

苦荞麦关键活性组分、营养功效 及工业应用研究进展

彭芳¹, 黄梅桂¹, 毕秀芳¹, 崔强², 倪春蕾^{1*}

(1. 西南民族大学食品科学与技术学院, 四川成都 610000) (2. 四川农业大学食品学院, 四川成都 610000)

摘要: 苦荞麦是一种药食同源植物, 在我国的种植面积和产量均居世界首位。作为一种重要的粮食作物, 有望成为未来众多种植业的目标。苦荞麦中含有多种营养成分和生物活性成分, 如多糖、蛋白质、硒、植物甾醇、黄酮、多酚等, 他们在抗氧化、抗炎、抗癌、降血脂、抗糖尿病、保肝等方面发挥着重要作用, 在食品、医药行业具有非常广阔的应用前景。近年来, 苦荞麦已成为国内外学者的研究热点。然而, 目前有关苦荞麦的活性成分和营养功效的研究缺乏系统的梳理。该文梳理了国内外相关文献, 对苦荞麦的活性成分、营养功效及在食品中的应用现状进行了综述, 旨在为苦荞麦的综合开发利用提供一定的理论基础。

关键词: 苦荞麦; 活性成分; 营养功效; 应用

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.10.0977

Research Progress on Key Active Components, Nutritional Efficacy and Industrial Application of Tartary Buckwheat

PENG Fang¹, HUANG Meigui¹, BI Xiufang¹, CUI Qiang², NI Chunlei^{1*}

(1.College of Food Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610000, China)

(2.College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Chengdu 610000, China)

Abstract: Tartary buckwheat has both medicinal and culinary applications, China has the largest planting area and highest yield of Tartary buckwheat, making it a global leader. As an important food crop, it is expected to become the key target for future agricultural practices. Buckwheat contains a variety of nutrients and bioactive ingredients, including polysaccharide, protein, selenium, phytosterols, flavonoids, polyphenols. These compounds are vital for their antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, hypolipidemic, antidiabetic, and liver-protective effects, making buckwheat highly promising for applications in the food and pharmaceutical industries. In recent years, Tartary buckwheat has emerged as a major research focus for scholars both domestically and internationally. However, there is currently a lack of systematic research on the active components and nutritional benefits of Tartary buckwheat. This paper reviews relevant literature from both domestic and international sources, providing an overview of the active components, nutritional benefits, and current applications of Tartary buckwheat in food. The aim is to offer a theoretical foundation for the comprehensive development and utilization of Tartary buckwheat.

Keywords: tartary buckwheat; bioactive ingredients; nutritional efficacy; application

由于生物学特性和栽培地区不同^[1], 荞麦分为两个栽培品种: 苦荞麦 (*F. tataricum*) 和普通荞麦 (*F. esculentum*) (见图 1)。苦荞麦 (Tartary Buckwheat, TB) 为一年生草本植物, 隶属于蓼科, 是一种传统的药食两用植物^[2]。苦荞麦和普通荞麦在形态特征上差异很大^[1,3]。此外, 普通荞麦是异花授粉植物, 结实率低, 产量低。因此, TB 作为一种重要的粮食作物, 有望成为未来众多种植业的目标。TB 分布在亚洲、欧洲和美洲, 我国苦荞栽培历史悠久, 分布广泛^[4], 80%的 TB 作物集中分布在云贵川高原、青藏高原、甘南、湖南武

收稿日期: 2024-07-09; 修回日期: 2024-08-21; 接受日期: 2024-08-21

基金项目: 西南民族大学中央高校基本科研业务费专项资金资助+ZYN2023036

作者简介: 彭芳 (1999-), 女, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: PengFang1019@163.com

通讯作者: 倪春蕾 (1992-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品功能成分及活性, E-mail: nichunlei0225@163.com

陵山区、湖北秦岭南麓^[5]。种植面积和产量均居世界首位。TB 在我国食用历史悠久，但因其苦味明显，适口性差，发展一直受到抑制。目前关于普通荞麦的研究较多，而关于苦荞的系统研究较少。因此，本文总结了目前苦荞的生物活性化合物，它们的相关生物活性以及在食品工业中应用。旨在为苦荞的综合开发利用提供一定的理论基础。



图 1 苦荞麦 (a) 与普通荞麦 (b)
Fig.1 *F. tataricum* (a) and *F. esculentum* (b)

1 苦荞麦的营养成分

TB 不仅具有极好的营养和保健价值，而且还具有良好的治疗效果^[6]。现代植物化学研究表明，从 TB 的种子、花、叶和根中分离和纯化了不同家族的生物活性化合物，如类黄酮，酚酸类、蒽醌类、生物活性多糖和生物活性蛋白质等^[7-9]（见图 2）。

