

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.07.030

竹笋及其加工副产物膳食纤维制备与高效利用研究进展

郑拾林^{1,2}, 李宗军^{1,2}, 童光祥^{1,3*}

(1. 湖南农业大学 食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 食品科学与生物技术湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128; 3. 湖南惊石农业科技有限公司, 湖南 益阳 413400)

摘要: 竹笋作为竹子的雏芽, 是我国的传统食物, 在加工的过程中会产生大量副产物, 对环境的影响较大。该文通过分析竹笋及其副产物的营养组成, 发现竹笋加工产生的笋壳、笋头等副产物中膳食纤维(dietary fiber, DF)含量较为丰富, 是DF的良好资源。对竹笋DF的提取方法、功能特性及在食品中的应用进行系统总结, 并展望大食物观背景下竹笋DF的发展与应用前景, 以期竹笋副产物的综合开发利用提供参考。

关键词: 竹笋; 副产物; 膳食纤维; 制备工艺; 生理功能

Review on Preparation and Efficient Utilization of Dietary Fiber from Bamboo Shoots and Its By-products

ZHENG Shilin^{1,2}, LI Zongjun^{1,2}, TONG Guangxiang^{1,3*}

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China; 2. Hunan Province Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, Changsha 410128, Hunan, China; 3. Hunan Jingshi Agricultural Science and Technology Co., Ltd., Yiyang 413400, Hunan, China)

Abstract: Bamboo shoot, as the bud of bamboo, is a traditional food in China. It will produce a large number of by-products in the process of processing, which has a great impact on the environment. In this paper, by analyzing the nutritional composition of bamboo shoots and their by-products, it was found that dietary fiber (DF) was abundant in by-products such as bamboo shoot shells and shoot heads produced during processing, which was a good resource for DF. The extraction methods, functional properties, and application in food of DF of bamboo shoots were systematically summarized. The development and application prospect of DF of bamboo shoots under the background of macro food concept were prospected, so as to provide a reference for the comprehensive development and utilization of bamboo shoot by-products.

Key words: bamboo shoot; by-products; dietary fiber; preparation technology; physiological function

引文格式:

郑拾林, 李宗军, 童光祥. 竹笋及其加工副产物膳食纤维制备与高效利用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(7): 217-224.

ZHENG Shilin, LI Zongjun, TONG Guangxiang. Review on Preparation and Efficient Utilization of Dietary Fiber from Bamboo Shoots and Its By-products[J]. Food Research and Development, 2024, 45(7): 217-224.

竹子是禾本科竹亚科多年生常绿植物, 在世界范围分布广泛。中国是世界竹类资源最为丰富的国家, 全国竹林面积有 641.16 万 hm^2 , 占森林面积的 2.94%, 主要分布在我国福建、江西、浙江、湖南、四川、广东、安徽、广西等地^[1]。竹笋作为竹子的雏芽, 是中国的传统

食物, 它是一种高蛋白、高纤维、低脂肪的食品, 越来越受到消费者的青睐。由于新鲜竹笋容易木质化变质, 60% 新鲜竹笋被加工为笋干、清水笋罐头、发酵竹笋等产品进行销售^[2]。加工过程中产生的笋壳、笋头等副产物大部分被作为垃圾进行填埋处理, 利用率较低。

作者简介: 郑拾林(1998—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品工程。

*通信作者: 童光祥(1972—), 男(汉), 本科, 研究方向: 食品加工。

这不仅造成了资源浪费,同时也污染了环境。因此如何更好地利用竹笋,提高其附加值,是未来需努力的方向。

膳食纤维(dietary fiber, DF)指不易被人体消化吸收的多糖类物质的总称,被认为是食物主要生物活性化合物之一。由于DF具有调节肠胃功能、预防心血管疾病以及心脏病等作用,引起了国内外营养学家的极大关注^[3],被称之为“第七营养素”。根据DF的溶解特点可将其分为水溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)和不溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF)两类。SDF通常包括部分半纤维素、果胶、胶质等化合物,而纤维素、木质素以及抗性淀粉则被认为是IDF^[4]。

从竹笋中提取出来的DF具有良好的水油保持能力,现在被广泛地应用于食品加工中^[5-7],竹笋DF具有良好的市场开发前景。本文对竹笋及其副产物DF制备进行系统论述,旨在为竹笋DF的研究与开发提供参考,更好地利用竹笋资源,减少浪费,开发林地食物资源,同时变废为宝,实现环境友好型竹笋加工。

1 竹笋及其加工副产物的种类与营养成分

竹笋主要由笋尖、笋壳和笋头(竹笋基部)三部分组成,如图1所示。

在竹笋的加工过程中只取笋尖部位,笋壳、笋头以及榨汁后剩下的笋肉作为残渣被随意丢弃或制成饲料简单利用^[8]。除此之外,用于煮沸、浸泡、冷却的废水也是竹笋加工过程中产生的主要副产物之一,每吨加工竹笋产生约2 t废水^[9]。



A. 笋尖



B. 笋头



C. 笋壳

图1 竹笋组成部分

Fig.1 Components of bamboo shoots

竹笋营养价值较高,含有丰富的蛋白质和膳食纤维等多种化学成分,研究表明笋壳和笋头等竹笋下脚料与笋尖营养物质组成相似,但部位不同,具体含量有一定差别^[10]。不同部位营养成分的组成如表1所示。

表1 竹笋不同部位的营养成分比较

Table 1 Comparison of nutritional composition in different parts of bamboo shoots

