

薏苡功能活性及应用研究进展

张旭娜^{1,2}, 么 杨², 任贵兴^{1*}, 崔 波^{2*}

(1. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; 2. 齐鲁工业大学食品科学与工程学院, 济南 250353)

摘 要: 薏苡是一种历史悠久的保健品和中成药, 营养丰富且均衡, 富含碳水化合物, 蛋白质, 脂肪, 粗纤维, 磷、钙、铁等微量元素, 以及多种人体所需的必需氨基酸, 且饱和脂肪酸含量较高, 有“世界禾本科植物之王”之称。现代药理学研究表明, 薏苡中含有脂类、酚类、醇类、酸类、醛酮类、木脂素类、腺苷等 70 余种生物活性物质, 具有抗炎、抗肿瘤、免疫调节、抗病毒、降血糖等生理活性, 因此有加工成具有食用和药用价值保健产品的潜力, 具有广阔的发展前景。本文综述了近年来国内外关于多酚、黄酮、多糖等多种薏苡生物活性物质在其功能活性及应用方面的研究进展, 通过本文综述, 以期推进薏苡高值化利用, 促进薏苡深加工产业发展, 进一步为功能食品开发和农产品深加工提供理论依据。

关键词: 薏苡; 多酚; 黄酮; 多糖; 功能活性

Research advance on the biological activity and application of adlay

ZHANG Xu-Na^{1,2}, YAO Yang², REN Gui-Xing^{1*}, CUI Bo^{2*}

(1. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. School of Food Science and Technology, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China)

ABSTRACT: Adlay, which is called of the king of the world gramineous plants, is a kind of Chinese medicines with a long planted history, rich in carbohydrates, protein, fat, crude fiber, phosphate, calcium, iron and other trace elements, as well as a variety of essential amino acids and higher unsaturated fatty acid content. Modern pharmacology studies showed that adlay was a kind of high nutritional value plants with more than 70 kinds of bioactive substances, such as phenols, alcohols, acids, aldehydes, ketones, lignans, adenosine, and so on, which had potential medicinal activities of anti-inflammation, anti-tumor, immunocompetence, anti-virus, reducing blood sugar, and other physiological functions. Therefore, it had potential for processing health products with edible and medicinal value, and had broad prospects for development. This paper reviewed the functional activities and application of adlay bioactive substances, including polyphenols, flavonoids and polysaccharides, in order to provide a theoretical basis for the development of the functional food and the deep of processing agricultural products of adlay.

KEY WORDS: adlay; polyphenols; flavonoids; polysaccharides; functional activity

基金项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-08-G20)、中国农业科学院科技创新工程杂粮营养与功能创新团队项目

Fund: Supported by Technical System Special of Modern Agricultural Industry (CARS-08-G20) and Team Project on Nutrition and Function Innovation in Scientific and Technological Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Sciences

***通讯作者:** 崔波, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为农产品加工与应用。E-mail: cuibopaper@163. Com

任贵兴, 博士, 研究员, 主要研究方向为杂粮营养与功能。E-mail: renguixing@caas.cn

***Corresponding author:** CUI Bo, Ph.D, Professor, School of Food Science and Technology, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China. E-mail: cuibopaper@163.com

REN Gui-Xing, Ph.D, Professor, Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China. E-mail: renguixing@caas.cn

1 引言

薏苡(adlay)又称薏仁米、六谷、药玉米等,是禾本科薏苡属植物,在中国、印度、越南、缅甸、泰国、菲律宾、马来西亚、日本等国家均有广泛种植^[1]。薏苡多生长于荒野、溪涧、山谷等阴湿的地方,株高 1~1.5 m,花果期 7~12 月,其种仁被称为薏仁、薏苡仁、薏米等^[2],呈长圆形,颗粒较大,直径 4~6 mm,腹面有宽沟,质地坚实,通体呈现白色或黄白色。薏苡是一种历史悠久的保健品和中成药,具有健脾、清热、补肺、祛湿、减肥等功效,有“世界禾本科植物之王”及“生命健康之友”的称号^[3]。

