

苦荞功能性及食品开发研究进展

沈灵智^{1,2,3}, 盛宇华^{1,2,3}, 鲁清峰^{1,2,3}, 李静^{1,2,3}, 吕雨婷^{1,2,3}, 李嘉嘉^{1,2,3}, 曾荣^{1,2,3}, 蔡成岗^{1,2,3}, 蔡海莺^{1,2,3*}

(1.浙江科技学院 生物与化学工程学院, 浙江 杭州 310023; 2.浙江省农产品化学与生物加工技术重点实验室, 浙江 杭州 310023; 3.浙江省农业生物资源生化制造协同创新中心, 浙江 杭州 310023)

摘要:苦荞是一种含有丰富营养物质的药食同源作物,具有降血脂、降血压、降血糖、改善肠道微生态、抗氧化、抗癌抑瘤、抗炎等多重功效,已成为功能性食品研究与开发的热点之一。该文系统综述苦荞的营养及功能性成分如多糖、多酚、蛋白质和氨基酸等,以及苦荞的多种功能活性如改善肠道微生态、抗氧化、降血压、抗癌等方面的研究进展。另外,对苦荞用于加工生产各种具有独特风味和保健功效的食品进行总结,为苦荞功能性成分和食品的进一步研究与开发提供理论参考。

关键词:苦荞;营养成分;功能性;黄酮;开发

Progress in Functional Research and Food Development of Tartary Buckwheat (*Fagopyrum tataricum*)

SHEN Ling-zhi^{1,2,3}, SHENG Yu-hua^{1,2,3}, LU Qing-feng^{1,2,3}, LI Jing^{1,2,3}, LÜ Yu-ting^{1,2,3}, LI Jia-jia^{1,2,3},
ZENG Rong^{1,2,3}, CAI Cheng-gang^{1,2,3}, CAI Hai-ying^{1,2,3*}

(1.School of Biological and Chemical Engineering, Zhejiang University of Science & Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 2.Zhejiang Key Lab for Chem & Bio Processing Technology of Farm Product, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 3.Zhejiang Provincial Collaborative Innovation Center of Agricultural Biological Resources Biochemical Manufacturing, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) is a medicinal and food homology crop that is rich in nutrients. It induces various effects such as lowering of blood fat, blood pressure, and blood sugar as well as improving intestinal gut microbiota; it also exhibits anti-oxidation, anticancer, anti-tumor, and anti-inflammation activities. Thus, tartary buckwheat has gained considerable attention toward the research and development of functional foods. Herein, the nutritional and functional components of tartary buckwheat were systematically reviewed, including polysaccharides, polyphenols, proteins, and amino acids. Moreover, the research progress of various functional activities of tartary buckwheat, such as intestinal microecology improvement, anti-oxidation and anti-cancer activities, and blood pressure lowering, was outlined. In addition, the application of tartary buckwheat in processing and producing foods with unique flavors and functions was summarized. Thus, this study provides a theoretical reference for further research and development of functional ingredients and products of tartary buckwheat.

Key words: tartary buckwheat; nutrients; functionality; flavone; development

引文格式:

沈灵智, 盛宇华, 鲁清峰, 等. 苦荞功能性及食品开发研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(19): 192-199.

SHEN Lingzhi, SHENG Yuhua, LU Qingfeng, et al. Progress in Functional Research and Food Development of Tartary Buckwheat (*Fagopyrum tataricum*)[J]. Food Research and Development, 2021, 42(19): 192-199.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31972079); 浙江省自然科学基金一般项目(LY18C200006)

作者简介: 沈灵智(1999—), 女(汉), 本科生, 研究方向: 功能性食品成分。

* 通信作者: 蔡海莺(1982—), 男(汉), 副教授, 博士, 研究方向: 功能性食品成分和发酵生物技术。

苦荞(*Fagopyrum tataricum*),又名鞑靼荞麦、荞叶七、野兰荞、万年荞、菠麦、乌麦、花荞,属双子叶蓼科植物,是我国最古老的栽培作物之一,也是我国特有的、兼具药食同源的一种小宗粮食作物。我国苦荞的种植面积和产量均居世界第一,主要产区分布在山西、云南、四川、西藏、贵州、青海等地。苦荞除含有一般荞麦的营养物质外,还含有多种功能性成分,包括多糖、多酚、蛋白质、氨基酸、抗性淀粉等,因而具有降血脂、降血压、降血糖、改善肠道微生态、抗氧化、抗癌抑瘤、抗炎、护肝等多重功效。苦荞籽粒、叶、茎等组织中也含有大量的芦丁、槲皮素、儿茶素等酚类化合物及其它营养物质,具有一定的保健功能。随着人们生活水平的不断提高,苦荞保健功能受到越来越多的青睐,已广泛用于加工生产各种具有独特风味和健康功能的食品。

1 苦荞的功能和营养成分

苦荞中含有脂肪酸(2.1%~2.8%)和18种氨基酸,相对大米、小麦、玉米和高粱等大众粮食作物营养价值较高。另外,苦荞含有其它谷物中没有的黄酮类物质(占干重的2.0%以上),其中主要是芦丁(约占80%);苦荞中钙、磷、铜、锌等矿质元素的含量是稻米和小麦的2倍~3倍,苦荞中的硒含量为0.43 mg/kg^[1]。苦荞具有的保健功能受到大众青睐,除上述营养成分外,其含有的蛋白质、多糖、抗性淀粉、D-手性肌醇、荞麦碱等活性物质也发挥着作用。