部位	蛋白质/%	氨基酸/%	总糖/%	纤维/%	脂肪/%	灰分/%	甾醇/ (mg/100 g)	酚酸/ (mg/100 g)	类黄酮/ (mg/100 g)	多糖/ (mg/100 g)	参考 文献
笋尖	27.8±1.3		31.3±2.3	9.4±1.1	3.2±0.6		257.9±13.1	21.4±1.7	18.2±1.4	293.8±14.2	[8]
	19.01~35.1	8.22~28.03									[11]
	28.42~39.14		16.04~30.57	0.2~12.7	0.22~3.46	10.07±0.13					[12]
	25.92±0.18		13.59±0.05			10.07±0.13	257.9±13.1	21.4±1.7	18.2±1.4	293.8±14.2	[13]
笋头	19.5±1.1		37.9±2.6	21.3±1.4	2.8±0.5		281.5±12.4	28.2±2.1	24.3±2.0	238.3±13.7	[8]
	21.71±0.21			19.24±0.05	5.98±0.59		245.4±5.07		24.71±1.83		[13]
	27.36		30.21	33.85	1.58						[14]
	8.40±0.12		2.98±0.09			6.31±0.27					[15]
笋壳	8.8±1.3		36.2±1.9	23.2±1.6	3.4±0.7		292.3±15.8	30.8±2.5	26.6±1.8	182.13±11.8	[8]
	8.63±0.09		6.07±0.17			2.23±0.04					[15]
	8.12~12.76			20.48~22.87							[16]
	9.38			29.60	1.71	26.07					[17]
浓缩水 提物		21.32±1.16					4 780±240	1 410±120			[18]

蛋白质是竹笋中主要的营养物质,通过表1可以发现竹笋的三部分中笋尖的蛋白质含量最高,其次分

别是笋头及笋壳。笋尖的蛋白质含量在19.01%~35.1%之间^[11],较文献[11-12, 19]研究结果低,这可能

是由于竹子的种类、产地、生长时间等不同而造成的差异。对于加工过程中产生的废水,通过浓缩后对其进行检测,发现其氨基酸含量为(21.32±1.16)%,说明竹笋加工中的废弃水具有一定营养物质,可以作为游离氨基酸的来源之一。

根据表1的统计,可以发现竹笋的不同部位其总糖的含量没有明显差异,均在30%左右。纤维含量差异较明显,笋尖的纤维含量在0.2%~12.7%之间,低于笋头(19.24%~33.85%)和笋壳(20.48%~29.60%)的含量。因此竹笋加工中的下脚料可以用于开发粗纤维含量较高的健康食品或者作为粗纤维的补充剂。

陆柏益^[8]通过测定发现同种竹笋不同部位的脂肪含量较低,笋尖为(3.2±0.6)%,笋头为(2.8±0.5)%,笋壳为(3.4±0.7)%。在表1中也可以发现,笋尖脂肪的含量在0.22%~3.46%之间,而笋头以及笋壳的脂肪含量主要在1.58%~5.98%之间^[13-14]。

竹笋是一种较好的矿物质摄入来源,在对竹笋的11种矿物质元素的检测中发现,Mg、Ca、Na以及K含

量远超其他常量元素,其中尤以K含量最高,达到了2 275.85~4 031.52 mg/kg^[20-21]。研究表明竹笋中矿物质的含量会随着竹笋老化而慢慢减少^[19]。

竹笋的生物活性物质主要是多糖、甾醇和酚酸等,通过陆柏益^[8]的研究可以发现竹笋的不同部位中仅多糖的含量存在明显差异,而甾醇、酚酸等的含量并无明显差异。

综上,同一种笋在不同部位的脂肪和总糖含量接近,笋头和笋壳中粗纤维含量远高于笋尖,而笋尖的蛋白质含量是最高的,其次分别是笋头和笋壳。竹笋加工中产生的废弃水则由于营养成分含量较少,可以选择通过技术浓缩制备甾醇、酚酸等生物活性成分。

2 竹笋膳食纤维的制备方法

目前,竹笋DF制备的方法主要有物理法、化学法、生物法以及复合法。不同的竹笋由于成熟度不同、不同部位的营养成分不同,因此,在制备DF时,研究人员选择的方法、工艺及制备的DF特性也不尽相同,常用制备方法比较如表2所示。