薏苡是一种营养丰富且均衡的谷物,含碳水化合物 65%,蛋白质 14%,脂肪 5%,粗纤维 3%,磷 0.242%,钙 0.07%,铁 0.001%,其蛋白质含量远远高于小麦和水稻,薏苡中含有多种人体所需的必需氨基酸及微量元素,不饱和脂肪酸含量较高,其中油酸和亚油酸含量高达 75%。20 世纪 60 年代开始,中外学者对其化学成分进行了研究,得到了脂类、酚类、醇类、酸类、醛酮类、木脂素类、腺苷等化合物 70 余种^[4],现代药理学研究表明,薏苡具有多种功能活性,本文就其多种功能成分及生理活性研究进行综述,为进一步利用和开发薏苡产业提供理论依据。

2 薏苡的功能成分及生理活性

薏苡具有脂类、酚类、醇类、酸类、醛酮类、木脂素类、腺苷等化合物 70 余种^[5]。早期研究薏苡具有镇痛、解热、镇静等作用,可以对离体心脏、子宫、肠管等器官产生兴奋^[6]。近年来研究发现,薏苡提取物具有抗炎、抗肿瘤、免疫调节、抗病毒、降血糖等生理活性^[7],在临床上常用于肝炎、肠炎、风湿性关节炎、湿疹、脚气等疾病的治疗,以及胃癌、肺癌、直肠癌、鼻咽癌等疾病的预防,已取得了较好的疗效^[8]。薏苡生理活性与其功能成分具有重要关联,本文对其重要功能成分进行阐述。

2.1 酚类

酚类物质是在植物中发现的、具有潜在促进健康作用的化合物。它存在于一些常见的植物性食物,如茶、可可豆、红酒、爆米花、大豆、水果和蔬菜中,具有抗氧化活性,能够预防多种由于氧化引起的慢性疾病,如衰老、心血管病和癌症^[9]。此外,多酚可抑制 LDL 胆固醇氧化,降低血凝块形成,促进血管舒张,降低炎症反应。以色列研究人员还发现多酚可以有效预防高脂食物对人体的危害^[10]。黄酮广泛存在于植物界,具有抗炎、抗病毒、利胆、镇静、强心、镇痛、抗氧化、抗衰老、免疫调节等作用^[11],因而受到广泛关注和应用,目前所发现的黄酮类化合物有 8000 多种,主要分为 10 类,包括黄酮、异黄酮、黄烷酮、花色苷等^[12]。

Chen 等^[13]研究了薏苡乙醇提取物对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除能力以及脂多糖(lipopolysaccharides, LPS)诱导的 RAW 264.7 小鼠炎症巨噬细胞的影响,研究发现其具有较强的抗氧化和抗炎能力,通过对提取物进一步分析鉴定发现了绿原酸、香草酸、咖啡酸、阿魏酸(ferulic acid, FA)等物质,推测其功效成分为多酚类物质。Chung 等^[14]采用乙醇提取-乙酸乙酯萃取薏苡糠,探索其对 1,2-二甲肼(1, 2-dimethyl hydrazine)诱导的 F344 大鼠结肠癌抑制作用。研究发现,相比于对照组,薏苡糠萃取物可明显抑制 RAS 和 Ets2 癌基因表达,抑制 COX-2 蛋白表达。高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)分析发现,萃取物种含有多酚类物质,其中以阿魏酸为主,说明多酚可能与其抑制结肠癌作用相关。黄凯玲等^[15]通过吸光度法测定发现,薏苡叶乙酸乙酯提取物中多酚含量较高,体外抗氧化活性研究表明,其羟自由基、超氧自由基和 DPPH 自由基清除能力较强且呈现剂量依赖关系。说明薏苡多酚具有较强的抗氧化活性。Zhao 等^[16]研究发现,从薏苡中提取的游离酚酸和结合酚酸具有较强的黄嘌呤氧化酶抑制活性, DPPH 自由基清除能力、氧自由基吸收能力和超氧化物自由基清除能力,其中产生抗氧化活性的主要有对香豆酸、阿魏酸和绿原酸。Chen 等^[17]研究了从薏苡中提取的 4 种酚类化合物亚精胺、对香豆酸、阿魏酸和芦丁对 HepG-2、MCF-7 和 CaCo-2 癌细胞的抗肿瘤活性,研究发现 4 种物质都有抗肿瘤活性,其中亚精胺活性最强,IC₅₀ 值介于 (46.34 ± 3.99)和(92.69 ± 5.63) μg/mL 之间。