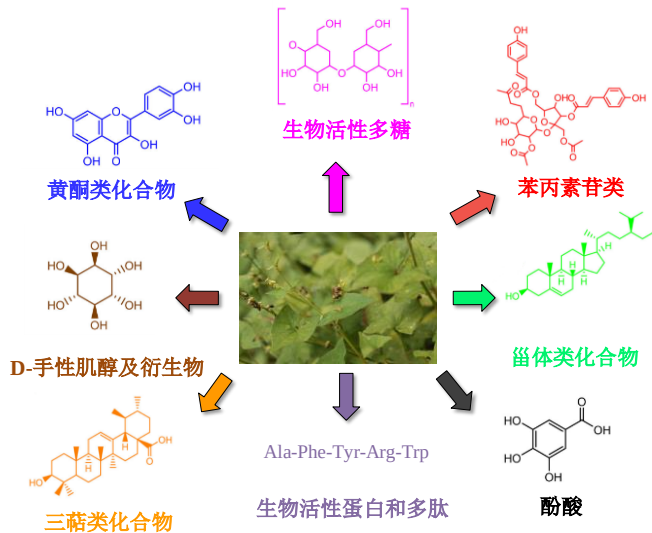


图 2 从苦荞麦中分离的一些代表性生物活性化合物及化学结构

Fig.2 The basic skeletons of some representative bioactive compounds isolated from Tartary buckwheat

1.1 碳水化合物

1.1.1 淀粉

TB 种子的主要成分是淀粉，存在于胚乳细胞中，占总干重的 70%以上。Zhu^[10]总结了荞麦淀粉和 TB 淀粉的结构、性质及应用。其中直链淀粉含量为 20%~28%，淀粉颗粒大多为多边形，大小为 2~15 μm。颗粒具有 A 型多晶型，支链淀粉具有超长的单元链（Degree of Polymerization, DP>100）。与普通荞麦的淀粉相比，

TB 中的淀粉具有较高的热稳定性和更紧密的双螺旋结构，且其中抗性淀粉含量高，抗性淀粉作为有膳食纤维特性的淀粉，能够降低结肠癌和肥胖的风险。21 个苦荞基因型的抗性淀粉含量在 13.1%~22.5%之间，高于 18 个基因型的普通荞麦^[11]。此外，TB 淀粉具有独特的糊化特性和理化特性，可作为再降解淀粉的适宜原料应用于食品加工^[12]。

1.1.2 D-手性肌醇

D-手性肌醇（D-Chiro-Inositol，DCI）分子式为 $C_6H_{12}O_6$ ，是肌醇的一种同分异构体，参与胰岛素信号转导通路。因此，DCI 具有降低人体血压、葡萄糖浓度、血浆甘油三酯等功能。采用高效液相色谱-蒸发光散射检测法测定 TB 中 DCI 的含量^[13]，发现种子中 DCI 含量为 0.23~18 mg/g。因此，普通荞麦中 DCI 的水平与 TB 中相似^[14]。在普通荞麦中，DCI 以半乳糖基衍生物的形式存在^[15]。由此可以推测 TB 中或许也具有类似特征。

1.1.3 生物活性多糖

TB 中多糖可以被肠道微生物群利用，表现出明显的体外 α -D-葡萄糖苷酶抑制活性和体内抗糖尿病活性^[16,17]。荞麦多糖的提取率为 7.23%~25.16%^[8]。Wang 等^[16]使用尺寸排阻色谱法（Size-Exclusion Chromatography, SEC）从 TB 种子中分离并纯化了平均分子量为 26 kDa 的非淀粉多糖，发现其组成性单糖亚基为半乳糖、阿拉伯糖、木糖和葡萄糖，摩尔比分别为 0.7:1.0:6.3:74.2。Wu 等^[17]从 TB 麸皮中获得平均分子量为 19.6 kDa 的中性多糖，发现其在糖尿病小鼠中发挥了出色的降血糖和降血脂作用。