表2 竹笋膳食纤维制备方法比较
Table 2 Comparison of DF preparation methods of bamboo shoots

制备方法	详细分类	原料	制备条件	产品得率	参考文献
物理法	简便法	毛竹笋	竹笋切片后磨浆,洗涤至中性后干燥,粉碎过筛得到成品	DF=25.90%	[22]
	水提法	雷竹笋	料液比 1:20 (g/mL),自然 pH,提取温度 90 °C,提取时间 5 h	DF=9.18%	[23]
	超微粉碎	毛竹竹粉	粉碎时间 4.64 h,温度 23.3 °C和球料比 11.31:1 (g/g)	SDF=6.53%	[24]
	超声波	竹笋	颗粒粒径 60 目、料液比 1:43 (g/mL)、超声功率 454 W、超声时间 25 min、超声温度 72 °C	IDF=47.23%	[25]
化学法	酸法	马蹄笋笋头	酸液 pH2、时间为 100 min、料液比 1:10 (g/mL)、温度 50 °C	DF=47.98%	[26]
	酸法	马蹄笋笋壳	酸液 pH2、时间为 120 min、料液比 1:10 (g/mL)、温度 50 °C	DF=59.49%	[26]
	碱法	竹笋壳	氢氧化钠 24 g/L,过氧化氢 40 mL/L,煮练温度 95 °C,碱煮时间 150 min	DF=73.19%	[27]
	有机法	雷竹笋	2% 六偏磷酸钠溶液,料液比 1:20 (g/mL),pH6.5,提取温度 60 °C,提取时间为 3 h	DF=31.25%	[23]
生物法	酶法	竹笋	料液比 1:10 (g/mL),70 °C下 α-淀粉酶处理 30 min,60 °C下蛋白酶和葡萄糖苷酶处理 30 min,醇沉、洗涤、干燥	DF=40.78% IDF=28.13% SDF=12.65%	[28]
	酶法	燕竹笋	料液比 1:20 (g/mL),煮沸 15 min,加 1 mL α-淀粉酶,在 65 °C 条件下酶解 50 min;冷却后加入 1 mL 中性蛋白酶液,在 40 °C、pH7.0 条件下酶解 50 min	IDF=76.80% SDF=0.6%	[29]
	酶法	毛竹笋残渣	复合酶法纤维素酶:木瓜蛋白酶:α-淀粉酶=1:1:1 (质量比);加酶量 1.7%,酶解时间 1.6 h,料液比 1:20 (g/mL),酶解温度 50 °C	DF=61.0% IDF=45.42% SDF=15.61%	[30]
	发酵法	雷竹笋残渣	保加利亚乳杆菌:嗜热链球菌=1:1 (质量比)、接种量为 4%,发酵温度为 40 °C,发酵时间为 24 h,料液比为 1:10 (g/mL)	DF=80.20%	[31]
	发酵法	雷竹笋榨汁后残渣	绿色木霉接种量 6%,料液比 1:10 (g/mL)、发酵时间 60 h,发酵温度 32 °C,发酵 pH5.8	DF=79.33%	[31]
	发酵法	毛竹笋	黑曲霉接种量 10.5%、发酵温度 28 °C、pH5.0、料液比 1:16 (g/mL)、发酵时间 75 h	SDF=27.23%	[32]
	复合法	高温蒸煮-酶解	竹笋	料液比 1:10 (g/mL),120 °C下高温改性 30 min,干燥粉碎后,继续在加酶量 0.3%,酶解时间 90 min,酶解温度 60 °C,料液比 1:15 (g/mL) 条件下酶解	SDF=25.03%
	酶解-高压均质	大叶麻竹笋	物料浓度 2.1%、物料温度 31 °C、均质压力 33 MPa	DF=83.34%	[33]
	酶解-碱法	春笋	α-淀粉酶用量 0.5%、木聚糖酶用量 0.4%、NaOH 浓度 0.6%、碱解时间 120 min	SDF=12.70%	[34]
	酶解-超声波法	竹浆	酶用量 8%、酶解温度 50 °C、酶解时间 10 h、超声时间 6 h	DF=62.60%	[35]

2.1 物理法

物理法即通过机械赋能、高压等的作用,破坏原料中的纤维素的非结晶区而保留结晶区,从而得到 DF 的方法^[36]。

水提法是物理法中最简单的制备方法,是将竹笋简单粉碎后,通过水浸提得到 DF 的方法。林海萍等^[22]以毛竹笋为原料通过水提法制备 DF,其得率为 49.68%,但所得产品性质较差,持水力、膨胀性均低于其他方法,且杂质较多,其纯度仅为 52.14%。彭昕^[23]通过单因素试验发现水提法中温度对竹笋 SDF 提取率的影响比浸提时间大,在 90 °C 条件下浸泡 4 h 可以使雷竹笋中 SDF 的含量从原来的 5.06% 提升到 9.18%,提取率提升了 81.4%。温度大于 90 °C 可能会破坏 SDF 的结构,导致提取率下降。水提法需要长时间高温浸泡,对 DF 的持水力和膨胀力影响较大,但能较好地保护 DF 的色泽。

超微粉碎法是对普通粉碎方法的改进,指通过更高压力、更强剪切力将物料破碎至微米甚至纳米级的方法^[37]。方吉雷等^[24]研究竹粉超微粉碎后的功能特性,发现该方法通过强作用力使得 DF 的长链断裂,暴露更多的活性基团,有效改善 DF 的持水力、膨胀力等理化性质。Ge 等^[38]研究发现在温和条件下,超微粉碎可以提高竹叶活性物质的产量,提高抗氧化性。

单一的物理方法虽然操作简单,对环境的影响较小,产品的收获较多,但所得到的膳食纤维纯度较低,对设备的要求较高。随着技术和设备的发展,高压均质、超声波、微波等技术开始被用于制备膳食纤维,但多被用作辅助提取技术,如陈慕莹等^[33]通过试验发现酶解法配合高压均质最佳提取工艺下竹笋 DF 提取率为 83.34%,其中 SDF 的含量达到 7.41%,具有较好的生物活性。Moczowska 等^[39]通过对比发现,单一酶解制备 SDF 的得率为(61.13±0.35)%,而在 55 °C 条件下超声 15 min 后再进行酶解,SDF 的得率可增加到(68.90±0.50)%,酶解效果提升了 12.71%。