Chen 等^[18]研究发现,薏苡提取物可以抑制 LPS 诱导的 RAW 264.7 小鼠巨噬细胞因子 IL-6 和 TNF-α 的产生,具有抗炎活性,通过核磁共振和液质联用进一步分析发现了 5 种黄酮类物质,作者推测提取物中产生抗炎作用的可能是此类黄酮中的 1 种或者几种。齐静^[19]研究发现,薏苡仁乙醇提取物中含有较多的黄酮类化合物,含量为 0.101~0.182 mg/g,进一步研究发现,薏苡仁总黄酮能使细胞内色素氧化酶活性增强,丙二醛含量下降,呼吸作用增强,对超氧阴离子自由基、羟自由基有清除作用,抗氧化活性较强。Chen 等^[20]研究发现,浓度为 40.8 μg/mL 的薏苡乙醇-乙酸乙酯提取物可以显著抑制肥大细胞脱粒作用,抑制组织胺释放(IC₅₀=71~87 μg/mL),抑制 RBL-2H3 细胞 IL-4、IL-6 和 TNF-α 等细胞因子的分泌,具有抗过敏作用,进一步研究分离出 6 种多酚和 1 种黄酮类化合物,在这些化合物中,毛地黄黄酮抗过敏活性最强(IC₅₀=1.5 μg/mL)。

2.2 多糖

多糖是一种天然高分子聚合物,在自然界中广泛存在,是多种植物的有效成分之一,不仅对细胞没有副作用,而且具有多种潜在的生物活性和药用效果^[21],因而近

年来受到了广泛关注,高效低毒多糖类药物的开发已成为当今世界新药的研究方向之一,具有广阔的前景。

Yao等^[22]研究发现,超声波提取薏苡多糖可以明显地促进LPS诱导的RAW 264.7小鼠巨噬细胞NO、IL-6和TNF- α 等细胞因子的产生,具有较强的免疫活性,进一步结构分析发现薏苡多糖由鼠李糖、阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖组成。方向毅^[23]探索了薏苡仁多糖对糖尿病的临床影响,随机抽取60例入院糖尿病患者,平均分成对照组(常规)和实验组(薏苡仁多糖),结果发现,实验组空腹血糖、餐后2h血糖指数以及糖化血红蛋白指数较优,各指数均得到改善,且不良反应发生率低,临床疗效较好。Lu等^[24]研究发现醇沉薏苡多糖(CP-1)对人体肺癌A549细胞有促凋亡作用,且呈现剂量依赖关系,免疫印迹法进一步研究表明,细胞凋亡蛋白酶-3和细胞凋亡蛋白酶-9蛋白质的表达增强,这有望成为开发新型抗癌药物的基础。刘想等^[25]研究了薏苡多糖对羟基自由基、超氧阴离子自由基及DPPH自由基的清除能力,结果表明,当薏苡多糖浓度为5 mg/mL时,对上述自由基的清除能力分别为10.12%、44.81%和29.25%,研究发现随着薏苡多糖浓度的增加,抗氧化活性增强。王彦芳等^[26]通过体内实验研究了薏苡仁多糖对脾虚大鼠免疫功能的影响,研究发现,相比于对照组,多糖组大鼠体质量,脾脏指数,胸腺指数,血清蛋白,血清IFN- γ 、IgG、IL-2、C3、IgA含量明显提高,IL-4含量显著降低,薏苡仁多糖具有改善脾虚大鼠免疫活性的功能,推测其机制可能与恢复Th1/Th2平衡,提高免疫球蛋白水平有关。

2.3 薏苡仁油

薏苡仁油为薏苡仁中特有的活性成分,主要组成为中性油脂和甘油三酯,其中含薏苡仁酯、薏苡内酯等多种酯类^[27]。薏苡仁油有多种生理功效,具有益气养阴、消郁散结、增强免疫力和抗肿瘤等功能,适用于多种肺癌及原发性肝癌,配合放、化疗有一定的增效作用,且对中老年癌症患者具有一定的止痛作用^[28],且其为天然化学产物,副作用小^[29],薏苡仁油作为一种新兴药物受到越来越多的关注。