1.1 苦荞蛋白质

蛋白质的含量是对营养品质评价的重要指标之一,蛋白质含量越多,氨基酸组成类型越丰富,营养价值越高。苦荞中蛋白质的含量高于甜荞,苦荞蛋白约占苦荞的15%~17%^[2]。苦荞蛋白主要由4种蛋白组成,分别是清蛋白、球蛋白、谷蛋白和醇溶蛋白;其富含18种氨基酸且比例平衡,其中包含人体所需的8种必需氨基酸及2种非必需氨基酸(精氨酸和组氨酸)。苦荞蛋白的功能性多样,吸引了研究者的关注。如国外研究者 Tomotake H 等^[3]以苦荞粉为原料,采用碱提等电沉淀法制备得到的苦荞蛋白提取物中的蛋白质含量为46%,其氨基酸组成与普通荞麦蛋白提取物相似。

1.2 苦荞黄酮

黄酮是一类化合物,其中具有酚羟基的2个苯环通过中央3个碳原子彼此连接,属于酚类化合物中的一大类。苦荞中黄酮含量介于玉米须和荷叶之间^[4],与广泛种植和使用的普通荞麦相比,苦荞往往含有更多的芦丁^[5]。提取苦荞黄酮用的最多的方法是超声辅助

醇提法,如付丽红等^[6]研究确定了超声辅助醇提法提取苦荞黄酮的最佳工艺条件是乙醇质量分数77%、液料比40:1(mL/g)、温度50℃、浸提液pH5.6,雁门苦荞总黄酮的提取率为93%。Zhao 等^[7]在60℃下用72%甲醇提取21 min,得到的总黄酮提取率为4.0%。

1.3 苦荞多糖

苦荞多糖是苦荞主要的生物活性成分之一,不少研究者以苦荞为研究对象,对提取苦荞多糖的工艺条件进行探究。如李飞等^[8]研究结果表明:水浴摇床提取苦荞粗多糖时,苦荞多糖提取率在液料比50:1(mL/g)、浸提温度90℃和浸提时间5 h的条件下为14%。何晓梅等^[9]以超声辅助法提取苦荞多糖,最终提取率达4.4%。相较而言,前者的提取率是后者的3倍多,但是相对于热水浸提法和碱水提取法这两种方法,超声波辅助法提取苦荞多糖缩短了提取时间并降低了成本,还提高了经济效益。

1.4 苦荞淀粉

苦荞是一种传统的谷类作物,其碳水化合物含量较高。苦荞种子中淀粉含量在64%~72%之间,粒径在3 μm~14 μm,多晶型呈A型,含有将近39%的直链淀粉^[10],荞麦的淀粉和膳食纤维的含量与大宗粮食比较见表1^[11]。

表1 荞麦中淀粉和膳食纤维的含量与大宗粮食的比较
Table 1 Comparison of starch and dietary fiber contents of buckwheat species with bulk grains

种类	淀粉/%	粗纤维/%
苦荞	73.1	1.6
甜荞	65.9	1.0
小麦粉	74.6	0.6
大米	76.6	0.4
玉米	70.2	1.5

淀粉是荞麦的主要成分,与其它谷物不同,荞麦中含有7.5%~35.0%的抗性淀粉^[12]。抗性淀粉因其颗粒小、无色、无味、高黏稠度、强凝胶形成能力、高糊化温度等物理特性,被作为功能性原料添加到食品中以使产品拥有更好的品质。开发具有高附加值的功能性抗性淀粉将成为苦荞开发利用的一大热点。为了提高抗性淀粉产量,改良抗性淀粉的制备方法,陈艳^[13]在试验中对比了压热法、酶法、压热-酶法3种制备抗性淀粉的方式。结果表明,抗性淀粉的最佳提取工艺是酶添加量8.72 U/g(干淀粉),酶解时间16 h,压热温度121.04℃,冷藏时间24.61 h,此工艺下的抗性淀粉获得率达到30%。

2 苦荞的功能性

2.1 抑菌及改善肠道微生态

肠内正常菌群在维持人体功能和肠道内环境稳定的方面具有重要作用。苦荞中的苦荞蛋白、部分碳水化合物在抑菌及改善肠道微生态方面有着很好的活性。苦荞蛋白可以看作一种具有类似于益生元作用的功能因子。苦荞蛋白可以增加肠道中短链脂肪酸的含量,降低肠道环境的pH值,促进乳酸菌等益生菌群的增殖,抑制肠球菌等有害菌群的生长,改善肠道微生态^[14]。苦荞蛋白在抑菌方面表现出的优势,使不少研究者将目光转移至通过酶解苦荞蛋白、发酵等手段制备具有抗菌活性的肽类物质。如赵红倩等^[15]优化中性蛋白酶酶解苦荞蛋白制备抗菌肽的工艺条件后,将获得的质量浓度为32.41 mg/mL的肽作用于大肠杆菌和金黄色葡萄球菌,发现该浓度的抗菌肽抑制了这两种菌群的生长。

抗性淀粉和可溶性膳食纤维都具有不易消化的特性,也都表现出调节肠道微生态的功能活性。闫贝贝^[16]的研究结果表明,苦荞抗性淀粉可以调节高脂饮食引起的小鼠肠道菌群结构失衡。可溶性膳食纤维经体外酵解后可被人源性拟杆菌分解产生有益于肠道健康的短链脂肪酸(乙酸、丙酸、丁酸),有效地改善了人体肠道微生态^[17]。

2.2 抗氧化

自由基清除能力和抗氧化能力是最常被检测的生物活性。苦荞中主要发挥自由基清除和抗氧化能力的活性物质是蛋白、黄酮、多糖。苦荞蛋白除了被用于制备抗菌肽外,它自身的制备也广受研究者欢迎。苦荞蛋白本身具有一定的抗氧化能力,其中DPPH自由基清除率和ABTS⁺自由基清除率最高分别为(71.91±2.23)%及(11.25±1.30)%,随着水解程度的增加,苦荞蛋白水解产物抗氧化能力逐渐增强,然而对不同自由基的清除能力却是不同的,有的甚至对部分自由基没有清除活力^[18-19]。

