

“全谷物食品的营养与健康” 特约专栏文章之四

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.02.004

王立峰, 姚猛, 秦博闻, 等. 薏米的营养价值及应用最新研究进展[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(2): 24-30.

WANG L F, YAO M, QIN B W, et al. Nutrition value of adlay and its application progress[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(2): 24-30.

薏米的营养价值及应用 最新研究进展

王立峰, 姚 猛, 秦博闻, 姚轶俊

(南京财经大学 食品科学与工程学院, 江苏 南京 210023)

摘 要: 薏米是我国最古老的作物之一, 作为一种传统健康食品, 薏米营养价值很高, 被誉为“禾本科植物之王”。目前研究发现薏米能够抗肿瘤、降低血糖水平、降低血压, 还有助于消化、镇痛、抗炎、清热消暑、美容等, 具有很高的营养价值。同时薏米已经广泛应用于临床、化妆品的研发以及各类食品的加工生产中。综述了薏米蛋白、薏米多糖、薏米油、薏米多酚及其他活性成分、生理功能及其在工业中的最新应用情况, 旨在为薏米的多维度利用以及薏米产业的高质量发展提供理论参考。

关键词: 薏米蛋白; 薏米多糖; 薏米油; 薏米多酚; 生物活性; 加工应用

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)02-0024-07

网络首发时间: 2022-02-18 16:04:59

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20220218.0959.002.html>

Nutrition Value of Adlay and its Application Progress

WANG Li-feng, YAO Meng, QIN Bo-wen, YAO Yi-jun

(College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics,
Nanjing, Jiangsu 210023, China)

Abstract: Adlay is one of the oldest crops in China. Adlay, known as the “king of gramineous plants”, is a kind of traditional healthy food and has high nutritional value. Current studies have found that adlay with high nutritional value can prevent tumor, reduce blood sugar and pressure level, and also has benefit with digestion, analgesia, anti-inflammatory, and heat relieving and so on. At the same time, adlay has been widely used in clinical, cosmetic research and kinds of food processing and production. This paper reviewed the active components, physiological functions and industrial applications of adlay in order to provide theoretical reference for multi-dimensional utilization of adlay and its high-quality development in future industry.

Key words: adlay protein; adlay polysaccharide; adlay oil; adlay polyphenols; biological activity; processing application

收稿日期: 2021-12-15

基金项目: 江苏省研究生科研创新计划 (KYCX20_1341)

Supported by: Jiangsu Province Graduate Research and Innovation Program (No. KYCX20_1341)

作者简介: 王立峰, 男, 1977 年出生, 博士, 教授, 研究方向为植物蛋白及功能组分设计。E-mail: wanglifeng_8@nufe.edu.cn.

薏米作为我国传统的药食兼用的谷物资源, 具有极高的价值。《薏仁米产业蓝皮书: 中国薏仁米产业发展报告 NO.3 (2019)》指出, 2019 年我国薏米种植面积达 110 万亩, 总产量 55 万 t, 产业发展势头良好。中国是薏米的原产地和主产地之一, 薏米生产和加工规模均属世界第一, 部分薏米直接或间接出口欧美、日本、韩国等国家和地区。随着薏米产业多级市场不断形成, 消费人群和市场不断扩大, 薏米的高效利用的重要性愈加凸显。本文对薏米和薏米所含生物活性成分及其加工应用现状进行综述, 以期为薏米的多维度利用以及薏米产业的高质量发展提供理论参考。

1 薏米概述

薏苡是禾本科玉蜀黍族薏苡属一年或多年生草本植物, 褪去其外壳、种皮和胚得到的干燥成熟种仁为薏米(又名薏苡仁)^[1]。薏米广泛种植于东亚和东南亚各国, 在我国有悠久的种植历史, 主要产地为贵州、云南、福建等省区^[2]。不同地区生产的薏米大小和颜色存在差异, 这种遗传多样性也是其营养成分存在差异的基础^[3]。薏米味甘、淡, 性微寒, 作为我国首批公布的药食同源的食品之一, 其具有极高的营养价值与药用价值^[4]。薏米含有丰富的营养物质。其中, 作为主要供能物质的碳水化合物占比薏米干重约 65%, 仅次于水稻、小麦、玉米等谷物作物^[5]。蛋白质含量占比约为 17%, 贵州兴仁县产纯种小薏米检测出氨基酸共 18 种, 种类齐全, 8 种必需氨基酸含量丰富, 必需氨基酸占氨基酸总量的 34.95%^[6]。脂肪含量占比约 5%, 是大米、大麦和小麦脂肪含量的 5 倍^[7]。除基本的三大能量物质以外, 薏米还含有丰富的微量元素, 如铁、铜、锌、锰、钙和镁等元素, 其中, 镁元素含量是稻米的 2 倍左右^[8]。薏米中的维生素含量较少, 主要是 V_B 和 V_E 一族^[9]。除六大营养素以外, 薏米还含有多糖、脂肪酸、酚类化合物等活性成分, 对于肿瘤、糖尿病、高血压等疾病有良好疗效, 还有助于消化、镇痛、抗炎、清热消暑、美容等。因其较高的实用价值和药用价值, 薏米享有“世界禾本科植物之王的”的称号^[10]。