1.2 生物活性蛋白质

TB 中富含优质蛋白质，蛋白质占比为 8%~19%，其含量高于大米、小麦、玉米和高粱。普通荞麦和 TB 的蛋白质含量、氨基酸组成相似^[18]（见表 1）。苦荞麦粗蛋白（Tartary Buckwheat Protein, TBP）是通过碱提取和等电沉淀从苦荞麦中获得的产品，在胆固醇喂养的大鼠中表现出对高胆固醇血症的抑制作用^[19]。TBP 的蛋白质含量为 45.8%，氨基酸组成为 Asp、Thr、Ser、Glu、Gly、Ala、Cys、Val、Met、Ile、Leu、Tyr、Phe、Lys、His、Arg、Pro、Trp，并具有较高的 Lys、Glu、Gly、Arg 含量。Fag t2 是 TB 种子中的一种 16 kDa 蛋白过敏原。Chen 等^[20]通过克隆 Fag t2 基因表明 Fag t2 基因属于 2S 白蛋白家族，在胚胎中表达最多。它能抵抗加热和胃蛋白酶消化。Fag t3 是在荞麦种子中鉴定的另一种过敏原。它类似于豆类 11S 储存蛋白^[21]。通过热处理和美拉德反应，可使 Fag t3 蛋白糖基化，从而降低其致敏性^[22]。

表 1 普通荞麦与苦荞麦氨基酸含量差异（g/kg）

Table 1 Differences in amino acid content between <i>F. esculentum</i> and <i>F. tataricum</i> (g/kg)		
氨基酸	普通荞麦	苦荞麦
Asp	12.74±1.3	12.08±1.2
Thr	5.54±1.6	4.87±0.8
Ser	5.64±0.8	5.56±1.2
Glu	25.79±2.5	24.12±2.4
Gly	6.32±3.1	6.60±2.8
Ala	11.14±0.6	10.37±1.3
Val	9.24±0.9	8.64±1.7
Met	3.35±1.1	3.47±1.0
Ile	7.01±1.2	6.08±0.5
Leu	11.34±2.9	9.51±0.5
Tyr	7.85±2.1	7.25±3.0
Phe	8.81±2.8	9.26±2.4
Lys	10.37±2.4	8.73±0.0
His	5.49±1.5	4.62±0.5
Arg	13.11±0.9	13.49±1.4
Pro	5.92±0.9	4.74±1.4

E	61.15	55.19
T	149.66	140.12
E/T	0.41	0.39

注：E 为必需氨基酸总量，T 为总氨基酸含量，E/T 为必需氨基酸占总氨基酸的比例。

1.3 矿物质及维生素

TB 是许多矿物质的良好来源。Ikeda 等^[23]研究了日本 TB 和三种中国 TB 中八种必需矿物质的含量。钙含量相对较低，其他 7 种矿物质占每日推荐食物摄入量的 10%~80%。此外，TB 富含天然有机硒，这是其他谷物相对缺乏的（见表 2）。硒能在人体内形成“金属-硒-蛋白质复合物”，有助于排除有毒元素，调节人体免疫功能。TB 还富含三价铬；铬在体内形成的“葡萄糖耐量因子”可以增强胰岛素功能，改善葡萄糖耐受量。TB 中含有多种维生素，其中芦丁（VP）是苦荞麦特有的其它谷类作物所不含有的成分^[24]。TB 籽粒中 B 族维生素的含量约为 0.78 mg/100 g，富含维生素 B1、B2 和 B6^[23]。苦荞麦中重要的生物活性物质还包括一些脂溶性维生素，特别是维生素 E。TB 籽粒中维生素 E 含量为 2.0~5.8 mg/kg，平均值为 9.5 mg/kg^[25]。

表 2 普通荞麦与苦荞麦营养成分的比较

Table 2 Comparison of nutritional components between <i>F. esculentum</i> and <i>F. tataricum</i>		
营养成分	<i>F. esculentum</i>	<i>F. tataricum</i>
热量（kJ）	1 354.00	1 276.80
脂肪（g）	2.30	2.70
蛋白质（g）	9.30	9.70
碳水化合物（g）	66.50	60.20
膳食纤维（g）	6.50	5.80
钙（mg）	47.00	39.00
镁（mg）	258.00	94.00
铁（mg）	6.20	4.40
锰（mg）	2.04	1.31
锌（mg）	3.62	2.02
铜（mg）	0.56	0.89
钾（mg）	401.00	320.00
钠（mg）	4.70	2.30
硒（μg）	2.45	5.57
磷（mg）	297.00	244.00
VC（mg）	0	0
VE（mg）	4.40	1.73
VA（μg）	3.00	0
胆固醇（mg）	0	0
胡萝卜素（μg）	2.40	2.30
核黄素（mg）	0.16	0.21
尼克酸（mg）	2.20	1.50
VB1（mg）	0.28	0.32

注：每 100 克食物中所占营养成分的比例。

1.4 脂类物质

荞麦的脂类主要集中在胚中，其脂肪含量在 1%~5%之间与普通荞麦相近^[26]。TB 中的脂肪酸包括棕榈酸、亚油酸、油酸、硬脂酸、二十碳烯酸和花生酸^[27]。其中油酸和亚油酸是主要脂肪酸，TB 是不饱和脂肪酸的来源。