有研究表明苦荞黄酮对ABTS⁺自由基、DPPH自由基、羟基自由基、超氧阴离子自由基具有清除能力,具有很好的抗氧化活性^[6,20-21]。苦荞黄酮应用于人体产生的功效不断地被研究者发掘。Bao等^[22]体外模拟了胃肠消化苦荞黄酮类化合物的试验,结果表明,芦丁和槲皮素均具有显著的抗氧化能力,可以有效抑制细胞内氧自由基爆发,但在体外模拟消化后,苦荞中黄酮类化合物含量略有降低,活性也随之降低。

苦荞多糖除了在抑菌、改善肠道微生态、降血糖方面发挥作用外,还具有抗氧化活性。张季等^[23]用苦荞

多糖灌胃铅中毒小鼠,采用原子分光光度法分别测定小鼠组织和血浆中的铅含量,采用紫外分光光度法测定组织和血浆中超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活力和丙二醛含量,结果表明,苦荞多糖可通过提高铅中毒小鼠抗氧化酶活性,清除自由基,改善铅中毒造成的损伤。胡圆圆等^[23]纯化了苦荞粗提物之后,粗提物中D-手性肌醇的含量由0.13%升高至27.26%,对DPPH自由基、超氧阴离子自由基和羟基自由基均具有不同程度的清除作用,同时具有较好的还原性。还有研究发现富含D-手性肌醇的苦荞提取物剂量依赖性地增加了肝脏总超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性,降低了肝脏丙二醛水平,具有肝保护作用^[24]。

2.3 降血糖

糖尿病是一种威胁人类健康的代谢疾病,而苦荞黄酮、抗性淀粉、D-手性肌醇、荞麦碱可缓解糖尿病症状,具有降血糖功能。目前有不少研究者对苦荞黄酮降血糖的机理进行研究,如姜闪等^[25]研究结果显示,以乙醇回流提取得到的苦荞黄酮提取物可通过抑制 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活性,降低对糖分的摄取量,发挥降血糖的作用。Hu等^[26]连续对高果糖喂养的小鼠给予苦荞黄酮提取物,结果表明苦荞黄酮提取物依赖性地提高了小鼠的胰岛素敏感性和糖耐量。除此以外,苦荞黄酮还可以通过促进细胞对葡萄糖的消耗以及细胞糖原的生成,调节能量代谢及氨基酸代谢途径,来发挥降血糖作用。苦荞麦中含量较低的荞麦碱^[27],在降血糖方面也发挥着作用。通过进食含有荞麦碱的复配米饭,餐后血脂有所降低^[28]。

抗性淀粉比其它淀粉更难降解,在体内被缓慢消化,吸收和进入血液较为缓慢,在人体内缓慢释放出葡萄糖,因此它可以控制血糖平衡,减少饥饿感,特别适合糖尿病患者。王灼琛等^[29]利用优化压热法制备苦荞淀粉,将抗性淀粉得率提高到了14%。肖兵^[24]进行了小鼠动物实验,结果表明抗性淀粉可以有效缓解糖尿病小鼠血糖持续上升的现状,减少肝糖原的消耗。苦荞麦中含有的另一种重要的功能性多糖——D-手性肌醇,具有类胰岛素生物活性^[30]。高果糖饮食导致小鼠高血糖和肝损伤,小鼠在摄入富含D-手性肌醇的苦荞提取物之后,高果糖饮食引起的高血糖症状得到了有效的缓解^[31]。

2.4 降血脂和降血压

与小麦粉和米粉相比,苦荞粉更能降低血浆总胆固醇、非高密度脂蛋白胆固醇和肝胆固醇浓度^[32]。苦荞具有更强的降血脂活性,这主要归功于其含有的苦荞

蛋白、苦荞黄酮。苦荞蛋白是一种低消化率的蛋白质,可以促进胆酸排泄、调节肠道菌群平衡、改善氧化应激,这些方面的作用途径与苦荞蛋白的血脂调节作用有着密切的关系^[33]。左光明等^[34]研究发现苦荞蛋白各组分都具有不同程度的降血脂及体内抗氧化功能,由强到弱依次是清蛋白、球蛋白和谷蛋白。与高脂模型组相比,苦荞蛋白干预组在改善氧化应激的同时还降低了高脂血症小鼠血清中总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇含量,提高了高密度脂蛋白胆固醇含量,起到降血脂作用。Zhou等^[35]分别以苦荞蛋白、酪蛋白喂饲高脂饮食小鼠,结果发现前者小鼠的血浆总胆固醇和甘油三酯水平明显低于后者小鼠,同时苦荞蛋白还促进了乳杆菌、双歧杆菌和肠球菌的生长,抑制大肠杆菌的生长。苦荞黄酮中富含的芦丁,它可以增加毛细血管的通透性,抑制脂肪合成酶活性,最终实现降血脂的目的。杨帅^[36]采用高效液相色谱法检测到苦荞叶醇提物中主要成分是芦丁和槲皮素,醇提物各剂量组仓鼠血清、肝脏中总胆固醇、甘油三酯和丙二醛含量都有非常显著的降低,在降血脂方面起到明显作用。

林汝法等^[37]试图通过酶法水解苦荞麸皮蛋白并研究其降血压作用,但此项研究对目标产物的分离纯化方法和条件的要求很高,降血压活性肽的分离纯化是一项非常复杂且艰巨的工作。Hou等^[38]从苦荞黄酮类化合物入手,研究结果表明:苦荞黄酮类化合物通过降低血管胰岛素抵抗和氧化应激对高血压起到保护作用。