2.2 化学法

化学法是将原料经过干燥、粉碎,然后用酸、碱等化学试剂作为溶剂进行浸提,最后得到 DF 的一类方法^[40]。

酸碱法是化学法中最常用的 DF 提取方法,其原理在于将酸性或碱性溶液与原料混合,在合适的条件下破坏原料中的蛋白质、脂肪等结构,最后浸提得到 DF^[41]。王昕岑等^[26]通过试验发现碱液提取对 DF 影响力大小是 pH 值>温度>料液比>时间,而酸液提取对 DF 影响力大小为 pH 值>料液比>温度>时间,由此可知,在化学法中对提取效果影响最大的因素是浸提过程中的 pH 值。在最佳条件下得到的笋头 DF 提取率为 47.98%,笋壳 DF 得率为 59.49%。王彩虹^[28]通过改

变酸碱液的浓度,最终笋头 DF 提取率为 67.17%。Yang 等^[27]通过过氧化氢与氢氧化钠配合制备 DF,使得笋壳的提取率达到了 73.19%。化学法提取 DF 的改进方向不仅在于调整酸碱液的浓度、温度和时间,同时也可以通过其他试剂的配合提升效果。彭昕^[23]使用 2% 六偏磷酸钠溶液制备 DF,在料液比 1:20 (g/mL)、pH 值为 6.5、提取温度 60 °C、提取时间为 3 h 的条件下,得到 DF 得率较低,为 31.25%,显然氢氧化钠和盐酸是现在更适用的提取试剂。

化学提取法由于其操作简单便捷,被广泛应用于工业中。其主要缺点在于使用化学试剂会损坏提取得到的多糖官能团,降低得到的 DF 的生物活性。目前科研人员一直在尝试改变提取溶剂或者使用添加剂等方法优化该提取方法,力求在保证并提高 DF 得率的基础上获得更加优质的 DF。

2.3 生物法

生物法提取 DF 主要包括酶法提取和发酵法提取。其中酶法主要用到蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶等,而发酵法主要用到保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、绿色木霉等。

酶法提取 DF 是由于原料中均含有蛋白质、淀粉等其他物质,这些物质将会与 DF 形成缔合结构,酶法通过使用蛋白酶、淀粉酶、半纤维素酶等对原料进行适度地酶解,去除原料中淀粉和蛋白质,破坏纤维之间的缔合结构,从而保证 DF 游离析出,同时提高 DF 的含量及纯度^[42]。

吕萍^[29]将 5.00 g 燕竹笋笋粉加入到 100 mL 水中煮沸 15 min,加入 1 mL α -淀粉酶液和 1 mL 中心蛋白酶液在相应条件下分别酶解 50 min,随后沉淀干燥,通过该方法 IDF 的提取率达到 76.80%,但 SDF 仅为 0.6%。吴映雪^[30]将纤维素酶、木瓜蛋白酶及 α -淀粉酶以 1:1:1 质量比混合,同时加入样品中进行酶解,其最佳条件下笋渣 DF 得率为 61.0%,其 SDF 得率达 15.61%,较吕萍^[29]的结果更高,且操作更加简单。这表明通过酶解特别是纤维素酶的作用可以使不溶性纤维水解为 SDF,增加可溶性成分。

酶法提取 DF 操作工艺简单,所需要的反应条件温和,由于酶的特异性强,所得到的 DF 提取率和纯度较高,但缺点在于酶法需要特定酶制剂,相比化学试剂成本更高^[43]。酶法制备 DF 的工业化程度较低,还需要进一步研究新型酶制剂,降低生产成本,提升经济效益。

发酵法是利用微生物的生长繁殖消耗环境中的碳源、氮源等生长因子,以达到消耗原料中蛋白质、淀粉等的效果,最后仅留下 DF。主要利用保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌和绿色木霉。

李安平等^[44]将保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌以 1:1 (质量比)的比例混合与竹笋原料中发酵,制得浅

黄色具有竹笋清香的 DF 粉末。徐灵芝^[31]以相同配比发现得到 DF 最高得率的条件是接种量为 4%、温度为 40 °C、时间为 24 h、料液比为 1:7.5 (g/mL), 在该条件下 DF 提取率达到 80.20%。又以绿色木霉作为唯一菌种发酵制备 DF, 通过正交试验发现在料液比 1:10 (g/mL)、发酵时间 60 h、发酵接种量 6%、发酵温度 32 °C、发酵 pH5.8 条件下, 最高提取率可达 79.33%。

除保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌以及绿色木霉外, 还可以用黑曲霉发酵提取 DF。吴丽萍等^[32]通过研究发现黑曲霉更适合用于制备 DF, 其最佳条件为黑曲霉接种量 10.5%、发酵温度 28 °C、pH5.0、料液比 1:16 (g/mL)、发酵时间 75 h, 得到产品 SDF 提取率为 27.23%, 比发酵前提高了 20.21%, 且通过检测可知, 发酵后的 SDF 的理化性质有显著性的提高。

发酵法的成本较低, 得到的 DF 色泽、质地较好, 其理化特性也较高, 但缺点在于生物发酵法制备过程虽然简单, 但对于制备环境的要求较高, 还需进一步完善, 不能较好地工业化生产^[36]。可以尝试开发更多的发酵菌种, 同时也可以尝试不同菌种的互配, 发挥不同菌种的优势, 取得纯度更高、功能更强的 DF。

2.4 复合法

通过单一方法制备 DF 有着不同的缺点, 如物理法的纯度较低、化学法的试剂残留、生物法的时间问题等, 因此在制备竹笋 DF 时一般选择多种方法结合应用。

Tang 等^[45]对碱法、酶法、超声波辅助酶法以及均质辅助酶法制备 DF 进行对比, 发现均质辅助酶法中的 SDF 含量最高, 持水力最高, α -淀粉酶活性抑制率最高, 体外降糖活性最高, 粒径最小, 表明复合法比单一方法能得到理化性质更好的 DF。任雨离等^[46]通过微波处理配合化学法制备 DF 发现, 该方法可以增加 DF 的持水力和还原力。