Bao等^[30]研究发现,薏苡仁油可以抑制胰腺癌细胞SW1990和PaTu-8988的增殖,通过流式细胞术检测发现,细胞周期阻滞于G2/M,基因芯片分析发现,包括p21、p27、p53、bax、bcl-2、cyclins、ATM、CDK2和RAD50等24个与细胞凋亡相关的基因发生了明显的变化。梁欣妍等^[31]综述了国内外学者对薏苡仁油在抗消化系统肿瘤方面研究,其作用已被多方证实,成为薏苡仁油最重要的功能,对于药物研发和临床具有重大意义。Han^[32]在用薏苡仁油(KLT)诱导人宫颈癌HeLa细胞凋亡的实验过程中发现KLT在诱导癌细胞坏死的同时能诱导细胞凋亡,流式细胞术(flow

cytometry, FCM)检测到细胞的凋亡率为13%。研究表明,薏苡仁油可促进癌细胞凋亡,具有较好的抗癌效果。张静美等^[33]通过正交试验优化了薏苡仁油的最佳提取工艺,以无水乙醇为溶剂,料液比1:2.5(*m*:*V*)、超声功率100 W、提取温度60℃、提取时间50 min,在此条件下提取率为(7.68 $\pm$ 0.12)%,进一步研究表明,该薏苡仁油对结肠癌细胞(SW480)、人肝癌细胞(SMMC7721)、人乳腺癌细胞(MCF7)、人肺癌细胞(A549)和人早幼粒白血病细胞(HL-60)均具有较好的抑制效果,抑制率分别为95.52%、91.83%、85.02%、92.54%、72.89%,说明薏苡仁油具有较好的抗癌效果。周闲容^[34]研究了5个不同品种薏苡中三萜、多糖、黄酮、薏苡仁酯含量及其乙醇提取物的 α -葡萄糖苷酶抑制活性和DPPH自由基清除抗氧化活性,研究表明,品种“晴隆薏苡”中三萜和薏苡仁酯含量最高,同时降糖活性和抗氧化活性也最强。

2.4 其他功能成分

李晨等^[35]以薏苡为原料,通过除脂、加水提取、层析分离纯化得到一种蛋白,SDS-PAGE分析发现其分子量为28 kD,抑菌活性鉴定表明,该蛋白对绿色木霉、链格孢霉和白腐菌3种真菌具有显著的抑制活性作用,且呈现剂量依赖关系。Lee等^[36]研究发现,薏苡糠甲醇提取-乙醇乙酯萃取物对肺癌A549细胞、COLO205细胞和肠癌HT-29细胞均具有较强的抗增殖作用,进一步分离得到5个内酰胺类化合物,研究表明,5种化合物均具有抑制上述癌细胞增殖作用, IC_{50} 为28.57~72.57 μ g/mL。

3 薏苡应用研究现状

薏苡是我国传统的药食同源植物,极具开发潜力,一方面,其营养价值较高,富含碳水化合物、蛋白质、脂肪、粗纤维、多种必需氨基酸、不饱和脂肪酸及多种微量元素,是典型的“绿色食品”,具有较高的食用价值^[37,38];另一方面,薏苡是我国传统中药,薏苡具有镇痛、解热、镇静等作用,可以对离体心脏、子宫、肠管等器官产生兴奋,且其提取物有抗炎、抗肿瘤、免疫调节、抗病毒、降血糖等多方面的活性,具有较高的药用价值^[39,40]。

在食品应用方面,以薏苡为原料研发生产的产品较多,涉及方向范围较广,主要包括日常常规食品,功能保健食品以及药用食品,Chen等^[41]研究了薏苡乳酸菌饮料的生产工艺,最佳参数为:料液比1:5(*g*/*mL*),乳酸菌接种0.1%,42℃发酵6h,该饮料可溶性固形物含量为8.1%,酸甜可口,具有特殊的香味,各物理化学指标和感官指标均符合国标。宋微等^[42]利用酶解和发酵相结合的方法发明了一种薏苡仁乳酸菌饮料,确定了最佳工艺参数,产品外观好,口感佳,可用做相关产品的研发。赵小艳^[43]以玉米和薏苡为原料,经过适当的比例调配,研制出口感最佳的玉

