degradation kinetics, structure and rheological properties of apple pectin [J]. Ultrasonics sonochemistry, 2013, 20(1): 222-231.
- [30] Wang S, Chen F, Wu J, et al. Optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response surface methodology [J]. Journal of food engineering, 2007, 78(2): 693-700.
- [31] Wikiera A, Mika M, Grabacka M. Multicatalytic enzyme preparations as effective alternative to acid in pectin extraction [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 44(2): 156-161.
- [32] Min B, Lim J, Ko S, et al. Environmentally friendly preparation of pectins from agricultural byproducts and their structural/rheological characterization [J]. Bioresource Technology, 2011, 102(4): 3855-3860.
- [33] Wikiera A, Mika M, Starzyńska - Janiszewska A, et al. Development of complete hydrolysis of pectins from apple pomace [J]. Food chemistry, 2015, 172(7): 675-680.
- [34] Naghshineh M, Olsen K, Georgiou C A. Sustainable production of pectin from lime peel by high hydrostatic pressure treatment [J]. Food chemistry, 2013, 136(2): 472-478.
- [35] Rha H J, Bae I Y, Lee S, et al. Enhancement of anti-radical activity of pectin from apple pomace by hydroximation [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(3): 545-548.
- [36] Schieber A, Hilt P, Streker P, et al. A new process for the combined recovery of pectin and phenolic compounds from apple pomace [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2003, 4(1): 99-107.
- [37] Emaga T H, Garna H, Paquot M, et al. Purification of pectin from apple pomace juice by using sodium caseinate and characterisation of their binding by isothermal titration calorimetry [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 29(1): 211-218.
- [38] 陈子昂, 李韶雄, 李华, 等. 新型食品配料-聚葡萄糖制备工艺的研究 [J]. 中国食品添加剂, 2002(6): 29-31.
- [39] 万茵, 黄绍华, 付桂明. 新型水溶性膳食纤维——聚葡萄糖的合成研究 [J]. 食品科学, 2006, 26(10): 141-144.
- [40] 万里. 聚葡萄糖的合成及工业化研究 [D]. 上海, 华东理工大学, 2010.
- [41] 张泽生, 王可凤, 孙平, 等. 聚葡萄糖合成工艺的研究 [J]. 食品科技, 2011, 36(5): 87-90.
- [42] 李蕊岑, 陈雪峰, 武凤玲, 等. 苹果膳食纤维的超声辅助臭氧脱色工艺 [J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(12): 131-134.
- [43] 陈雪峰, 刘蕊岑, 刘宁, 等. 超声波辅助双氧水脱色苹果膳食纤维的研究 [J]. 陕西科技大学学报, 2014, 32(1): 110-113.
- [44] 刘素稳, 侍朋宝, 李汉臣, 等. 苹果渣膳食纤维微波辅助脱色的工艺参数研究 [J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(2): 73-77.
- [45] 魏决, 万萍, 黄卫, 等. 响应面法优化苹果膳食纤维的酶法改性工艺 [J]. 食品科技, 2013, 38(2): 60-64.
- [46] 武凤玲, 陈雪峰, 杨阳. 阿拉伯胶对苹果膳食纤维挤压改性的影响 [J]. 中国食品添加剂, 2014, (1): 167-172.
- [47] 杨阳, 陈雪峰, 李蕊岑. 苹果挤压改性水溶性膳食纤维硫酸酯化的修饰 [J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(1): 61-64.
- [48] Malkki Y. Trends in dietary fiber research and development; a review [J]. Acta Alimentaria, 2004(33): 39-62.
- [49] 中国标准出版社总编辑室. 中国国家标准汇编 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [50] 杨晓莉, 杨月秋, 周瑞华, 等. 食品中总的、不溶性及可溶性膳食纤维的酶重量测定方法 [J]. 卫生研究所, 2001, 30(6): 377-379.
- [51] 周思旭. 食品中膳食纤维测定方法 [J]. 粮食科技与经济, 2014, 39(3): 48-50.
- [52] Bartley G E, Yokoyama W, Young S A, et al. Hypocholesterolemic effects of hydroxypropyl methylcellulose are mediated by altered gene expression in hepatic bile and cholesterol pathways of male hamsters [J]. J Nutr, 2010, 140(7): 1255-1260.
- [53] Veronovski A, Tkalec G, Knez Ž, et al. Characterization of biodegradable pectin aerogels and their potential use as drug carriers [J]. Carbohydrate polymers, 2014, 113(11): 272-278.
- [54] Lim S H, Kim M Y, Lee J. Apple pectin, a dietary fiber, ameliorates myocardial injury by inhibiting apoptosis in a rat model of ischemia/reperfusion [J]. Nutrition research and practice, 2014, 8(4): 391-397. ㉞