谷物种子萌芽的过程中会发生一系列生理生

化变化, 一些大分子物质如淀粉和蛋白质会被分解, 营养成分如维生素及矿物质含量增加, 限制性氨基酸等物质的含量提高, 谷物食品的消化率和生物利用率提高, 一些功能成分如 γ -氨基丁酸(GABA)、游离氨基酸、酚类物质的含量将会提高, 从而提高谷物的功能活性^[11-12]。党娟^[13]通过对贵州小白壳薏米进行萌芽处理发现在萌芽期间糙薏米的脂肪、蛋白质、淀粉、粗多糖含量逐渐降低, 而还原糖、游离氨基酸、GABA、V_C、V_{B1}、V_{B2} 逐渐增加。且当萌芽时间为 96 h 时 GABA 含量可达 78.18 mg/100g。徐磊^[14]也研究了发芽对薏米营养和理化特性的影响。发现相较未发芽薏米, 薏米发芽 60 h 后其干重、脂肪、淀粉和三油酸甘油酯含量均有不同程度的降低, 而 GABA 和薏苡素含量分别提高了 2.4 和 2.6 倍。与动物源产品或乳制品相比, 谷物作为原料存在一些缺陷(如缺乏某些氨基酸、存在抗营养化合物等), 但发酵谷物在营养上却优于天然谷物。发酵不仅可以改善谷物的保质期、感官特性还会影响最终产品的功能性质^[15]。通过微生物(如红曲霉、酵母菌、乳杆菌和芽孢杆菌等)发酵方式对薏米进行深加工, 可以实现改善薏米的组织结构, 提高制品营养、风味及食用品质, 增强产品功能活性^[16]。王清爽^[17]等利用干酪乳杆菌发酵不同发芽时间的薏米, 研究表明随着发酵时间的延长, 发芽薏米蛋白质发生显著降解, 低分子量多肽比例和面积显著提高, 游离氨基酸含量显著增加。徐磊^[18]等通过木聚糖酶、纤维素酶、果胶酶和葡聚糖酶协同干酪乳杆菌对脱脂薏米进行发酵, 发现与单独发酵相比, 碳水化合物酶协同发酵能够促进游离氨基酸、多肽和总酚含量的增加。

2 薏米的生物活性成分及其功能特性

研究已经发现, 薏米中含有丰富的生物活性成分, 主要包括薏米蛋白、多糖、油脂、多酚、酰胺、苯并噁酮、木脂素、萜、吡啶、螺甾内酯、甾醇、黄酮、三萜类、腺苷和生物碱等^[19]。薏米具有抗氧化、抗肿瘤、抗炎症、抑菌、降血脂和止痛等功效与其所含的生物活性成分密切相关。相关科学研究采取不同方式提取薏米活性成分并通过构建细胞、动物模型或者临床试验验证了其

生物功能特性。

2.1 薏米蛋白

薏米蛋白不仅具有重要营养价值,还具有重要保健功能,氨基酸组成丰富,含有 18 种氨基酸,包括 8 种人体必需氨基酸,与 FAO/WHO 制定的黄金配比相接近,属于优质蛋白^[20]。但目前对于薏米蛋白的功能及其改性研究却并不多见。现阶段薏米蛋白的提取大多采用碱溶酸沉法,辅以酶解进行辅助提取。侯俐南^[21]等采用碱法和酶法(蛋白酶和淀粉酶)从脱脂薏米中提取蛋白,发现采用碱法、蛋白酶法和淀粉酶法提取的薏米蛋白的纯度分别为 71.05%、86.66%、38.13%。在 pH 9.0 时,蛋白酶提蛋白的溶解性最大,为 86.04%;温度 40 °C 时,碱法提蛋白的溶解性最大,为 79.5%。且蛋白酶法提取的薏米蛋白的乳化性、持水性优于碱法和淀粉酶提取工艺。目前国内对于薏米蛋白资源的研究主要集中于薏米蛋白提取工艺及其功能特性方面,而对于生理活性更好、营养品质更佳的薏米多肽研究较少^[22]。林栋^[23]等以薏米蛋白液为原料,采用双酶协同酶解的方法制备薏米多肽。研究发现薏米多肽的最佳制备条件为:选用胰蛋白酶与碱性蛋白酶双酶协同酶解(酶活比 6:4),酶解时间 3 h、酶解温度 50 °C、酶解 pH9.0、底物浓度 3%、加酶量 1 000 U/g,在此条件下,薏米蛋白液的水解度为 18.05%。薏米多肽具有较强的抗氧化活性,随着质量浓度的增大,其对 DPPH 自由基、ABTS 自由基、羟基自由基的清除能力和还原能力均显著增加,呈现出明显的剂量依赖效应。张艺玮^[24]等采用碱提酸沉法提取薏米蛋白,在不同 pH 条件下对其进行微波改性,并对改性后的薏米蛋白进行功能性质和结构的测定。结果表明,随着 pH 值的增加,薏米蛋白功能性质均发生波动变化,当 pH 值为 8.5 时,薏米蛋白功能性质得到改善,改性薏米蛋白的溶解性、乳化性、乳化稳定性、起泡性、泡沫稳定性均有提高。