米薏苡仁复合饮料。夏伟等^[44]发明了一种包含薏苡仁的口香糖,该口香糖由薏苡仁提取物、茯苓、薄荷、菊花提取物、甜味剂、胶基和香精制成,各成分相辅相成,临床研究表明其具有较好的抑菌抗炎功效,可用于治疗牙龈炎和牙菌斑,具有显著的口腔保健效果。徐葱茏等^[45]发明了一种薏苡仁中药饮片,由薏苡仁和食用油制成,该饮片细胞内的有效成分能迅速溶出,具有临床降糖、降低刺激性、抗肿瘤等功效。李志等^[46]通过正交试验,确定了薏仁粉、低筋蛋糕粉、黄油、糖粉和水的最佳配比参数,按此配方制作的薏仁饼干具有良好的口感的品质。陆雅丽等^[47]以薏苡仁、面粉、鸡蛋为原料,确定了薏苡仁无铅沙琪玛的最佳工艺配方,产品具有薏苡的特殊风味。王颖等^[48]筛选醋酸菌种,对薏苡仁进行发酵,优化发酵工艺条件,制成薏苡仁醋,产量为 6.76 g/100 mL,醋香浓郁,口感纯正。

此外,近年来薏苡在美容养颜方面的价值也逐渐被发掘,梁国坚^[49]研究发明了一种洗面奶,由何首乌提取物、薏苡仁提取物、冬瓜子提取物、海藻酸钠等组分组成。该洗面奶不仅能够深层清洁污垢,同时还能补水保湿,使皮肤光洁弹润。李宇琼^[50]以薏苡仁粉、绿豆粉、金银花、甘菊、蜂蜜为原料,研究发明了一种美白祛痘面膜,将 5 种原料功能活性相结合,使面膜具有抑制黑色素形成,清热解毒和抗菌消炎作用,且能滋润肌肤,长期使用可以达到逐渐改善皮肤的效果。吴映梅^[51]以贵州薏苡为原料,研发了薏苡仁饮料和薏苡仁面膜这 2 种薏苡深加工产品。

4 结 论

薏苡营养丰富,含有多种生物活性物质,具有多种功能活性,是一种药食同源的粮食作物。随着经济的发展和人们对膳食平衡的追求,其营养和保健功效日益受到人们重视,近年来,越来越多的专家学者投入到相关产品的研究与应用中,为充分挖掘薏苡资源潜能,发挥薏苡的保健功能,全面提升薏苡产业附加值,发挥良好的经济效益,利用先进技术进行深加工和综合利用,进一步研发出深受广大消费者欢迎的新型、方便、美味的薏苡健康食品奠定了基础。