TB 中含有大量的植物甾醇,并且可以达到整个种子的 96 mg/100 g^[28]。TB 中含量最高的是 β -谷甾醇,其次是菜油甾醇。Yang 等^[11]比较了 TB 与大米和小麦的植物甾醇组成,发现在 TB 中总植物甾醇含量明显高于其他两组,为 74 mg/100 g。Guo 等^[29]从 TB 麦麸皮中分离得到胡萝卜甾醇。

1.5 多酚类化合物

多酚是苦荞中研究最多的植物化学物质,具有多种亚型,并表现出与它们所含羟基分子的数量和位置一样广泛的生物活性。多酚具有抗氧化、抗炎、抗菌、抗糖尿病、抗衰老、抗肿瘤、抗癌和细胞毒活性^[30-33]。由于这些作用,多酚可以降低慢性疾病的风险并改变疾病的治疗方法^[34,35]。它们还被证明对心血管健康和认知功能有积极影响,可以预防神经退行性疾病^[36]。

1.5.1 蒽醌类化合物

蒽醌类化合物具有抗菌、保肝、抗癌等生物学功能^[37,38]。从 TB 种子中鉴定出 6 种不同类型的蒽醌类化合物,包括橙黄决明素、芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚和大黄素甲醚^[34](见图 3)。Peng 等^[37]使用高效液相色谱联合光电二极管阵列检测(High Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detector, HPLC-DAD)鉴定了 TB 种子和食品中的大黄素。4 个 TB 基因型的大黄素含量范围为 1.72~2.71 mg/kg。Wu 等^[38]采用选择性加速溶剂萃取(甲醇/丙酮(50:50, V/V)作为溶剂,硅胶作为吸附剂)结合超高效液相色谱联合光电二极管阵列检测^[31]测(Ultrahigh-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detector, UPLC-DAD)技术,同时测定 6 种蒽醌。通过研究发现,这些蒽醌类化合物可能以糖苷的形式存在于种子中,并在随后的制备过程中水解。

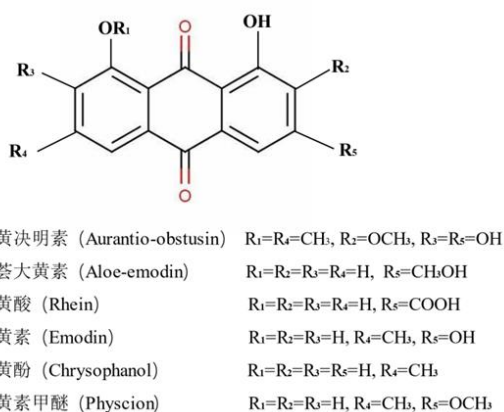


图 3 苦荞麦中 6 种蒽醌类化合物的化学结构

Fig.3 Chemical structure of 6 anthraquinones in Tartary buckwheat

1.5.2 酚酸类化合物

酚酸及其衍生物广泛分布于植物中,在 TB 中检测到的酚酸类化合物($C_{16}H_{22}O_5$)为羟基苯甲酸和羟基肉桂酸^[7,39]。通过超高效液相色谱-电喷雾质谱(Ultrahigh-Performance Liquid Chromatography with Electrospray Ionization Mass Spectrometry, UPLC-ESI-MS)在 TB 中鉴定了没食子酸、4-羟基苯甲酸、对羟基苯甲酸、香草酸、原儿茶酸、丁香酸、水杨酸、对香豆酸、邻香豆酸、咖啡酸、阿魏酸和绿原酸^[40]。与 VP 一样, TB 的酚酸含量受加工方法的影响,经发酵处理后,胡萝卜酸、阿魏酸和 4-羟基苯甲酸的浓度显著提高^[41],而热辅助烘焙和微波烹饪后,水杨酸、胡萝卜酸、绿原酸、原儿茶酸和没食子酸的含量显著降低^[40]。

1.6 黄酮类化合物

TB 中的黄酮类化合物($C_{15}H_{10}O_2$)因其含量丰富、成分独特、生物活性强等特点,近年来引起了人们的广泛关注。Qin 等^[26]采用 $AlCl_3$ 比色法比较了 21 个苦荞品种和 18 个普通荞麦品种的总黄酮含量,研究表明 TB 粉中总黄酮含量平均是普通荞麦粉的 10 倍左右。黄酮类化合物是植物和膳食中多酚类次级代谢产物中最主要的一类。TB 种子中黄酮类化合物的含量约为 40 mg/g,而其叶、茎和花中黄酮类化合物的含量约为 100 mg/g^[7]。如表 3 所示,目前已通过高效液相色谱(High-Performance Liquid Chromatography, HPLC)、高