2.2 薏米多糖

薏米多糖的单糖组成复杂,包含葡萄糖、甘露糖、阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖,药理活性较高,具有降血脂、降血糖、调节免疫和防治肿瘤

等功效^[25]。薏米多糖具有良好的耐热性能,在 100 °C 左右具有较好的稳定性^[4],并具有一定的抗氧化性,对超氧阴离子自由基、羟基自由基以及 DPPH 自由基具有清除能力^[26]。目前用于研究薏米多糖的提取方法有热水浸提法、超声微波辅助提取法以及亚临界水萃取法等。闫旭宇^[25]等采用超声辅助水提醇沉法提取薏米多糖并对薏米多糖的抗氧化性进行研究,发现在相同的质量浓度下,所提取的薏米多糖对羟基自由基具有一定的清除能力,但效果弱于抗坏血酸。徐梓辉^[27]等研究了薏米多糖的降血糖效果,发现薏米多糖可以降低四氧嘧啶糖尿病模型小鼠、肾上腺素高血糖小鼠和正常小鼠的血糖水平,并且在 25~100 mg/kg 呈现出剂量依赖性。并且薏米多糖能够改善实验性糖尿病大鼠存在红细胞免疫粘附功能及 T 淋巴细胞亚群异常的状态^[28]。Xintian Hu^[29]等采用超声辅助提取的方法从薏米中提取、分离纯化得到了具有抗胃肠道消化的抗性多糖 CSP-A,可以成为影响人体肠道微生物的功能性因子。

2.3 薏米油

薏米油是薏米的重要成分,其主要由油酸(含量 46.40%)、亚油酸(37.41%)、棕榈酸(12.26%)、硬脂酸(2.53%)和长碳链脂肪酸组成^[30]。薏米有极高的营养价值与药用价值,其在医药、美容和医疗方面已经发挥出极大的作用。薏米油能够显著抑制金黄色葡萄球菌、产气荚膜梭菌、志贺氏菌和大肠杆菌的生长^[31]。薏米油具有抗肿瘤活性,特别是对于宫颈癌、肝癌、胃癌、食道癌和结肠癌^[32]。Huiquan Liu^[33]等通过建立肺癌小鼠模型,研究薏米油对肺癌小鼠的治疗效果。研究发现薏米油通过调节 Nf- κ B-MuRF1 和 AMPK-HSL 途径抑制肌肉和脂肪组织的减少,发挥了抗癌的药理作用。在临床试验方面,Peirong Zhang^[34]等通过对癌症患者进行薏米油注射治疗,可以明显减轻癌症患者的疼痛,此外治疗组便秘、恶心等不良反应发生率明显低于对照组。薏米油对于人宫颈癌症也起到良好的治疗效果^[35]。目前薏米油的提取方法有索式抽提法、微波辅助提取法、超声波辅助提取法和水酶法。Xiaonian Xiao^[36]等研究了四种提取方法对薏米油得率和品质的影响。

研究表明微波辅助提取法提取率为 3.43%，超声辅助提取法提取率为 2.13%，水酶法提取率为 1.72%，索式提取法提取率为 1.29%。其中索式抽提法得到的薏米油过氧化值和酸价最高，其他方法的过氧化值和酸值基本相同。