参考文献

- [1] 汪灿,周棱波,张国兵,等. 薏苡种质资源成株期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J]. 作物学报, 2017, 43(9): 1381-1394.
- [2] Brett Schneider J, Tredici KD, Irwin DJ, et al. The effect of treatment of growth regulator on major agronomic characteristics in adlay plant (*Coix agrestis* (non lour.) MIQ) [J]. PLoS One, 2013, 8(10): 669-674.
- [3] 曹玉杰. 薏苡仁在皮肤科的应用[J]. 中国民间疗法, 2014, 22(12): 39.
- [4] Shang S, Qin LK, Yang XL, et al. Effects of segmented heating processes on nutritional and functional components in adlay [J]. Food Sci, 2014, 35(5): 81-84.
- [5] Wang L, Chen J, Xie H, et al. Phytochemical profiles and antioxidant activity of adlay varieties [J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(21): 5103-5113.
- [6] 付志红,周琼,胡著云. 薏苡仁治疗妇科疾病的药理机制研究[J]. 江西中医药, 2011, 42(4): 55-57.
- [7] Fu ZH, Zhou Q, Hu ZY. Study on the pharmacological mechanism of coix seed in the treatment of gynecological diseases [J]. Jiangxi Chin Med, 2011, 42(4): 55-57.
- [8] Xu L, Yang N, Wu F, et al. Impact of germination on the chemical components and bioactive properties of adlay (*Coix lachrymal-jobi* L.) water extract [J]. Int J Food Sci Technol, 2018, 53(2): 449-456.
- [9] 张启华. 薏苡仁药理作用及临床应用研究进展[J]. 实用中医药杂志, 2006, 22(8): 517-518.
- [10] Zhang QH. Research on the pharmacological action and clinical application of coix seed [J]. J Pract Chin Med, 2006, 22(8): 517-518.
- [11] Zamora-Ros R, Knaze V, Rothwell JA, et al. Dietary polyphenol intake in Europe: the European prospective investigation into cancer and nutrition (EPIC) study [J]. Eur J Nutr, 2016, 55(4): 1-17.
- [12] 董朝菊. 以色列发现柿果能抗动脉硬化[J]. 柑桔与亚热带果树信息, 2002, (2): 16.
- [13] Dong CJ. Israel found that persimmon fruit can resist atherosclerosis [J]. Inf Citrus Subtrop Fruit Trees, 2002, (2): 16.
- [14] Nan J, Doseff AI, Erich G. Flavones: From biosynthesis to health benefits [J]. Plants, 2016, 5(2): 27.
- [15] 郑丽,刘振春,张星,等. 紫薯茎叶中黄酮的提取及其功能性研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(9): 3566-3573.
- [16] Zheng L, Liu ZC, Zhang X, et al. Research on the extraction and functional research of flavonoids in the stem leaves of purple sweet potato [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(9): 3566-3573.
- [17] Chen HJ, Shih CK, Hsu HY, et al. Mast cell-dependent allergic responses are inhibited by ethanolic extract of adlay (*Coix lachrymal-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf) testa [J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(4): 2596-2601.
- [18] Chung CP, Hsu HY, Huang DW, et al. Ethyl acetate fraction of adlay bran ethanolic extract inhibits oncogene expression and suppresses DMH-induced preneoplastic lesions of the colon in F344 rats through an anti-inflammatory pathway [J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(13): 7616-7623.
- [19] 黄凯玲,黄建红,黄锁义,等. 薏苡叶乙酸乙酯提取物体外抗活性氧自由基作用研究[J]. 微量元素与健康研究, 2016, 33(3): 4-6.
- [20] Huang KL, Huang JH, Huang SY, et al. Effects of ethyl acetate extract from coix leaf on active oxygen free radicals *in vitro* [J]. Stud Trace Elem Health, 2016, 33(3): 4-6.
- [21] Zhao M, Zhu D, Sun-Waterhouse D, et al. *In vitro* and *in vivo* studies on adlay-derived seed extracts: phenolic profiles, antioxidant activities, serum uric acid suppression, and xanthine oxidase inhibitory effects [J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(31): 7771-7778.
- [22] Chen C, Zhang Y, Gao Y, et al. Identification and anti-tumour activities of phenolic compounds isolated from defatted adlay (*Coix lachrymal-jobi* L., var. *ma-yuen* Stapf) seed meal [J]. J Funct Foods, 2016, 26: 394-405.
- [23] Chen HJ, Chung CP, Chiang W, et al. Anti-inflammatory effects and