2.5 抗癌和抗肿瘤

苦荞黄酮、多糖、凝集素通过不同的作用手段在抗癌方面都发挥着各自至关重要的作用。苦荞黄酮类化合物,如槲皮素、异槲皮素和芦丁,也在抗癌方面发挥着重要的作用。国内外研究者都在不断探索苦荞黄酮类化合物抗癌的作用机理,并在抗癌领域不断突破。苦荞黄酮的作用机理主要是调节信使核糖核酸(messenger ribonucleic acid, mRNA)的表达和细胞周期蛋白表达,阻碍细胞周期的进程,从而抑制癌细胞的增殖及迁移^[39-40]。

苦荞多糖的抗癌活性也是不容忽视的。李姗姗等^[41]探究了纯化的苦荞多糖对 Hep G2 细胞增殖和细胞核的影响,结果表明,多糖对 Hep G2 细胞增殖具有明显的抑制作用,并可以使细胞核形态聚缩,染色质 DNA 断裂,这些现象表现为苦荞多糖抑制肿瘤细胞的增殖作用。另外,有研究报道,一类兼具核糖体失活蛋白 N-糖苷酶活性和芦丁水解酶活性的糖蛋白——苦荞

凝集素,能够有效地抑制结肠癌细胞 HCT116 的增殖,且呈剂量依赖效应,但对正常细胞和其它类型癌细胞的增殖没有明显的影响^[42]。

2.6 抗炎

研究发现,苦荞提取物可以降低促炎因子的 mRNA 表达水平,减少一氧化氮的产生,起到抗炎作用,同时改善脂质代谢^[43]。将苦荞固态发酵后,苦荞中的芦丁和槲皮素依然保持较好的抗氧化以及抗炎活性,能够抑制一氧化氮释放和一氧化氮合酶的转录表达^[44]。另外,丝状真菌发酵的苦荞发酵液同样具有较强的抗炎效果,可显著抑制脂多糖诱导的原始 RAW264.7 细胞中一氧化氮的产生和诱导型一氧化氮合酶的 mRNA 水平^[45]。

2.7 其它功能性

苦荞提取物对阿尔兹海默病(Alzheimer disease, AD)有缓解功效。Choi等^[46]探究从苦荞中提取的正丁醇组分和芦丁对淀粉样蛋白 β 诱导的 AD 小鼠模型学习记忆障碍的有益影响,研究表明从苦荞中提取的正丁醇组分和芦丁对 AD 具有保护作用,并有可能用于治疗 AD。除此之外,苦荞还具有缓解脑损伤^[47]、增强免疫力的功效^[48]。

3 苦荞的开发应用

苦荞中含有蛋白质、酚类化合物和多糖等营养成分与功能性物质,可被开发出多种保健食品,具有广阔的市场前景和良好的发展机会。

3.1 苦荞饮品

3.1.1 苦荞茶

苦荞茶是一种通过筛选和烘烤苦荞麦种子制成的饮品。谭萍等^[49]以苦荞麦为基本原料,研究活性肽苦荞茶饮料配方。研究发现饮料最佳的配方:苦荞麦活性肽添加量为 1.5%、苦荞茶添加量为 5.0%、蜂蜜添加量为 5.0%,105℃灭菌 20 min,检测得饮品 DPPH 自由基清除率达到 65%,说明活性肽苦荞茶饮料具有较强的抗氧化能力。苦荞茶因其层次不一的功能性,选择性地进入了保健行业,与此同时,苦荞茶的冲泡特性也限制了苦荞茶的行业选择。米茶型苦荞茶在冲泡时,总黄酮溶出率高于造粒型苦荞茶,相比较而言,造粒型苦荞茶具有更好的耐泡性,更适合餐饮行业选用^[50]。

3.1.2 苦荞酸奶

酸奶具有润肠通便的作用,可增强身体的免疫力,促进消化吸收,牛奶不耐受人群可以通过饮用酸奶来补充牛奶中含有的大部分营养。不少研究者以苦荞为原料研制苦荞酸奶,如孙亚利等^[51]在苦荞麦添加

量1.5%,雪莲果添加量10%,蔗糖添加量7.0%,双歧杆菌接种量0.10%,44℃发酵7h的工艺条件下研制出了一种茶香纯正、奶味浓郁、口感细腻润滑的苦荞-雪莲果酸奶。长期饮用此酸奶对身体健康有益,有助于提高身体的免疫力。

3.1.3 苦荞饮料

苦荞具有独特的保健功效,生产一种具有保健功效、口感好、受消费者喜欢的苦荞饮料是一种市场引导下的必然趋势。奶茶因其独特的风味和口感,在年轻人中备受欢迎。仝令君等^[52]以黑苦荞、鲜牛奶、白砂糖为原料制成一种具有特别的奶茶香气的黑苦荞奶茶,并鉴定出了57种挥发性成分,包括3种醇类、3种酯类、3种酸类、3种酚类及45种其它种类。苦荞饮料功能多元,有研究者用苦荞提取物研制一种具有抗疲劳功能的苦荞运动饮料^[53]。