2.4 薏米多酚

薏米多酚具有抗氧化和抗肿瘤等生物功能活性，分为游离型多酚和结合型多酚。王立峰^[37]等通过对薏米样品多酚类物质游离型和结合型部分构建细胞模型，评价细胞内抗氧化能力指数以及对 HepG2 细胞增殖的抑制效果。研究发现，薏米具有较丰富的多酚类物质和较强的抗氧化能力，不同薏米品种间总酚含量和抗氧化能力差异显著，薏米对于人体肝癌细胞也具有明显的增殖抑制作用。张怡一^[38]等利用葡聚糖凝胶将薏米中两类多酚类物质进行分离纯化得到 6 个不同的组分，并对其中抗氧化活性最强的 3 个组分进行半制备，得到 4 种薏米多酚纯化物。进一步研究发现薏米游离型多酚包括： N_1, N_5 -双（对香豆酰）亚精胺、对香豆酸、阿魏酸及芦丁，且 N_1, N_5 -双（对香豆酰）亚精胺为主要成分。薏米结合型多酚粗提物杂质少并且所含多酚类物质单一，主要为阿魏酸。且 4 种酚类化合物具有较强的抗氧化活性。徐茜^[39]等研究发现化合物均具有较强的抗氧化性，能够提高 HepG2 细胞中 T-AOC 含量以及 SOD、CAT 和 GPx 的活性，降低 MDA 的含量，增强细胞的抗氧化能力。林栋^[40]等研究体外模拟消化过程薏米中酚类物质及其抗氧化活性的变化。结果表明：胃肠消化的不同阶段均能显著促进薏米中多酚和黄酮的释出，提高其抗氧化活性。Yijun Yao^[41]研究了薏米结合型多酚对 H_2O_2 诱导的 HepG2 细胞氧化应激的保护作用。研究发现阿魏酸是薏米中不溶性结合多酚的主要活性成分，可以通过 Nrf2 信号通路改善 H_2O_2 诱导的 HepG2 细胞氧化应激。目前薏米多酚的提取方法主要是通过水或有机溶剂（如乙醇、丙酮等）并通过石油醚、乙酸乙酯、氯仿和正丁醇进行萃取。李玲^[42]等利用乙醇提取薏米多酚类物质，研究其提取工艺条件及抗氧化性。发现影响多酚类物质得率的影响因素由强到弱依次为料液比、乙醇浓度、提取温度和提取时间，陈超^[19]采用 80%丙酮溶液

提取薏米粉末制得薏米多酚粗提物，再用正丁醇将粗提物萃取得到正丁醇相提取物，正丁醇相提取物经葡聚糖 LH-20 凝胶柱进一步纯化制得薏米多酚亚组分纯化物，最后亚组分纯化物经半制备液相纯化得到 N_1, N_5 -双（对香豆酰）亚精胺、对香豆酸、阿魏酸、芦丁四种酚类化合物。

2.5 其他活性成分

薏米中的活性成分除了薏米蛋白、多糖、脂类和多酚以外，还含有酰胺、苯并噁酮、木脂素、三萜类^[43]和生物碱类^[44]化合物等多种化学物质。Nagao^[45]等从薏米中分离得到了苯并恶嗪酮类化合物，发现其具有一定的抗炎活性。Ishiguro^[46]等用甲醇从冻干的萌芽薏米中提取并采用制备液相的方法分离得到了一种茛菪类化合物，发现其对酵母菌、真菌和细菌都有一定的抑制效果。Lee^[47]等研究发现薏米甲醇提取物的乙酸乙酯可溶性部分（ABM-EtOAc）对人肺癌细胞 A549、人结肠癌细胞 HT-29 和结肠癌细胞 COLO 205 有较强的抑制作用，进一步经检测分离得到了 5 种内酰胺类抗生素。

3 薏米的应用现状

薏米现已经用于脾虚泄泻、肾病、风湿痹痛、暑夏时令感冒发热等内科疾病；可以排脓消肿，治疗寒湿瘀血互结、腐败成脓的肠痈、用于扁平疣、传染性软疣和寻常疣等皮外科疾病；除此以外，薏米还用于肺癌、肠癌、胃癌、宫颈癌等癌症以及心肌炎、肠息肉、大动脉炎等可治疗疑难杂症的治疗^[48]。广泛用于临床的抗肿瘤药物康莱特注射液其主要成分即为薏米油。薏米可用于制作化妆品的研制，目前薏米提取物已广泛应用于粉刺霜、痤疮膏、雪花膏、香波、头发营养剂、防晒化妆水、消炎性乳液等产品生产中^[49]。林瑞敏^[49]等采用糖化酶酶解提取制备化妆品用薏米提取液。寇莹^[50]等以薏米为主要原料研发了一种具有美白功效的新型薏米美白凝胶，用于保护人的皮肤。汤翠^[51]等将薏米糠油添加至凝胶剂面膜中，制备一款具有美白、抗氧化、保湿效果的面膜。

除上述临床和化妆品领域的应用外，现阶段薏米主要应用于酒、饮料、发酵饮品的加工生产。章国强^[52]用薏米和糯米混合发酵制作出色泽清

澈透亮, 口感爽口且醇厚的薏米黄酒。李兰^[53]等采用红曲霉对薏米进行糖化发酵制作出口感爽适且具有薏米特有芳香的薏米红曲酒。通过添加荞麦、红豆、百香果、蒲公英等辅料制作薏米复合饮品^[54-55]成为现在的研发热点。通过酶解, 添加益生菌^[56-57]进行发酵制作营养价值更高, 具有特殊口感的薏米发酵饮品的研究也愈加得到研究者的关注。此外, 薏米还用于豆腐^[58]、肉饼^[59]等传统食品以及蛋糕^[60]、曲奇饼干^[61]和果冻^[62]等深受现代人喜爱食品的加工生产。