陈慕莹等^[33]以酶法与高压均质法配合制备膳食纤维, 其得率达到了 83.34%。宋玉^[7]通过高温蒸煮与酶法配合制备, SDF 得率达到了 25.03%, 虽比吴丽萍等^[32]发酵法的 SDF 得率 27.23% 低, 但高温蒸煮与酶法配合制备所需的时间大大少于发酵法的 75 h, 在工业中的效益更好。

复合法的效果比单一方法更佳, 但相应的在生产中需要准备更多种类的设备, 对于生产者的资金要求更高。每种提取方法都有其优劣之处, 应当根据所制备原料不同和要求不同, 综合考虑生产的规模、成本、污染等方面选择合适的制备方法, 以求效益最大化, 制备得率最高、活性最好的 DF。

3 竹笋膳食纤维的生理功能

3.1 预防心血管疾病

英国营养科学咨询委员会对 DF 在预防疾病方面

的作用进行了分析, 结果显示, 每天从食物中摄入的 DF 每增加 7 g, 心血管疾病的风险在统计上会显著降低^[47]。Li 等^[48]研究了竹笋 DF 对高血脂小鼠的影响, 测定了添加竹笋 DF 后大鼠的总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇含量以及丙氨酸转氨酶、天冬氨酸转氨酶、瘦素、胰岛素样生长因子-1 水平, 结果表明模型组的含量显著高于实验组, 证实 DF 具有潜在的降血脂能力, 且 IDF 比 SDF 的降血脂能力更好。

3.2 预防肠道疾病

大量机理研究和临床试验表明, DF 对肠道有很好的调节作用和微生物作用, 对胃肠道疾病的预防和治疗有重要意义^[49]。DF 作为不易被人体消化吸收的多糖类物质, 在人体中主要通过肠道中益生菌降解, 产生短链脂肪酸, 从而抑制肿瘤细胞的生长繁殖, 抑制结肠癌的发生, 长期食用可以在一定程度上改善肠道菌群^[50]。

3.3 控制体质量、预防糖尿病

DF 具有较强的吸水性和膨胀力, 进入人体后会迅速吸收水分、膨胀, 使人产生较强的饱腹感, 同时由于 DF 的结构不易分解, 最后达到降低进食的效果。DF 会与水形成凝胶结构, 包裹食物, 阻碍人体对于蛋白质、脂肪等物质的吸收, 以达到控制体质量的效果^[3]。DF 可通过增加肠道内容物的黏度来改善人体的血糖吸收, 通过大鼠实验证明 DF 通过结合 α -淀粉酶抑制淀粉消化来影响血糖, 从而减少葡萄糖的吸收^[51-52], 达到预防糖尿病的作用。

4 竹笋膳食纤维在食品工业中的应用

竹笋 DF 具有较好的持水力、持油力和膨胀力等, 将其作为食品原料的替代物添加到食品中可以有效地改善食品的风味以及质地, 并提升营养价值, 因此在食品开发中被广泛应用。

4.1 在面制品中的应用

竹笋 DF 具有较好的持水力、持油力, 容易与面制品中的水发生作用, 从而影响面制品的性质^[53]。Li 等^[54]研究表明添加竹笋 DF 可以提高冷冻面团的黏弹性和延伸性等, 改善其加工性能。古明亮等^[6]以雷竹笋渣 DF 和低筋面粉为主要原料, 改进了配方组合, 制得了一款色泽棕黄、品质优良的饼干。

4.2 在肉制品中的应用

在肉制品中加入 DF 不仅可以降低脂肪、胆固醇等的含量, 同时还可以提高肉制品的品质。Li 等^[54]研究表明添加 2% 的竹笋 DF, 可以有效增强猪肉盐溶蛋白的凝胶结构, 改善凝胶性能和持水力, 可以很好地应用于肉制品中。宋玉^[7]将南竹笋 DF 作为脂肪替代物添加到香肠中, 发现 40% 的替代物制得香肠口感较好, 具有更高的水分及蛋白质含量。

4.3 在饮料中的应用

在饮料中添加 DF 可以在保证产品低脂、低糖的前提下提升产品的稳定性。Tang 等^[55]通过对比试验,确定竹笋 DF 比黄原胶、海藻酸钠等对儿茶素保护作用更佳,可有效增加儿茶素的滞留率,保留更多的儿茶素进入结肠释放,从而发挥更大的生理作用,为新型茶饮料开发提供参考。

4.4 在其他食品中的应用

竹笋 DF 除了添加到面制品、肉制品和饮料中,还可用于麦、酱油等多种食品的研究开发^[56]。竹笋 DF 添加到食品中既可以满足消费者的口味追求,还可以减少脂肪、胆固醇等物质的吸收,有益于人体健康,在当今市场上具有较好的发展前景。

5 展望

竹笋加工过程中会产生大量副产物,机械损伤的笋尖、笋头、笋衣和笋壳约占全部笋体的 70%。目前对于这些物质多作为垃圾进行填埋处理,少部分则经过粗加工作为动物饲料的初级加工物。竹笋加工副产物中 DF 的含量丰富,可以作为一种良好的 DF 来源,对其进行再加工利用,达到减轻环境压力、提升工厂效益、减少竹笋副产物浪费的作用。