3.1.4 苦荞糊

糊类食品方便食用且易消化,深受消费者喜爱。黄丽华等^[54]在薏米苦荞麦质量比1:4,粉粒大小140目~200目,在20g薏米苦荞麦混合粉中加入4g木糖醇的工艺条件下,得到感官品质良好的复配糊。随着人们生活节奏的加快,对快餐的偏爱,使食品行业更趋向于生产便于食用的产品。如吉义平^[55]以小米和苦荞米为主要原料,研究一种营养且方便的速食型方便粥。结果表明,当小米蒸煮20min,中高火微波干燥20min,苦荞米蒸煮12min,140℃焙烤20min时,方便粥复水率和黄酮含量最高。方便粥的最佳配方为每百克小米中添加30g苦荞米,10g麦芽糊精,10g魔芋胶,8g蔗糖,20g红枣,此方法制得的方便粥具有良好的感官品质,而且还拥有较高的黄酮含量。

3.1.5 苦荞酒

在苦荞酒酿造中,不少研究者采用多种酒曲混合发酵或者加入糯米或甜荞以改善苦荞酒酒质。黄丹丹等^[56]以苦荞、糯米为原料,原料质量比为1:1.5,添加0.60%的甜酒曲,28℃糖化2d,再添加酵母1.0%和红曲12%,28℃发酵6d后,再经压榨、煎酒得富含黄酮和多酚且具有抗氧化能力的苦荞红曲保健酒。胡欣洁^[57]以苦荞和糯米为主要原料,通过正交试验制出一种营养丰富,口感醇厚,风味独特,符合人们健康理念的苦荞酒。研究结果表明,最佳工艺条件是蒸煮40min,糖化时间7d,28℃酒精发酵6d。

3.2 苦荞面制品

苦荞粉比苦荞米易于加工,苦荞面制品大多选用苦荞粉作为制作原料。如今国内外都在研究苦荞粉的加工处理,如国内研究者发现不同磨粉方式对苦荞粉

性质的影响不一^[58],而国外有研究者发现热湿处理、退火法处理苦荞淀粉可以使慢消化淀粉和抗性淀粉含量显著增加^[59-60]。左蕾蕾等^[61]以经超微粉碎处理后的苦荞粉为原料,制成一种具有独特的苦荞麦香,口感细腻、酥化的苦荞饼干。研究表明:最佳配方为苦荞超微粉5.1%,低筋粉58%,蔗糖11%,植物油10%,泡打粉0.13%,水15%。

3.3 苦荞调味品

酱油、醋等是人们生活必不可缺的调味品,研究者也在不断探寻使用不同的原料研制品质更佳的调味品,为人们提供了更多选择。如申瑞玲等^[62]研究表明苦荞醋的最佳发酵工艺为酒精发酵温度32℃,苦荞与高粱质量比为1.22:0.77,大曲用量5.5%,发酵温度36℃,醋酸菌接种量5.0%。此工艺条件下得到的苦荞醋符合国标,既有传统食醋的品质,又有苦荞特有的保健功效。

4 展望

随着我国人民生活水平的不断提高,苦荞作为一种药食同源的健康食品原料备受青睐。另外,苦荞富含各种活性成分,如芦丁、槲皮素、蛋白质、抗性淀粉、多糖、D-手性肌醇、荞麦碱等。如何进一步有效提取这些活性成分,并解析这些成分的功效及其作用机制将成为苦荞食品的重要研究方向,同时为苦荞功能性产品研发以及构建功能性食品体系提供重要依据。

参考文献:

- [1] 赵钢,唐宇,马荣.苦荞麦的营养和药用价值及其开发应用[J].农牧产品开发,1999(7):17-18.
ZHAO Gang, TANG Yu, MA Rong. Nutritional and medicinal value of tartary buckwheat and its development and application[J]. Agriculture Products Development, 1999(7): 17-18.
- [2] HUANG X Y, ZELLER F J, HUANG K F, et al. Variation of major minerals and trace elements in seeds of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.)[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2014, 61(3): 567-577.
- [3] TOMOTAKE H, YAMAMOTO N, KITABAYASHI H, et al. Preparation of Tartary buckwheat protein product and its improving effect on cholesterol metabolism in rats and mice fed cholesterol-enriched diet[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(7): S528-S533.
- [4] 常波,毛明婷,谭云,等.超声波辅助法提取植物黄酮的工艺研究[J].价值工程,2018,37(33):242-245.
CHANG Bo, MAO Mingting, TAN Yun, et al. Study on ultrasonic-assisted extraction of plant flavonoids[J]. Value Engineering, 2018, 37(33): 242-245.
- [5] ZHU F. Chemical composition and health effects of Tartary buck-