4 结语及展望

薏米营养素丰富且均衡, 含有薏米蛋白、多糖、油脂、多酚、酰胺、三萜类等生物活性成分, 具有抗肿瘤、降血糖、消炎镇痛、清热消暑、美容养颜等功效。薏米因其极高的营养价值与药用价值, 近年来已经应用于临床疾病的治疗, 化妆品的研制以及各种食品的加工生产中, 发挥出极大的作用。然而, 薏米的专利、植物新品种、农业生物遗传资源、传统知识、地理标志及商标等农业知识产权的保护与运用尚未得到应有的重视^[63]。另外, 薏米中的生物活性成分在人体中的消化、吸收、转运情况以及薏米的生物活性因子对人体代谢的调控机制尚未得到较好的阐述。因此, 未来可以进一步加强在该方面的研究, 以提高对薏米全谷物的利用效率, 从而促进我国薏米产业的高质量发展。

参考文献:

- [1] 王沙沙, 李长风, 谭悦, 等. 薏米贮藏过程中异味控制条件的优化[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 252-257.
WANG S S, LI C F, TAN Y, et al. Optimization of storage conditions for inhibiting off-flavor formation in adlay seed[J]. Food Science, 2018, 39(6): 252-257.
- [2] 于泽, 韩燕楠, 肖洋洋, 等. 薏米营养成分和价值的研究现状[J]. 现代食品, 2021(18): 81-83+100.
YU Z, HAN Y N, XIAO Y Y, et al. Research status of barley's nutritional components and value[J]. Modern Food, 2021(18): 81-83+100.
- [3] FAN Z. Coix: Chemical composition and health effects[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 61.
- [4] 梅朝阳, 朱正军, 陈茂彬. 薏仁的成分及其深加工研究进展[J]. 酿酒科技, 2016(11): 104-106+111.
MEI C Y, ZHU Z J, CHEN M B. Research progress on the ingredients and deep processing of Job's tears[J]. Winemaking Technology, 2016(11): 104-106+111.
- [5] 李欢欢, 肖志刚. 薏米营养及活性成分研究现状[J]. 农产品加工, 2018(20): 54-56.
LI H H, XIAO Z G. Research status of barley nutrition and active ingredients[J]. Agricultural Products Processing, 2018(20): 54-56.
- [6] 贾青慧, 陈莉, 王珍, 等. 薏米及薏米糠氨基酸组成分析及营养评价[J]. 食品工业, 2017, 38(4): 185-188.
JIA Q H, CHEN L, WANG Z, et al. Amino acid composition analysis and nutritional evaluation of barley and barley bran[J]. Food Industry, 2017, 38(4): 185-188.
- [7] YU F, ZHANG J, LI Y Z, et al. Research and application of adlay in medicinal field[J]. Chinese Herbal Medicines, 2017, 9(2).
- [8] 李加林, 吴素珍, 李银保, 等. 火焰原子吸收光谱法测定薏苡仁中的微量元素[J]. 食品研究与开发, 2008(1): 126-128.
LI J L, WU S Z, LI Y B, et al. Determination of trace elements in coix seed by flame atomic absorption spectrometry[J]. Food Research and Development, 2008(1): 126-128.
- [9] RAMYA D D, SYAM P K J, XU B J. Phytochemistry and health promoting effects of Job's tears (Coix lacryma-jobi)-A critical review[J]. Food Bioscience, 2020, 34(C).
- [10] 商云帅, 孙宇, 闫琦涛, 等. 响应面优化薏米多酚提取工艺[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(5): 83-86+95.
SHANG Y S, SUN Y, YAN Q T, et al. Response surface methodology to optimize the extraction process of barley polyphenols[J]. Food and Oils, 2021, 34(5): 83-86+95.
- [11] 吕俊丽, 王国泽, 游新勇. 发芽谷物研究进展[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(2): 5-7.
LV J L, WANG G Z, YOU X Y. Research progress of sprouted grains[J]. Grain and Oils, 2014, 27(2): 5-7.
- [12] 刘瑞, 于章龙, 柴永峰, 等. 粮谷及其发芽物质变化研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(13): 293-298.
LIU R, YU Z L, CHAI Y F, et al. Research progress on changes in grains and their sprouting substances[J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(13): 293-298.
- [13] 党娟. 萌芽薏米营养生化特性及产品延伸研究[D]. 贵州大学, 2015.
DANG J. Research on the nutritional and biochemical characteristics of sprout barley and product extension[D]. Guizhou University, 2015.
- [14] 徐磊. 发芽对薏米营养组成、理化特性及生物活性的影响[D]. 江南大学, 2017.
XU L. The effect of germination on the nutritional composition, physical and chemical properties and biological activity of barley [D]. Jiangnan University, 2017.
- [15] 俞德慧, 杨杨, 陈凤莲, 等. γ -氨基丁酸及其在谷物发酵食品中的研究进展[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-10 [2021-11-26].
YU D H, YANG Y, CHEN F L, et al. γ -aminobutyric acid and its research progress in grain fermented food[J/OL]. Food and fermentation industry: 1-10 [2021-11-26].
- [16] 石庆楠, 文安燕. 薏米发酵及其产物功能活性研究进展[J]. 中国酿造, 2021, 40(6): 11-14.
SHI Q N, WEN A Y. Research progress of barley fermentation and its product functional activity[J]. China Brewing, 2021, 40(6): 11-14.