目前,我国关于竹笋 DF 的制备以化学法和生物法为主,由于单一方法制备 DF 的效果并不佳,物理法更多的作为前两者方法中的前处理。化学法现在最适合于制备 DF 的试剂为盐酸以及氢氧化钠,在效率更高的其他提取剂被发现前,生物法显然更加的安全。对于生物法的提升主要在于反应中酶和发酵菌种的选择,可关注如医学、材料学等非食品研究进展,挖掘新型的菌种用于更快制备纯度更高、活性更强的竹笋 DF。改进单一方法,同时多方法联合应用,由物理法进行原料的预处理,提升生物法的反应效率,如超微粉碎法、高压均质法、高温蒸煮法等与生物法相结合具有广泛的发展前景。

参考文献:

- [1] 李玉敏,冯鹏飞.基于第九次全国森林资源清查的中国竹资源分析[J].世界竹藤通讯,2019,17(6):45-48.
LI Yumin, FENG Pengfei. Bamboo resources in China based on the ninth national forest inventory data[J]. World Bamboo and Rattan, 2019, 17(6): 45-48.
- [2] LIN Z, CHEN J, ZHANG J Z, et al. Potential for value-added utilization of bamboo shoot processing waste—Recommendations for a biorefinery approach[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(5): 901-912.
- [3] 刘秋艳,连欣悦,容格清,等.膳食纤维生理功能研究进展[J].粮食与食品工业,2021,28(4):25-28.
LIU Qiuyan, LIAN Xinyue, RONG Geqing, et al. Research progress on physiological function of dietary fiber[J]. Cereal & Food Industry, 2021, 28(4): 25-28.
- [4] WILLIAMS B A, MIKKELSEN D, FLANAGAN B M, et al. 'Dietary fibre': Moving beyond the 'soluble/insoluble' classification for monogastric nutrition, with an emphasis on humans and pigs[J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2019, 10(1): 45.
- [5] ZHANG H, ZHANG Y Y, WANG X T, et al. Effects of bamboo shoot dietary fiber on mechanical properties, moisture distribution, and microstructure of frozen dough[J]. Journal of Chemistry, 2017, 2017: 4513410.
- [6] 古明亮,温科,魏远隆,等.竹笋膳食纤维在酥性饼干中的应用[J].粮食加工,2019,44(4):38-41.
GU Mingliang, WEN Ke, WEI Yuanlong, et al. Application of dietary fiber from bamboo shoot in short biscuit[J]. Grain Processing, 2019, 44(4): 38-41.
- [7] 宋玉.竹笋膳食纤维的改性及在中式香肠中的应用研究[D].贵阳:贵州大学,2018.
SONG Yu. Modification of bamboo shoots dietary fiber and its application in Chinese sausages[D]. Guiyang: Guizhou University, 2018.
- [8] 陆柏益.竹笋中甾醇类化合物的研究——竹笋甾醇化学、工艺学及生物学功能[D].杭州:浙江大学,2007.
LU Baiyi. Studies on sterols in bamboo shoots—Chemical, technological and biological functions of sterols in bamboo shoots[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [9] LIU L L, LIU L Y, LU B Y, et al. Evaluation of bamboo shoot peptide preparation with angiotensin converting enzyme inhibitory and antioxidant abilities from byproducts of canned bamboo shoots[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(23): 5526-5533.
- [10] 孙小青.雷竹笋主要有效成分分析及其活性研究[D].长沙:中南林业科技大学,2014.
SUN Xiaoqing. The main active ingredient analysis and activity of *Phyllostachys praececox*[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2014.
- [11] 徐圣友,曹万友,宋曰钦,等.不同品种竹笋蛋白质与氨基酸的分析与评价[J].食品科学,2005,26(7):222-227.
XU Shengyou, CAO Wanyou, SONG Yueqin, et al. Analysis and evaluation of protein and amino acid nutritional components of different species of bamboo shoots[J]. Food Science, 2005, 26(7): 222-227.
- [12] 董春风,李沁.竹笋采后营养成分变化研究进展[J].竹子学报,2021,40(4):50-55.
DONG Chunfeng, LI Qin. Advances in studies on nutrient composition changes of bamboo shoots after harvest[J]. Journal of Bamboo Research, 2021, 40(4): 50-55.
- [13] 吕国提.毛竹笋头中 β -谷甾醇的提取分离研究[D].武汉:华中农业大学,2013.
LV Guoti. Studies on extraction and purification of β -sitosterol in basal part of *Phyllostachys pubescens* bamboo shoots[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [14] 张思耀.笋头膳食纤维的降解与功能评价[D].福州:福建农林大学,2009.
ZHANG Siyao. Degradation of dietary fiber in basal part of bamboo shoots and functional evaluation[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009.
- [15] 黄晓兵,李积华,张文华,等.毛竹冬笋不同部位营养成分及活性成分分析[J].食品科技,2014,39(8):59-63.
HUANG Xiaobing, LI Jihua, ZHANG Wenhua, et al. Nutritional components and active ingredient analysis of different parts of winter moso bamboo shoots[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(8): 59-63.