效液相色谱-质谱法（High-Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometer, HPLC-MS）、超高效液相色谱-质谱法（Ultra-Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry, UPLC-MS）等多种检测方法对 TB 中不同的黄酮类化合物进行了鉴定，通过 UPLC-ESI-MS 和核磁共振（Nuclear Magnetic Resonance Spectra, NMR），将它们分类为黄酮醇、黄酮、异黄酮、黄烷酮、黄烷醇、花青素、荞麦苷、原花青素、和黄酮木酯素^[7]。在 TB 中检测到了几种黄酮醇，如 VP、山柰酚和槲皮素衍生物^[5,42-45]。结果表明，从 TB 中分离鉴定的黄酮类化合物中，VP 含量最高，占总酚的 90%^[46]。大量的流行病学证据表明，类黄酮是炎性细胞因子的活性抑制剂、炎症相关途径的调节剂、一氧化氮（Nitric Oxide, NO）和 ROS 累积的还原剂^[47]。染料木黄酮可减轻肥胖相关的胰腺 β 细胞炎症和氧化应激^[48]。从新鲜水果和蔬菜中大量摄入黄酮类化合物可以防止氧化，炎症和慢性疾病。通过饮食干预试验表明，食用富含类黄酮的食物可以通过调节胰腺 β 细胞、肝细胞和脂肪细胞的功能来防止 II 型糖尿病的胰岛素抵抗^[49]。特定的膳食黄酮类化合物对人体健康有积极的影响，但其潜在的机制还需进一步研究。

表 3 不同研究人员用于检测苦荞麦中存在的黄酮类化合物的方法

Table 3 Methods used by different researchers to detect flavonoids in Tartary buckwheat		
成分	检测方法	参考文献
异槲皮素、槲皮素和槲皮素	HPLC	[50-52]
	HPLC-ESI-MS and HPLC-UV	[53]
	UPLC-ESI-MS/MS	[45]
金丝桃甙和槲皮素	HPLC-MS	[54]
	RP-UHPLC-ESI-MS	[55]
	UPLC-ESI-MS/MS	[45]
	HPLC	[52]
原花青素 B2	RP-UHPLC-ESI-MS	[55]
	HPLC-MS	[54]
	HPLC	[52]
木犀草素	RP-UHPLC-ESI-MS	[55]
山柰酚	RP-UHPLC-ESI-MS	[55]
	UPLC-ESI-MS/MS	[45]
	HPLC	[50]
儿茶酚	RP-UHPLC-ESI-MS	[55]
儿茶素和表儿茶素	HPLC-PAD and LIT-FTICR-MS	[39]
异牡荆素和牡荆素	RP-UHPLC-ESI-MS	[55]
	UPLC-ESI-MS/MS	[45]
	HPLC	[52]
	HPLC	[52]
异荭草甙、异牡荆黄素、荭草素和牡荆黄素	HPLC-ESI-MS, HPLC-UV	[53]
	UPLC-ESI-MS/MS	[45]
	HPLC-MS	[54]

注：HPLC（高效液相色谱）；HPLC-ESI-MS（高效液相色谱-电喷雾-质谱）；HPLC-UV（高效液相色谱-紫外）；UPLC-ESI-MS/MS（超高效液相色谱-电喷雾-质谱联用）；HPLC-MS（高效液相色谱-质谱法）；RP-UPLC-ESI-MS（反相超高效液相色谱-电喷雾-质谱）；HPLC-PAD（高效液相色谱与光电二极管阵列检测器）；LIT-FTICR-MS（线性离子阱结合傅里叶变换离子回旋共振质谱）。

1.7 其它生物活性成分

采用 HPLC-PDA 技术首次鉴定了 TB 中的生物碱：N-反式阿魏酰酪胺^[5]。该生物碱具有神经保护作用^[56]。TB 根是传统中药的一部分，用于治疗慢性疾病，如风湿性疾病和癌症。通过 HPLC 技术鉴定了来自 TB 根中

的 8 种苯丙素苷^[57]。其中, 苦荞麦苷 (Tatarisides A-G) 和二苷 (Diboside A) 是从 TB 根中分离得到的苦荞特有的成分^[39,44]。