- wheat[J]. Food Chemistry, 2016, 203: 231–245.
- [6] 付丽红, 李晓斌, 董正中, 等. 雁门苦荞黄酮的分离提取、稳定性及抗氧化活性研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2016, 36(6): 439–444.
- FU Lihong, LI Xiaobin, DONG Zhengzhong, et al. Study on extraction, stability and antioxidant activity of flavonoids from Yanmen *Fagopyrum tataricum*[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2016, 36(6): 439–444.
- [7] ZHAO G, PENG L X, ZOU L, et al. Response surface modeling and optimization of ultrasound-assisted extraction of three flavonoids from Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*)[J]. Pharmacognosy Magazine, 2013, 9(35): 210.
- [8] 李飞, 任清, 季超. 苦荞多糖提取工艺优化及其对橄榄油乳化性的研究[J]. 食品科技, 2016, 41(1): 147–153.
- LI Fei, REN Qing, JI Chao. Optimization on extraction of buckwheat polysaccharide and effect on emulsion stability for olive oil[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(1): 147–153.
- [9] 何晓梅, 谷仿丽, 黄仁术, 等. 白及多糖超声波辅助提取工艺优化及体外抗氧化活性[J]. 皖西学院学报, 2017, 33(2): 1–5.
- HE Xiaomei, GU Fangli, HUANG Renshu, et al. Ultrasonic-assisted extraction and *in vitro* antioxidant activities evaluation of polysaccharides from blettila striata[J]. Journal of West Anhui University, 2017, 33(2): 1–5.
- [10] GAO J F, KREFT I, CHAO G M, et al. Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) starch, a side product in functional food production, as a potential source of retrograded starch[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 552–558.
- [11] 张美莉, 胡小松. 荞麦生物活性物质及其功能研究进展[J]. 杂粮作物, 2004, 24(1): 26–29.
- ZHANG Meili, HU Xiaosong. Detection and analysis of routine nutritional components of Inner Mongolia buckwheat[J]. Rain Fed Crops, 2004, 24(1): 26–29.
- [12] 周一鸣, 李保国, 崔琳琳, 等. 荞麦淀粉及其抗性淀粉的颗粒结构[J]. 食品科学, 2013, 34(23): 25–27.
- ZHOU Yiming, LI Baoguo, CUI Linlin, et al. Granular structure of buckwheat starch and resistant starch[J]. Food Science, 2013, 34(23): 25–27.
- [13] 陈燕. 苦荞抗性淀粉的制备、理化性质及其应用研究[D]. 成都: 西华大学, 2017.
- CHEN Yan. Study on the preparation, physical and chemical properties and application of buckwheat resistant starch[D]. Chengdu: Xihua University, 2017.
- [14] 路远. 苦荞蛋白对肠道菌群调节作用的研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2016.
- LU Yuan. The study of Tartary buckwheat protein on regulation of intestinal flora[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2016.
- [15] 赵红倩, 宋凤霞, 江祥师, 等. Plackett-Burman 和 Box-Behnken 试验优化苦荞蛋白酶解制备抗菌肽的工艺[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 158–164.
- ZHAO Hongqian, SONG Fengxia, JIANG Xiangshi, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis of Tartary buckwheat protein for preparing antibacterial peptides by plackett-burman and box-behnken designs[J]. Food Science, 2017, 38(16): 158–164.
- [16] 闫贝贝. 苦荞抗性淀粉对血脂代谢紊乱小鼠肠道菌群调节作用的研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2018.
- YAN Beibei. Effect of tartary buckwheat resistant starch on intestinal flora in mice with lipid metabolism disorder[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2018.
- [17] 孙永敢, 胡婕伦, 方卿颖, 等. 苦荞膳食纤维制备及体外酵解特性研究[C]//中国食品科学技术学会第十五届年会论文摘要集, 青岛: 中国食品科学技术学会, 2018.
- SUN Yonggan, HU Jielun, FANG Qingying, et al. Study on preparation and *in vitro* fermentation characteristics of tartary buckwheat dietary fiber[C]//Proceedings of the 15th Annual Meeting of Chinese Institute of Food Science and Technology, Qingdao: Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018.
- [18] 吴伟菁, 纪美茹, 李再贵. 不同苦荞蛋白酶解产物抗氧化活性研究[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(5): 6–10.
- WU Weijing, JI Meiru, LI Zaigui. Antioxidant activity of different protein hydrolysates from Tartary buckwheat[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2018, 26(5): 6–10.
- [19] 陈花, 张海悦, 王鹏. 苦荞蛋白酶解产物的抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(14): 12–16.
- CHEN Hua, ZHANG Haiyue, WANG Peng. Antioxidant activity of *Fagopyrum tataricum* enzymolysis product[J]. Food Research and Development, 2017, 38(14): 12–16.
- [20] 尤玲玲, 刘幻幻, 李晓雁, 等. 苦荞黄酮的纯化及抗氧化活性的研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(8): 23–27.
- YOU Lingling, LIU Huanhuan, LI Xiaoyan, et al. Purification and antioxidant activity of flavonoids in Tartary buckwheat[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(8): 23–27.
- [21] BAO T, WANG Y, LI Y T, et al. Antioxidant and antidiabetic properties of Tartary buckwheat rice flavonoids after *in vitro* digestion[J]. Journal of Zhejiang University-SCIENCE B, 2016, 17(12): 941–951.
- [22] 张季, 严春临, 王博奥, 等. 苦荞麦多糖对铅中毒小鼠的保护作用研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 12–17, 11.
- ZHANG Ji, YAN Chunlin, WANG Boao, et al. Protective effects of Tartary buckwheat polysaccharides on lead-poisoned mice[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(7): 12–17, 11.
- [23] 胡园园, 易若琨, 王仲明, 等. 苦荞中 D-手性肌醇的纯化及其抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(14): 82–86.
- HU Yuanyuan, YI Ruokun, WANG Zhongming, et al. Study on purification and antioxidant activity of D-chiro-inositol from Tartary buckwheat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(14): 82–86.
- [24] 肖兵. 抗性淀粉对糖尿病小鼠血糖和短链脂肪酸的影响及代餐产品开发[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.
- XIAO Bing. Resistant starch to diabetic mice the regulation of blood sugar and the effect of short chain fatty acid[D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.