- [16] 王兴菊, 李周权, 唐正菊, 等. 大叶麻竹笋壳饲用价值的研究[J]. 四川畜牧兽医, 2010, 37(12): 30-32.
WANG Xingju, LI Zhouquan, TANG Zhengju, et al. Study on feeding value of Big-leaf Ma bamboo shell[J]. Sichuan Animal & Veterinary Sciences, 2010, 37(12): 30-32.
- [17] 曾俊棋, 岳万福. 笋壳饲用价值研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(8): 162-163.
ZENG Junqi, YUE Wanfu. Research progress on feeding value of bamboo shoot shell[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2016(8): 162-163.
- [18] 刘连亮. 竹笋降压降脂有效成分及其活性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
LIU Lianliang. Research on effective components with antihypertension and antihyperlipidemia from bamboo shoot[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [19] NIRMALA C, DAVID E, SHARMA M L. Changes in nutrient components during ageing of emerging juvenile bamboo shoots[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2007, 58(8): 612-618.
- [20] 陈中爱, 耿阳阳, 黄珊, 等. 不同品种竹笋营养成分分析与综合评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 262-268.
CHEN Zhong'ai, GENG Yangyang, HUANG Shan, et al. Analysis and comprehensive evaluation of nutritional quality of bamboo shoots from different cultivars[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(3): 262-268.
- [21] WANG Y L, CHEN J, WANG D M, et al. A systematic review on the composition, storage, processing of bamboo shoots: Focusing the nutritional and functional benefits[J]. Journal of Functional Foods, 2020, 71: 104015.
- [22] 林海萍, 赵洁, 毛胜凤. 3种竹笋膳食纤维制备工艺的比较[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(5): 119-121.
LIN Haiping, ZHAO Jie, MAO Shengfeng. A comparison study in three different processing of bamboo-shoot dietary fiber[J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(5): 119-121.
- [23] 彭昕. 雷竹笋水溶性膳食纤维提取及其应用特性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.
PENG Xin. Study on extraction methods, physicochemical and physiological functions of *Phyllostachys praecox* dietary fiber[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2017.
- [24] 方吉雷, 葛青, 毛建卫, 等. 超微粉碎法提取竹粉中可溶性膳食纤维工艺和功能特性研究[C]//2017中国食品科学技术学会第十四届年会暨第九届中美食品业高层论坛论文摘要集. 无锡: 中国食品科学技术学会, 美国食品科技学会, 2017: 320-321.
FANG Jilei, GE Qing, MAO Jianwei, et al. Study on the process and functional properties of soluble dietary fiber from bamboo flour by ultrafine grinding method [C]//2017 Proceedings of the 14th Annual Meeting of China Food Science and Technology Society and the 9th China-US Food Industry High-level Forum. Wuxi: Chinese Institute of Food Science and Technology, Institute of Food Technologists, 2017: 320-321.
- [25] 史辉, 周泽林, 余文华, 等. 响应面法优化竹笋中不溶性膳食纤维的超声辅助提取工艺[J]. 食品与发酵科技, 2019, 55(2): 14-18, 21.
SHI Hui, ZHOU Zelin, YU Wenhua, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction process for insoluble dietary fiber from bamboo shoots by response surface analysis[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2019, 55(2): 14-18, 21.
- [26] 王昕岑, 张静, 王淑培, 等. 化学法提取竹笋加工废弃物中膳食纤维的研究[J]. 武夷学院学报, 2017, 36(6): 23-29.
WANG Xincen, ZHANG Jing, WANG Shupe, et al. Extraction of dietary fiber from bamboo shoots process waste by chemical method[J]. Journal of Wuyi University, 2017, 36(6): 23-29.
- [27] YANG Y Z, FAN F W, XIE J P, et al. Isolation and characterization of cellulosic fibers from bamboo shoot shell[J]. Polymer Bulletin, 2023, 80(2): 1817-1829.
- [28] 王彩虹. 竹笋膳食纤维的提取、理化性质及降血脂效果研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.
WANG Caihong. Extraction, physicochemical properties and hypolipidemic effect of dietary fiber from bamboo shoots[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2018.
- [29] 吕萍. 三种竹笋加工及竹资源综合利用[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.
LV Ping. Three types of bamboo shoots processing and comprehensive utilization of bamboo resources[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2013.
- [30] 吴映雪. 笋渣膳食纤维提取及其饼干加工工艺参数优化[D]. 雅安: 四川农业大学, 2020.
WU Yingxue. Extraction of dietary fiber from bamboo shoot residue and optimization of processing parameters of its biscuit[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2020.
- [31] 徐灵芝. 雷竹笋渣膳食纤维的制备工艺及其物化特性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
XU Lingzhi. The research on the technics conditions and its physicochemical properties of dietary fiber from the dregs of *Phyllostachys praecox*[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2014.
- [32] 吴丽萍, 孙虹, 朱婷婷, 等. 发酵毛竹笋制备水溶性膳食纤维工艺优化及功能特性研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(12): 42-48.
WU Liping, SUN Hong, ZHU Tingting, et al. Study on process optimization and functional properties of soluble dietary fiber from fermented bamboo shoots[J]. China Condiment, 2021, 46(12): 42-48.
- [33] 陈慕莹, 张可珺, 吴嘉豪, 等. 响应面优化高压均质法制备纳米竹笋膳食纤维[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(3): 57-60.
CHEN Muying, ZHANG Kejun, WU Jiahao, et al. Optimization of highpressure homogenization preparation of nano bamboo shoots dietary fiber by response surface methodology[J]. Cereals & Oils, 2017, 30(3): 57-60.
- [34] 吴丽萍, 陶芹, 吴蕊, 等. 酶碱法提取春笋膳食纤维及其功能特性研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(10): 134-136, 140.
WU Liping, TAO Qin, WU Rui, et al. Study on extraction of spring bamboo dietary fiber by enzyme and alkali method and its functional properties[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(10): 134-136, 140.
- [35] 汪雪琴, 卢麒麟, 林凤采, 等. 纤维素酶解预处理辅助超声法制备竹浆纳米纤维素[J]. 农业工程学报, 2018, 34(9): 276-284.
WANG Xueqin, LU Qilin, LIN Fengcai, et al. Preparation of cellulose nanofibrils from bamboo pulp by cellulase pretreatment combined with ultrasound method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(9): 276-284.
- [36] 刘欣, 姜鹏飞, 傅宝尚, 等. 竹笋膳食纤维的提取、生理功能特性及其在食品中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(3): 354-362.
LIU Xin, JIANG Pengfei, FU Baoshang, et al. Extraction and physiological functionality of dietary fiber from bamboo shoots and its application in food[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(3): 354-362.
- [37] ZHAO X Y, MENG A, ZHANG X W, et al. Effects of ultrafine grinding on physicochemical, functional and surface properties of ginger stem powders[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(15): 5558-5568.