2 苦荞的生物活性

大量体外和体内研究证明, 上述生物活性化合物是促进健康的主要原因, 例如抗氧化、降血脂、抗菌、抗癌、抗炎等 (如表 4)。

2.1 抗氧化活性

许多研究表明, TB 及其产物由于含有多种生物活性成分, 如多酚和肽类, 在体外和体内都表现出强大的抗氧化活性^[8,9,58]。抗氧化机制如图 4 所示^[59], 主要包括以下几点: (a) 直接清除活性氧; (b) 抗氧化酶的激活; (c) 金属螯合活性的活化; (d) 增加 α -生育酚自由基水平; (e) 抑制 NAPDH 氧化酶; (f) 减轻氧化应激引起的 NO; (g) 增加尿酸水平; (h) 提高低分子量抗氧化剂的抗氧化性能。一般来说, 较高的多酚含量与体外抗氧化活性呈正相关, 此外, 不同的食品加工技术可能会显著影响 TB 及其产品的抗氧化活性^[39]。例如, 与 80% 丙酮和乙酸乙酯提取物相比, 在 70% 乙醇提取物中观察到更高的抗氧化活性^[41]。此外, 与热水提取、超声辅助提取和超声辅助亚临界水提取等其他方法相比, 单一亚临界水提取法更有利于从 TB 中提取抗氧化化合物^[60]。同时, 适当的烘焙、酿造、煮沸、蒸制、高压灭菌、发酵和发芽等预处理, 能够提高总多酚含量, 从而提高抗氧化活性^[40,61,62]。此外, 在 TB 面包制备的面团形成和发酵阶段, 类黄酮糖苷 (VP 和山奈酚-3-芸香糖苷) 转化为糖苷配基 (槲皮素和山奈酚) 的过程中抗氧化活性增加^[63]。在 TB 的副产物, 如麸皮、外壳、叶子和花中同样具有相关的抗氧化活性, 因此可作为天然抗氧化剂的来源^[53,64-66]。除了多酚, TB 衍生肽也表现出显著的抗氧化活性。从 TB 白蛋白中提取的新抗氧化肽通过改善 GSH/GSSG 的比值, 对脂质过氧化和还原力表现出较强的抑制作用^[67]。

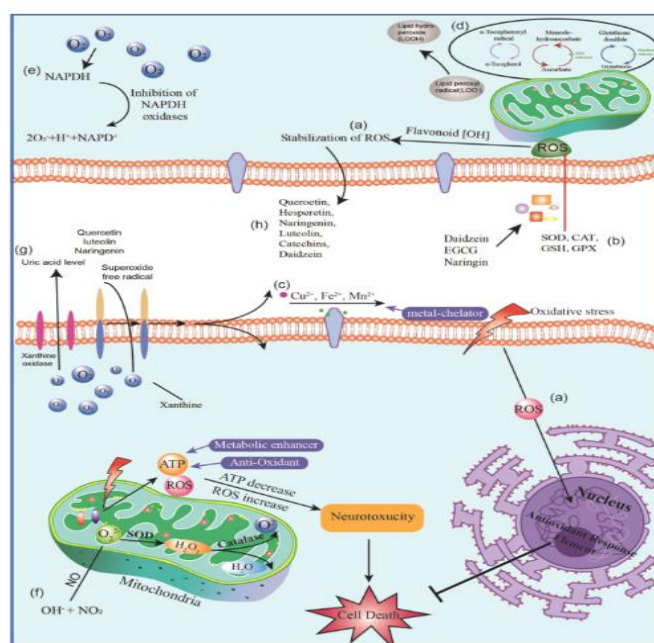


图 4 黄酮类化合物体外抗氧化作用机制的研究

Fig.4 Mechanisms of flavonoid antioxidant activity in vitro

2.2 抗炎活性

炎症是一种常见的生物学过程, 是组织损伤, 微生物病原体和化学刺激的一种防御反应, 存在于癌症, 阿尔兹海默病, 肥胖症和糖尿病的发病初期阶段^[68]。已有研究表明 TB 及其活性成分具有显著的抗炎活性^[7,39,58]。Hwang 等^[69]研究表明, 从 TB 分离的山奈酚-3-O- β -芸香糖苷对脂多糖 (Lipopolysaccharide, LPS) 诱导的 RAW 264.7 巨噬细胞具有抗炎作用。该化合物通过核因子 κ B (Nuclear Factor Kappa-B, NF- κ B) 和丝裂原活化蛋白

激酶 (Mitogen-Activated Protein Kinase, MAPK) 途径抑制 LPS 诱导的 RAW 264.7 细胞中 NO、白细胞介素 (Interleukin-6, IL-6) 和肿瘤坏死因子 A (Tumor Necrosis Factor A, TNF- α) 的产生, 并抑制环氧化酶-2 (Cyclooxygenase-2, COX-2) 和诱导型一氧化氮合酶 (Inducible Nitric Oxide Synthase, iNOS) 的表达。TB 也通过 NF- κ B 和 MAPK 途径促进了对 LPS 诱导的 RAW 264.7 细胞的抗炎作用^[70]。