- [25] 姜闪, 张志国. 天然降血糖物质的筛选及其应用研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(6): 53-59.
- JIANG Shan, ZHANG Zhiguo. Screening and application of natural hypoglycemic substances[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2018, 39(6): 53-59.
- [26] HU Y Y, HOU Z X, YI R K, et al. Tartary buckwheat flavonoids ameliorate high fructose-induced insulin resistance and oxidative stress associated with the insulin signaling and Nrf2/HO-1 pathways in mice[J]. Food & Function, 2017, 8(8): 2803-2816.
- [27] LI S Q, ZHANG Q H. Advances in the development of functional foods from buckwheat[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2001, 41(6): 451-464.
- [28] 丁慧, 彭晴, 乔宇, 等. 富含荞麦碱米饭的配方筛选及其对血糖生成指数的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2017, 48(1): 42-54.
- DING Hui, PENG Qing, QIAO Yu, et al. Formular screening of buckwheat mixed rice rich in D-fagomine and its effect on glycemic index[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2017, 48(1): 42-54.
- [29] 王灼琛, 程江华. 苦荞抗性淀粉制备工艺的优化研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(36): 72-74, 179.
- WANG Zhuochen, CHENG Jianghua. Optimization study on processing conditions of Tartary buckwheat resistant starch[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(36): 72-74, 179.
- [30] OSTLUND R E, MCGILL J B, HERSKOWITZ I, et al. D-chiro-inositol metabolism in diabetes mellitus[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1993, 90(21): 9988-9992.
- [31] HU Y Y, ZHAO Y, REN D Y, et al. Hypoglycemic and hepatoprotective effects of D-chiro-inositol-enriched Tartary buckwheat extract in high fructose-fed mice[J]. Food & Function, 2015, 6(12): 3760-3769.
- [32] YANG N, LI Y M, ZHANG K S, et al. Hypcholesterolemic activity of buckwheat flour is mediated by increasing sterol excretion and down-regulation of intestinal NPC1L1 and ACAT2[J]. Journal of Functional Foods, 2014, 6: 311-318.
- [33] 王宏. 苦荞蛋白对小鼠血脂代谢紊乱与肠道菌群调节作用的研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2016.
- WANG Hong. Preventive effect of Tartary buckwheat protein on the dyslipidemia and intestinal flora in mouse[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2016.
- [34] 左光明, 谭斌, 王金华, 等. 苦荞蛋白对高血脂症小鼠降血脂及抗氧化功能研究[J]. 食品科学, 2010, 31(7): 247-250.
- ZUO Guangming, TAN Bin, WANG Jinhua, et al. Hypolipidemic and antioxidant effects of Tartary buckwheat proteins in hyperlipidemic mice[J]. Food Science, 2010, 31(7): 247-250.
- [35] ZHOU X L, YAN B B, XIAO Y, et al. Tartary buckwheat protein prevented dyslipidemia in high-fat diet-fed mice associated with gut microbiota changes[J]. Food and Chemical Toxicology, 2018, 119: 296-301.
- [36] 杨帅. 苦荞叶黄酮提取纯化及其降血脂活性研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.
- YANG Shuai. Study on extraction and purification of tartary buckwheat leaves flavonoids and its hypolipidemic activity[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2015.
- [37] 林汝法, 陕方, 宋金翠, 等. 酶法水解苦荞麸皮蛋白生产降血压肽[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 207-209.
- LIN Rufa, SHAN Fang, SONG Jincui, et al. Study on antihypertensive peptides from Tartary buckwheat bran protein by enzymatic hydrolysis[J]. Food Science, 2004, 25(11): 207-209.
- [38] HOU Z X, HU Y Y, YANG X B, et al. Antihypertensive effects of Tartary buckwheat flavonoids by improvement of vascular insulin sensitivity in spontaneously hypertensive rats[J]. Food & Function, 2017, 8(11): 4217-4228.
- [39] 李玉英, 赵淑娟, 白崇智, 等. 苦荞异槲皮苷对人胃癌细胞 SGC-7901 增殖及凋亡的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(3): 193-197.
- LI Yuying, ZHAO Shujuan, BAI Chongzhi, et al. Effect of isoquercetin from *Fagopyrum tataricum* on the proliferation and apoptosis of human gastric carcinoma cell line SGC-7901[J]. Food Science, 2014, 35(3): 193-197.
- [40] LI Y Y, DUAN S Z, JIA H Y, et al. Flavonoids from Tartary buckwheat induce G2/M cell cycle arrest and apoptosis in human hepatoma HepG2 cells[J]. Acta Biochimica et Biophysica Sinica, 2014, 46(6): 460-470.
- [41] 李姗姗, 崔晓东, 李晨, 等. 苦荞多糖抗氧化及对 Hep G2 细胞增殖抑制作用[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(1): 9-12.
- LI Shanshan, CUI Xiaodong, LI Chen, et al. Antioxidant activity and anti-cancer efficacy on Hep G2 cells of polysaccharide from Tartary buckwheat seeds[J]. Food Research and Development, 2016, 37(1): 9-12.
- [42] 郭培钰. 苦荞凝集素通过下调 miR-21 的表达抑制结肠癌细胞增殖的研究[D]. 太原: 山西大学, 2017.
- GUO Peiyu. Tartary buckwheat lectin inhibits the proliferation of colon cancer cells by down-regulation on miR-21[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2017.
- [43] LEE M S, SHIN Y, JUNG S, et al. The inhibitory effect of Tartary buckwheat extracts on adipogenesis and inflammatory response[J]. Molecules, 2017, 22(7): 1160.
- [44] 孙丹. 固态发酵苦荞中酚类物质、抗氧化性及抗炎活性的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2016.
- SUN Dan. Study on phenolic compounds, antioxidant activity and anti-inflammatory activity of tartary buckwheat with solid-state fermentation[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2016.
- [45] HUANG S, MA Y, SUN D, et al. *In vitro* DNA damage protection and anti-inflammatory effects of Tartary buckwheats (*Fagopyrum tataricum* L. Gaertn) fermented by filamentous fungi[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52(9): 2006-2017.
- [46] CHOI J Y, LEE J M, LEE D G, et al. The n-butanol fraction and rutin from Tartary buckwheat improve cognition and memory in an *in vivo* model of amyloid- β -induced Alzheimer's disease[J]. Journal