- [38] GE Q, LI H Q, WU P T, et al. Investigation of physicochemical properties and antioxidant activity of ultrafine bamboo leaf powder prepared by ball milling[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(7): e14506.
- [39] MOCZKOWSKA M, KARPS, NIU Y G, et al. Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed - A physicochemical approach[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 90: 105-112.
- [40] 胡杰. 竹笋膳食纤维体外活性及其组分变化规律研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2020.
HU Jie. Study on the *in vitro* activity of dietary fiber in bamboo shoots and composition changes[D]. Jinhua: Zhejiang Normal University, 2020.
- [41] YANG Y Y, MA S, WANG X X, et al. Modification and application of dietary fiber in foods[J]. Journal of Chemistry, 2017, 2017: 9340427.
- [42] 虞燕华, 夏恺徽, 吴家沁, 等. 藻类膳食纤维制备及功能进展[J]. 粮食与食品工业, 2021, 28(1): 28-32.
YU Yanhua, XIA Kaihui, WU Jiaqin, et al. Advanced in preparation and function of algae dietary fiber[J]. Cereal & Food Industry, 2021, 28(1): 28-32.
- [43] DUAN X R, GAO S Y, JIA S M, et al. Research status and progress on modification of dietary fiber at home and abroad[J]. Agricultural Biotechnology, 2019, 8(4): 131-135.
- [44] 李安平, 胡春水, 谢碧霞, 等. 乳酸菌发酵制备竹笋膳食纤维的研究[J]. 食品工业科技, 1999, 20(1): 38-39.
LI Anping, HU Chunshui, XIE Bixia, et al. Study on the preparation of bamboo dietary fiber by fermented lactic bacteria[J]. Science and Technology of Food Industry, 1999, 20(1): 38-39.
- [45] TANG C D, WU L R, ZHANG F S, et al. Comparison of different extraction methods on the physicochemical, structural properties, and *in vitro* hypoglycemic activity of bamboo shoot dietary fibers[J]. Food Chemistry, 2022, 386: 132642.
- [46] 任雨离, 刘玉凌, 何翠, 等. 微波和微粉碎改性对方竹笋膳食纤维性能和结构的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(8): 145-150.
REN Yuli, LIU Yuling, HE Cui, et al. Changes of fresh chimonobambusa dietary fiber in properties and structure modified by microwave and fine grinding[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(8): 145-150.
- [47] PYNE V, MACDONALD I A. Update on carbohydrates and health: The relevance of the Scientific Advisory Committee on Nutrition report for children[J]. Archives of Disease in Childhood, 2016, 101(10): 876-880.
- [48] LI Q, FANG X J, CHEN H J, et al. Retarding effect of dietary fibers from bamboo shoot (*Phyllostachys edulis*) in hyperlipidemic rats induced by a high-fat diet[J]. Food & Function, 2021, 12(10): 4696-4706.
- [49] GILL S K, ROSSI M, BAJKA B, et al. Dietary fibre in gastrointestinal health and disease[J]. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 2021, 18(2): 101-116.
- [50] MAKKI K, DEEHAN E C, WALTER J, et al. The impact of dietary fiber on gut microbiota in host health and disease[J]. Cell Host & Microbe, 2018, 23(6): 705-715.
- [51] DHITAL S, GIDLEY M J, WARREN F J. Inhibition of α -amylase activity by cellulose: Kinetic analysis and nutritional implications[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 123: 305-312.
- [52] TAKAHASHI T, KARITA S, OGAWA N, et al. Crystalline cellulose reduces plasma glucose concentrations and stimulates water absorption by increasing the digesta viscosity in rats[J]. The Journal of Nutrition, 2005, 135(10): 2405-2410.
- [53] WANG N, WU L R, ZHANG F S, et al. Modifying the rheological properties, *in vitro* digestion, and structure of rice starch by extrusion assisted addition with bamboo shoot dietary fiber[J]. Food Chemistry, 2022, 375: 131900.
- [54] LI K, LIU J Y, BAI Y H, et al. Effect of bamboo shoot dietary fiber on gel quality, thermal stability and secondary structure changes of pork salt-soluble proteins[J]. CyTA - Journal of Food, 2019, 17(1): 706-715.
- [55] TANG Y M, LI A P, XIAO J P, et al. Construction of catechin and bamboo shoot dietary fiber compounds: Their protection and release of catechin during digestion[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(7): e16703.
- [56] CHONGTHAM N, BISHT M S, HAORONGBAM S. Nutritional properties of bamboo shoots: Potential and prospects for utilization as a health food[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2011, 10(3): 153-168.

责任编辑:冯娜
收稿日期:2022-11-27