2.3 降血脂活性

高脂血症是一种与甘油三酯 (Triglycerides, TG)、总胆固醇 (Total Cholesterol, TC)、低密度脂蛋白 (Low-Density Lipoproteins, LDL) 水平升高和高密度脂蛋白 (High-Density Lipoproteins, HDL) 水平降低有关的代谢性疾病^[58]。Wang 等^[71]研究 TB 乙醇提取物 (TB Ethanol Extract, TBEE) 的抗氧化活性及其对高脂饮食诱导的高血脂大鼠血脂谱的影响。结果表明, TBEE 可显著降低血清和肝脏中的 TG 和 TC 水平, 上调血清谷胱甘肽过氧化物酶 (Glutathione Peroxidase, GSH-Px) 活性, 并下调血清丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 水平、血浆致动脉粥样硬化指数 (Atherogenic Index of Plasma, AIP) 和致动脉粥样硬化指数 (Atherogenic Index, AI)。谢琳琳等^[72]通过建立高脂血症大鼠模型, 用荞麦槲皮素对大鼠进行灌胃治疗, 并测定各组大鼠的血清、肝脏脂质水平等, 结果表明荞麦槲皮素能显著调节高脂膳食大鼠的血脂异常, 改善脂质堆积。此外, 从 TB 中分离的生物活性蛋白可预防高脂饮食喂养小鼠中与肠道微生物群变化相关的血脂异常, 降低血液 TC 和 TG 水平, 并降低 TNF- α 和 IL-6 水平^[73]。

2.4 抗癌活性

大量体内和体外研究发现 TB 提取物具有抗癌活性^[39,44,58]。最近研究表明, TB 多酚对人肝癌细胞^[60]和人结肠癌 Caco-2 细胞^[74]具有细胞毒性。此外, 还研究了 TB 及其生物活性化合物的抗癌作用和可能的分子机制, 表明 TB 酚类化合物通过 p38/MAPK 通路诱导细胞凋亡以及细胞周期从 G1 期停滞至 S 期, 以剂量依赖性方式对人乳腺癌 MDA-MB-231 细胞具有抗癌活性^[75]。Zhou 等^[76]通过促进凋亡蛋白的介导表达, 发现 TB 黄酮类化合物对人胃癌 MGC 80-3 细胞表现出显著的抗癌活性。

2.5 抗糖尿病活性

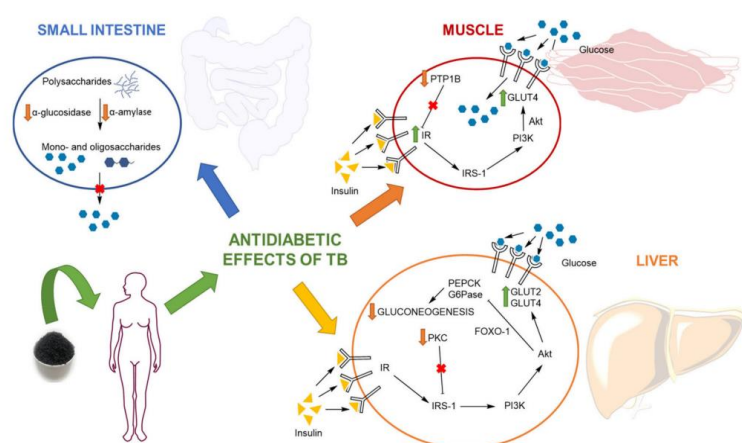


图5 苦荞麦及其活性成分的降糖机制

Fig.5 The antidiabetic mechanisms of Tartary buckwheat and its bioactive components

糖尿病是一种以高血糖为特征的代谢性疾病, 是现代社会的健康问题之一。苦荞及其活性成分的抗糖尿病作用主要作用于小肠、肌肉和肝脏^[77] (见图5): (1) 在小肠中, TB 及其生物活性成分抑制 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶的活性, 并抑制膳食多糖分解为易于吸收的寡糖和单糖, 从而降低餐后血糖水平。(2) 在肌肉中, TB 及其生物活性成分通过下调 PTP 1B 的表达和上调 PI3 K 的表达来改善胰岛素抵抗。(3) 在肝脏中, TB 及其生物活性成分通过激活 GLUT 2 和 GLUT 4 的表达来促进葡萄糖摄取, 并通过抑制 PEPCK 和 G6-ERK 的表达来下调肝细胞生成。PTP 1B, 蛋白酪氨酸磷酸酶 1B; IR, 胰岛素受体; IRS-1, 胰岛素受体底