- chemical study of a flavonoid-enriched fraction from adlay bran [J]. Food Chem, 2011, 126(4): 1741–1748.
- [19] 齐静. 薏苡远缘杂种营养成分和薏苡总黄酮对线粒体自由基损伤的保护作用的研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 1999.
- Qi J. Studies on the protective effects of the nutritional components and the total flavonoids of *Coix lacryma-jobi* on the protection of mitochondrial free radical damage [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 1999.
- [20] Chen HJ, Lo YC, Chiang W. Inhibitory effects of adlay bran (*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen Stapf*) on chemical mediator release and cytokine production in rat basophilic leukemia cells [J]. J Ethnopharm, 2012, 141(1): 119–127.
- [21] Liu J, Willför S, Xu C. A review of bioactive plant polysaccharides: Biological activities, functionalization, and biomedical applications [J]. Bioact Carbohydr Dietary Fibre, 2015, 5(1): 31–61.
- [22] Yao Y, Zhu Y, Gao Y, et al. Effect of ultrasonic treatment on immunological activities of polysaccharides from adlay [J]. Int J Biol Macromol, 2015, 80: 246–252.
- [23] 方向毅. 探讨薏苡仁提取物薏苡仁多糖对治疗糖尿病的影响研究[J]. 世界最新医学信息文摘, 2017, (6): 94–96
- Fang XY. Study on the effect of Coix seed extract on the treatment of diabetes mellitus [J]. Abstr Latest Med Inform World, 2017, (6): 94–96
- [24] Lu X, Liu W, Wu J, et al. A polysaccharide fraction of adlay seed (*Coix lacrymal-jobi* L.) induces apoptosis in human non-small cell lung cancer A549 cells [J]. Biochem Biophys Res Commun, 2013, 430(2): 846–851.
- [25] 刘想, 刘振春. 薏苡仁多糖抗氧化能力的研究[J]. 农产品加工月刊, 2017, (2): 12–14.
- Liu X, L ZC. Studies on antioxidant capacity of polysaccharide from coix seed [J]. J Agric Prod Processing, 2017, (2): 12–14.
- [26] 王彦芳, 季旭明, 赵海军, 等. 薏苡仁多糖不同组分对脾虚水湿不化大鼠模型免疫功能的影响[J]. 中华中医药杂志, 2017, (3): 1303–1306.
- Wang YF, Ji XM, Zhao HJ, et al. Effects of different components of Coix seed kernel polysaccharides on immune function in rats with spleen deficiency and dampness and dampness [J]. Chin J Tradit Chin Med, 2017, (3): 1303–1306.
- [27] Hu Y, Liang H, Gong WK, et al. Effect of jobstears seed oil on telomerase activity of rat mesangial cells *in vitro* [J]. Chin J Pharm Toxicol, 2005, (6): 452–454.
- [28] Xi XJ, Zhu YG, Tong YP, et al. Assessment of the genetic diversity of different job's tears (*Coix lacryma-jobi* L.) accessions and the active composition and anticancer effect of its seed oil [J]. PLoS One, 2016, 11(4): e0153269.
- [29] 郑利, 陈丹, 范世明, 等. 薏苡仁油的质量分析[J]. 福建医科大学学报, 2016, 50(4): 222–226.
- Zheng L, Chen D, Fan SM, et al. Quality analysis of coix seed oil [J]. J Fujian Med Univ, 2016, 50(4): 222–226.
- [30] Bao Y, Yuan Y, Xia LU, et al. Neutral lipid isolated from endosperm of Job's tears inhibits the growth of pan-creatic cancer cells via apoptosis, G2/M arrest, and regulation of gene expression [J]. J Gastroenterol Hepatol, 2005, 20(7): 1046–1053.
- [31] 梁歆妍, 丁筑红. 薏苡仁油对消化系统肿瘤的药理作用及临床应用[J]. 实用医学杂志, 2017, 33(1): 159–161.
- Liang XY, Ding ZH. The pharmacological action and clinical application of coix seed oil on digestive system tumors [J]. J Pract Med, 2017, 33(1): 159–161.
- [32] Han S. The mechanism of coixenolide-induced apoptosis in human cervical cancer cells [J]. Tumor, 2002, 22(6): 481–482.
- [33] 张静美, 施蕊, 夏菁, 等. 低热河谷区薏苡仁油的提取及对癌细胞的抑制研究[J]. 西部林业科学, 2017, 46(5): 113–118.
- Zhang JM, Shi R, Xia J, et al. Study on the extraction of coix seed oil in low heat valley area and the inhibition of cancer cells [J]. Western Forest Sci, 2017, 46(5): 113–118.
- [34] 周闲容. 薏苡仁与小豆品质评价及膨化食品研发[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- Zhou XR. Evaluation of quality of coix seed and pea and research and development of expanded food [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013.
- [35] 李晨, 白承之, 李玉英, 等. 一种薏苡抗真菌蛋白的制备及抑菌活性研究[J]. 食品科学, 2012, 33(5): 46–48.
- Li C, Bai CZ, Li YY, et al. Coix seed antifungal protein preparation and antibacterial activity [J]. Food Sci, 2012, 33(5): 46–48.
- [36] Lee MY, Lin HY, Cheng F, et al. Isolation and characterization of new lactam compounds that inhibit lung and colon cancer cells from adlay (*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen Stapf*) bran [J]. Food Chem Toxicol, 2008, 46(6): 1933–1939.
- [37] 谢晶, 刘丽宅, 卢曼曼, 等. 薏苡仁的营养价值与食用功效的研究进展[J]. 粮食加工, 2016, (3): 50–52.
- Xie J, Liu LZ, Lu MM, et al. Study on the nutritional value and edible efficacy of coix seed [J]. Food Processing, 2016, (3): 50–52.
- [38] 岳佳. 薏苡仁功能性食品研发及储藏稳定性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.
- Yue J. Research on the development and storage stability of coix seed functional food [D]. Zhengzhou: Henan Polytechnic University, 2016.
- [39] 陈姝嫻. 薏米的药用价值[J]. 养生月刊, 2017, (10): 892–894.
- Chen SX. The medicinal value of coix seed [J]. J Health Preserv, 2017, (10): 892–894.
- [40] 邓素芳, 应朝阳, 杨有泉, 等. 薏苡功能性成分研究进展[J]. 中国农学通报, 2017, 33(12): 123–128.
- Deng SF, Ying CY, Tang YQ, et al. Research progress on functional components of coix [J]. Chin Agron Bull, 2017, 33(12): 123–128.
- [41] Chen LH, Tao H, Xu D. Preparation of lactobacillus beverage with jobstears seed [J]. Food Ind, 2013, 34(9): 84–87.
- [42] 宋微, 单毓娟, 杜明, 等. 薏苡仁乳酸菌饮料发酵工艺: CN 104304450 A[P]. 2015.
- Song W, Shan YJ, Du M, et al. Beverage fermentation technology of Coix lactic acid bacteria: CN 104304450 A. [P]. 2015.
- [43] 赵小艳. 玉米薏苡仁汁饮料制作工艺的优化[J]. 现代养生, 2016, (1): 62–63.
- Zhao XY. Optimization of processing technology of corn coix seed juice [J]. Mod Health Preserv, 2016, (1): 62–63.
- [44] 夏伟, 叶颖, 倪晶, 等. 一种包含薏苡仁的口香糖及其制备方法: CN106858029A[P]. 2017.
- Xia W, Ye Y, Ni J, et al. A kind of chewing gum containing coix seed and its preparation method: CN106858029A [P]. 2017.
- [45] 徐葱茏, 袁贵平. 一种薏苡仁法制饮片及其制备方法: CN 103948839 B [P]. 2016.