- of Medicinal Food, 2015, 18(6): 631-641.
- [47] 曲捷, 席焯, 周琼, 等. 芸香苷对慢性脑低灌注大鼠认知功能障碍和脑损伤的神经保护作用[J]. 现代生物医学进展, 2016, 16(13): 2419-2424, 2447.
- QU Jie, XI Ye, ZHOU Qiong, et al. Neuroprotective effect of rutin on cognitive dysfunction and brain injury induced by chronic cerebral hypoperfusion in rats[J]. Progress in Modern Biomedicine, 2016, 16(13): 2419-2424, 2447.
- [48] 王强, 张乃锋, 崔凯, 等. 植物乳杆菌和苦荞黄酮及其复合物对断奶仔猪生长性能、营养物质消化率及血清指标的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(1): 170-179.
- WANG Qiang, ZHANG Naifeng, CUI Kai, et al. Effects of *Lactobacillus plantarum*, buckwheat flavone and their compounds on growth performance, nutrient digestibility and serum indices of weaned piglets[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(1): 170-179.
- [49] 谭萍, 方玉梅, 周斯弼. 活性肽荞茶饮料配方研究 [J]. 食品研究与开发, 2018, 39(2): 114-118.
- TAN Ping, FANG Yumei, ZHOU Sibi. Research of active peptide buckwheat tea beverage formula[J]. Food Research and Development, 2018, 39(2): 114-118.
- [50] 李红梅, 李云龙, 仪鑫, 等. 不同苦荞茶总黄酮冲泡特性及其与抗氧化能力相关性的研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(18): 22-26, 32.
- LI Hongmei, LI Yunlong, YI Xin, et al. Correlation between total flavonoids brewing characteristics and its antioxidant capacity of different types of Tartary buckwheat tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(18): 22-26, 32.
- [51] 孙亚利, 周文美, 刘丰, 等. 苦荞-雪莲果酸奶的研制[J]. 中国酿造, 2018, 37(11): 186-190.
- SUN Yali, ZHOU Wenmei, LIU Feng, et al. Preparation of Tartary buckwheat-yacon yoghurt[J]. China Brewing, 2018, 37(11): 186-190.
- [52] 仝令君, 迟雪露, 张晓梅, 等. HS-SPME-GC-MS 技术分析黑苦荞奶茶的挥发性成分[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 134-139.
- TONG Lingjun, CHI Xuelu, ZHANG Xiaomei, et al. Analysis of volatile compounds of black buckwheat milk tea by HS-SPME-GC-MS[J]. Food Science, 2017, 38(16): 134-139.
- [53] 彭雪玲. 运动饮料研制及抗疲劳活性研究[J]. 食品工业, 2018, 39(5): 106-109.
- PENG Xueling. Research on processing of sports beverage and its anti-fatigue function[J]. The Food Industry, 2018, 39(5): 106-109.
- [54] 黄利华, 刘晓娟, 刘欣, 等. 薏米苦荞麦糊的工艺条件优化[J]. 食品科技, 2013, 38(3): 157-161.
- HUANG Lihua, LIU Xiaojuan, LIU Xin, et al. Discussion of manufacture process for paste of adlay and bitter buckwheat[J]. Food Science and Technology, 2013, 38(3): 157-161.
- [55] 吉义平, 张钰, 张永梅. 速食苦荞小米方便粥的制备工艺研究[J]. 食品工业, 2015, 36(3): 28-31.
- JI Yiping, ZHANG Yu, ZHANG Yongmei. Study on preparation of instant porridge with millet and Tartary buckwheat[J]. The Food Industry, 2015, 36(3): 28-31.
- [56] 黄丹丹, 周海媚, 李谣, 等. 苦荞红曲保健酒的抗氧化活性[J]. 中国酿造, 2014, 33(6): 99-102.
- HUANG Dandan, ZHOU Haimei, LI Yao, et al. Antioxidant activity of red kojic buckwheat health wine[J]. China Brewing, 2014, 33(6): 99-102.
- [57] 胡欣洁, 刘云. 苦荞米酒发酵工艺条件的优化[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(3): 43-47.
- HU Xinjie, LIU Yun. Optimization of fermentation condition for bitter buckwheat rice wine[J]. Food Research and Development, 2013, 34(3): 43-47.
- [58] 何财安, 张珍, 王丽静, 等. 磨粉方式对苦荞粉粉质特性及体外消化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(5): 19-25, 49.
- HE Caian, ZHANG Zhen, WANG Lijing, et al. Effect of different milling methods on characteristics and *in vitro* starch digestibility of Tartary buckwheat flour[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(5): 19-25, 49.
- [59] XIAO Y, LIU H, WEI T, et al. Differences in physicochemical properties and *in vitro* digestibility between Tartary buckwheat flour and starch modified by heat-moisture treatment[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 86: 285-292.
- [60] LIU H, WANG L J, SHEN M R, et al. Changes in physicochemical properties and *in vitro* digestibility of Tartary buckwheat and *Sorghum* starches induced by annealing[J]. Starch-Stärke, 2016, 68(7-8): 709-718.
- [61] 左蕾蕾, 罗西, 赵雪梅, 等. 超微苦荞饼干的研制与体外溶出研究[J]. 食品科技, 2017, 42(4): 138-142.
- ZUO Leilei, LUO Xi, ZHAO Xuemei, et al. Preparation and *in vitro* dissolution of superfine grinding Tartary buckwheat biscuit[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(4): 138-142.
- [62] 申瑞玲, 张文丽, 林娟, 等. 苦荞醋发酵工艺条件的优化[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2014, 29(1): 29-33.
- SHEN Ruiling, ZHANG Wenli, LIN Juan, et al. Optimization on conditions for fermentation of buckwheat vinegar[J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry (Natural Science Edition), 2014, 29(1): 29-33.

加工编辑: 姚骏

收稿日期: 2020-10-15