- 11-14.
- [17] 王清爽, 高珊, 朱灵灵, 等. 干酪乳杆菌发酵对脱脂薏米营养品质的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(3): 146-152.
WANG Q S, GAO S, ZHU L L, et al. The effect of *Lactobacillus casei* fermentation on the nutritional quality of defatted barley[J]. Chinese Journal of Food Science, 2021, 21(3): 146-152.
- [18] 徐磊, 戴玉淇, 王心, 等. 碳水化合物酶协同发酵对脱脂薏米水提取液营养品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(5): 142-148.
XU L, DAI Y Q, WANG X, et al. The effect of carbohydrate enzyme co-fermentation on the nutritional quality of defatted barley water extract[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(5): 142-148.
- [19] 陈超. 薏米多酚的分离纯化、结构鉴定及活性研究[D]. 南京财经大学, 2016.
CHEN C. Separation, purification, structure identification and activity study of barley polyphenols[D]. Nanjing University of Finance and Economics, 2016.
- [20] 尚宏丽, 孟鑫, 张挺. 薏米蛋白提取及其 SDS-PAGE 电泳分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(18): 260-265.
SHANG H L, MENG X, ZHANG T. Barley protein extraction and SDS-PAGE electrophoresis analysis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(18): 260-265.
- [21] 侯俐南, 丁玉琴, 杨永桢, 等. 提取方法对脱脂薏米蛋白功能特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(10): 28-31.
HOU L N, DING Y Q, YANG Y Z, et al. The effect of extraction methods on the functional properties of defatted barley protein [J]. Food and Oils, 2016, 29(10): 28-31.
- [22] 韩丽丽. 薏米蛋白酶法制备及产品开发[D]. 广西大学, 2017.
HAN L L. Protease preparation and product development of barley[D]. Guangxi University, 2017.
- [23] 林栋, 李习美, 周玛丽, 等. 双酶法制备薏米多肽工艺及其体外抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 233-239.
LIN D, LI X M, ZHOU M L, et al. Preparation of barley peptides by double-enzyme method and its in vitro antioxidant activity[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(2): 233-239.
- [24] 张艺玮, 任静, 张舒, 等. pH 对微波改性薏米蛋白功能特性的影响[J]. 中国调味品, 2021, 46(9): 48-52.
ZHANG Y W, REN J, ZHANG S, et al. The effect of pH on the functional properties of microwave-modified barley protein[J]. Chinese Condiments, 2021, 46(9): 48-52.
- [25] 闫旭宇, 李玲. 水提醇沉法提取薏米多糖及其对羟自由基的清除作用[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(18): 1-5.
YAN X Y, LI L. Extraction of barley polysaccharide by water extraction and alcohol precipitation and its scavenging effect on hydroxyl free radicals[J]. Food Research and Development, 2019, 40(18): 1-5.
- [26] 刘想, 刘振春, 杨桦, 等. 薏苡仁的药食价值及开发利用[J]. 农产品加工, 2016(18): 57-58+61.
LIU X, LIU Z C, YANG H, et al. The medicinal and edible value of coix seed and its development and utilization[J]. Agricultural Products Processing, 2016(18): 57-58+61.
- [27] 徐梓辉, 周世文, 黄林清. 薏苡仁多糖对四氧嘧啶致大鼠胰岛 β 细胞损伤的保护作用[J]. 中国药理学通报, 2000(6): 639-642.
XU Z H, ZHOU S W, HUANG L Q. Protective effect of coix seed polysaccharide on alloxan-induced pancreatic islet β cell injury in rats[J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2000(6): 639-642.
- [28] 徐梓辉, 周世文, 黄文权, 等. 薏苡仁多糖对实验性糖尿病大鼠红细胞免疫、T 淋巴细胞亚群的影响[J]. 湖南中医学院学报, 2001(1): 17-19.
XU Z H, ZHOU S W, HUANG W Q, et al. The effect of coix seed polysaccharide on red blood cell immunity and T lymphocyte subsets in experimental diabetic rats[J]. Journal of Hunan University of Traditional Chinese Medicine, 2001(1): 17-19.
- [29] HU X T, XU F R, LI J L, et al. Ultrasonic-assisted extraction of polysaccharides from coix seeds: Optimization, purification, and in vitro digestibility[J]. Food Chemistry, 2021.
- [30] 张栋霞, 张涛. GD/MSD 分析薏仁油组份[J]. 粮食与油脂, 2001(1): 42-43.
ZHANG D X, ZHANG T. GD/MSD analysis of Coix seed oil composition[J]. Food and Oil, 2001(1): 42-43.
- [31] 法希芹, 郑明强, 彭波, 等. 薏米油抑菌效果的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(6): 134-135+138.
FA X Q, ZHENG M Q, PENG B, et al. Research on the antibacterial effect of barley oil[J]. Food Industry Science and Technology, 2010, 31(6): 134-135+138.
- [32] BAI C Q, LUO G W, LIU Y Z, et al. A comparison investigation of coix seed oil liposomes prepared by five different methods[J]. Journal of Dispersion Science and Technology, 2015, 36(1): 136-145.
- [33] LIU H Q. Coix seed oil ameliorates cancer cachexia by counteracting muscle loss and fat lipolysis[J]. BMC complementary and alternative medicine, 2019, 19: 1-9.
- [34] ZHANG P, MENG X, TANG X, et al. The effect of a coix seed oil injection on cancer pain relief[J]. Support Care Cancer 2019(27): 461-465.
- [35] CHEN Y Y. A Tf-modified tripterine-loaded coix seed oil microemulsion enhances anti-cervical cancer treatment[J]. International journal of nanomedicine, 2018, 13: 7275.
- [36] XIAO X N, GUO Y, YI X. Comparison on extraction yield and quality of coix seed oil. in: advanced materials research[J]. Trans Tech Publications Ltd, 2011, 2966-2969.
- [37] 王立峰, 陈静宜, 谢慧慧, 等. 薏米多酚细胞抗氧化及 HepG2 细胞毒性和抗增殖作用[J]. 中国农业科学, 2013, 46(14): 2990-3002.
WANG L F, CHEN J Y, XIE H H, et al. Cellular anti-oxidation and HepG2 cytotoxicity and anti-proliferation effects of barley polyphenols[J]. Chinese Agricultural Sciences, 2013, 46(14): 2990-3002.
- [38] 张怡一, 徐茜, 陈琳, 等. 薏米中多酚化合物的分离纯化及抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 26-33.
ZHANG Y Y, XU Q, CHEN L, et al. Isolation, purification and antioxidant activity analysis of polyphenol compounds in barley [J]. Food Science, 2017, 38(13): 26-33.
- [39] 徐茜, 徐斐然, 陈琳, 等. 薏米多酚对 HepG2 细胞中抗氧化酶活性的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(10): 278-284.