- Xu CL, Yuan GP. A method of coix seed preparation and preparation: CN 103948839 B [P]. 2016.
- [46] 李志, 徐俐, 冯佳佳. 薏仁饼干制作配方的研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(3): 86–90.
- Li Z, Xu L, Feng JJ. Study on the recipe of cookies [J]. Food Res Dev, 2017, 38(3): 86–90.
- [47] 陆雅丽, 王明力, 吴映梅, 等. 薏苡仁无铝沙琪玛的研究[J]. 食品科技, 2013, (10): 137–139.
- Lu YL, Wang ML, Wu YM, *et al.* Study on the absence of aluminum in coix seed [J]. Food Sci Technol, 2013, (10): 137–139.
- [48] 王颖, 阚建全, 余义筠, 等. 薏苡仁醋的醋酸发酵工艺条件响应面法优化[J]. 食品科学, 2013, 34(21): 292–296.
- Wang Y, Kan JQ, Yu YJ, *et al.* Optimization of acetic Acid fermentation process for coix seed vinegar by response Surface method [J]. Food Sci, 2013, 34(21): 292–296.
- [49] 梁国坚. 一种洗面奶: CN, CN102133163A [P]. 2011.
- Liang GJ. A facial cleanser: CN, CN102133163A [P]. 2011.
- [50] 李宇琼. 一种美白祛痘面膜及其制备方法: CN105982837A [P]. 2016.
- Li YQ. A kind of whitening acne mask and its preparation method: CN105982837A [P]. 2016.
- [51] 吴映梅. 薏苡仁饮料及面膜的研究与开发[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015.

Wu YM. Research and development of coix seed beverage and facial mask [D]. Guiyang: Guizhou University, 2015.

(责任编辑: 姜 珊)

作者简介



张旭娜, 硕士研究生, 研究方向为功能食品与食品添加剂。
E-mail: 2534730149@qq.com



任贵兴, 博士, 研究员, 主要研究方向为杂粮营养与功能。
E-mail: renguixing@caas.cn



崔 波, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为农产品加工与应用。
E-mail: cuibopaper@163.com