- XU Q, XU F R, CHEN L, et al. Effect of barley polyphenols on antioxidant enzyme activity in HepG2 cells[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(10): 278-284.
- [40] 林栋, 管洪兰, 陈银, 等. 体外模拟消化对薏米多酚及其抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(12): 201-207.
LIN D, GUAN H L, CHEN Y, et al. Effects of in vitro simulated digestion on barley polyphenols and their antioxidant activity[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(12): 201-207.
- [41] YAO Y J, WANG H L, XU F R, et al. Insoluble-bound polyphenols of adlay seed ameliorate H2O2-induced oxidative stress in HepG2 cells via Nrf2 signalling[J]. Food Chemistry, 2020, 325.
- [42] 李玲, 王益志, 闫旭宇. 薏米多酚的优化提取及其抗氧化研究[J]. 湘南学院学报, 2015, 36(2): 23-27.
LI L, WANG Y Z, YAN X Y. Optimal extraction of barley polyphenols and its antioxidant research[J]. Journal of Xiangnan University, 2015, 36(2): 23-27.
- [43] HARUKI Y. Water-soluble gluicins from the Seeds of Coix lachryma-jobi[J]. Phytochemistry, 1986, 25(1): 129.
- [44] 温晓蓉. 薏苡仁化学成分及抗肿瘤活性研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2008(3): 135-138.
WEN X R. Research progress on the chemical constituents and anti-tumor activity of coix seed[J]. Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2008(3): 135-138.
- [45] NAGAO T. Benzoxazinones from Coix lachryma-jobi var. ma-yuen[J]. Phytochemistry, 1985, 24(12): 2959-2962.
- [46] YUKIO I, KENJI O, HIDEKI S, et al. a novel antimicrobial substance in etiolated seedlings of adlay[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 1993, 57, 5: 866-866.
- [47] LEE M Y. Isolation and characterization of new lactam compounds that inhibit lung and colon cancer cells from adlay (Coix lachryma-jobi L. var. ma-yuen Stapf) bran[J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(6): 1933-1939.
- [48] 沈福珍. 浅谈薏米仁在临床中的应用[J]. 内蒙古中医药, 2012, 31(8): 39-40.
SHEN F Z. Discussion on the clinical application of barley seed[J]. Inner Mongolia Traditional Chinese Medicine, 2012, 31(8): 39-40.
- [49] 林瑞敏. 复合酶法制备化妆品用薏米提取液工艺研究[J]. 福建轻纺, 2018(6): 34-39.
LIN R M. Study on the technology of preparing Coix seedlings extract for cosmetics by compound enzyme method[J]. Fujian Light and Textile Industry, 2018(6): 34-39.
- [50] 寇莹, 杨帅帅. 薏米美白凝胶产品配方的开发研究[J]. 食品与发酵科技, 2020, 56(2): 76-79.
KOU Y, YANG S S. Research on the development of barley whitening gel product formulation[J]. Food and Fermentation Technology, 2020, 56(2): 76-79.
- [51] 汤翠, 王永恒, 罗凯, 等. 响应面法优化薏米糠油面膜的工艺研究[J]. 现代食品, 2021(8): 137-146.
TANG C, WANG Y H, LUO K, et al. Study on the optimization of barley bran oil mask by response surface methodology[J]. Modern Food, 2021(8): 137-146.
- [52] 章国强. 薏米黄酒的酿造工艺研究[J]. 中国酒, 2021(4): 60-63.
ZHANG G Q. Study on the brewing technology of barley rice wine[J]. China Liquor, 2021(4): 60-63.
- [53] 李兰, 郑浩. 薏米红曲酒的酿造[J]. 酿酒, 2014, 41(6): 93-96.
LI L, ZHENG H. The brewing of barley red yeast rice wine[J]. Wine Making, 2014, 41(6): 93-96.
- [54] 郑欣瑶, 任建军. 薏米 荞麦 百香果复合谷物饮料的研究[J]. 农产品加工, 2019(4): 23-25.
ZHENG X Y, REN J J. Research on barley, buckwheat and passion fruit compound grain beverage[J]. Agricultural Products Processing, 2019(4): 23-25.
- [55] 蔺毅峰, 王静华. 薏米蒲公英复合饮料的研制[J]. 食品工程, 2016(3): 45-48.
LIN Y F, WANG J H. Development of barley and dandelion compound beverage[J]. Food Engineering, 2016(3): 45-48.
- [56] 马丹, 杨源源, 张焕琴, 等. 酶解法制备薏米汁的工艺优化[J]. 中国酿造, 2019, 38(4): 165-169.
MA D, YANG Y Y, ZHANG H Q, et al. Process optimization of barley juice prepared by enzymatic hydrolysis[J]. China Brewing, 2019, 38(4): 165-169.
- [57] 陈海强, 梁钻好, 林小晖, 等. 鼠李糖乳杆菌和产乳酸芽孢杆菌混合发酵薏米饮料[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 98-104.
CHEN H Q, LIANG Z H, LIN X H, et al. Mixed fermentation of barley beverage with Lactobacillus rhamnosus and Bacillus lactis[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(11): 98-104.
- [58] 谭孟娜, 杨豫斐, 张馨, 等. 薏米豆腐工艺参数优化及其抗氧化特性研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(9): 54-58.
TAN M N, YANG Y F, ZHANG X, et al. Optimization of barley tofu process parameters and its antioxidant properties[J]. Food and Oils, 2018, 31(9): 54-58.
- [59] 赵家圆, 李亚霖, 肖博聪, 等. 薏米鸡肉饼配方的研制[J]. 肉类工业, 2018(12): 1-4+10.
ZHAO J Y, LI Y L, XIAO B C, et al. Preparation of barley chicken pie recipe[J]. Meat Industry, 2018(12): 1-4+10.
- [60] 马栋. 红豆薏米蛋糕加工工艺研究[J]. 现代面粉工业, 2018, 32(6): 20-23.
MA L. Research on processing technology of red bean and barley cake[J]. Modern Flour Industry, 2018, 32(6): 20-23.
- [61] 徐淼, 大智. 薏米曲奇饼干的工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(9): 77-80.
XU M, DA Z. Research on the technology of barley cookies[J]. Cereals and Fats, 2018, 31(9): 77-80.
- [62] 郭楠楠, 游新侠, 黄伟杰. 杂粮果冻的加工工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(2): 38-40.
GUO N N, YOU X X, HUANG W J. Research on the processing technology of miscellaneous grain jelly[J]. Grain and Fats, 2019, 32(2): 38-40.
- [63] 孙元鹏, 孙燕玲, 吴皓, 等. 药食两用薏苡区域化与高质量发展的现状与策略[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(10): 129-134.
SUN Y P, SUN Y L, WU Z, et al. The status and strategy of the regionalization and high-quality development of Coix for food and medicine[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2019, 47(10): 129-134. ☉