物-1; PI3 K, 磷酸肌醇-3-激酶; Akt, 蛋白激酶 B; GLUT, 葡萄糖转运蛋白; FOXO1, 叉头盒蛋白 O1; PEPCK, 磷酸烯醇丙酮酸羧激酶; G6 β , 葡萄糖-6-磷酸。Lee 等^[78]在高糖诱导的 FL83B 肝细胞和喂食富含果糖饮食(FRD)的小鼠中系统评价了乙醇提取物、芦丁和槲皮素的抗糖尿病活性。结果表明, 给予乙醇提取物和芦丁可显著降低 FRD 诱导小鼠的血清葡萄糖和胰岛素水平, 改善胰岛素敏感性, 降低肝脏和血清 TC、TG 和 LDL 水平, 并增加肝脏中过氧化氢酶 (Catalase, CAT)、谷胱甘肽还原酶 (Glutathione reductase, GR)、超氧化物歧化酶 (Superoxide Dismutase, SOD) 和 GSH-Px 活性。除了黄酮类化合物外, TB 衍生的 DCI 也具有优异的抗糖尿病活性。口服富含 DCI 的苦荞提取物 (Tartary Buckwheat Extract, TBE) 可降低 II 型糖尿病 KK-A^y 小鼠的血糖、C 肽、胰高血糖素、TG 和尿素氮, 从而增强葡萄糖耐量和胰岛素敏感性^[79]。TB 的生物活性及作用机制总结如表 4 所示。

表 4 苦荞的生物活性及作用机制

Table 4 Bioactive of Tartary buckwheat and their mechanisms		
生物活性	作用机制	参考文献
抗氧化	清除自由基活性	[80]
	提高总抗氧化能力	[81]
	GSH/GSSG 比值升高	[67]
	减少 ROS	[82]
	提高 SOD, CAT 和 GSH-Px 活性	[81]
	抑制脂质过氧化	[67]
抗炎	减少 TNF- α , IL-6, NF- κ B 和 NO	[69,70]
	抑制 iNOS、COX-2 和 MCP-1	[69,83]
降血脂	降低血清 TC、TG、LDL 和 MDA 水平	[71,84]
	降低肝脏 TC 和 TG 水平	[58,71]
	降低致动脉粥样硬化指数	[71]
	升高血清 HDL 水平	[84]
	增强肠道微生物菌群	[73]
抗癌	对肝 HepG 2、结肠 Caco-2、乳腺 Bcap 37、MCF-1 和 MDA-MB-231、胃 MGC 80-3、肺 A549 和 H460 以及白血病 THP-1 癌细胞系的细胞毒性	[60,65,75,76,85-88]
抗糖尿病	降低血清葡萄糖水平	[78,89]
	降低胰岛素水平	[90]
	增强葡萄糖摄取和耐受能力	[17,91]
	抑制氧化应激	[92]
抗肥胖	减轻体重	[93]
	减少体脂百分比	[94]
	抑制氧化应激和脂肪组织炎症	[95]
保肝	降低血清 AST、ALT、ALP、LDH 和 CRP 水平	[96]
	降低 ROS、TBARS、MDA、TC、TG、LDL 水平	[97]
	TNF- α 、IL-1 β 和 IL-6 降低	[96]
	增强 GSH、GSH—Px、CAT、GR、GST 和 SOD 活性	[96]
其他生物活性	抗菌活性	[66]
	预防心血管功能障碍	[39]
	抗高血压活性	[98,99]
	DNA 结构预防	[100]
	降低胆固醇	[11,19,101,102]

2.6 其他生物活性

除了上述药用价值外，TB 及其衍生化合物还具有其他药用保健价值^[77]。Jin 等^[103]研究了 TBE 在雄性昆明小鼠游泳实验中的抗疲劳特性。结果表明，TBE 具有抗疲劳特性，延长了小鼠的游动时间，有效抑制了血乳酸的增加，降低了血尿素氮水平，提高了小鼠的组织糖原含量以及 SOD 和 GSH-Px 的活性。因此，TB 中的抗氧化剂有助于清除导致疲劳的自由基。通过体外测定和动力学研究发现，存在于 TB 中的提取物和纯化化合物（例如，槲皮素、异槲皮素和芦丁）对包括 α -淀粉酶^[104]在内的 α -葡萄糖苷酶^[105]和胰脂肪酶^[106]等消化酶显示出抑制活性。此外，TB 衍生的 D-荞麦碱可以通过降低餐后肝脏果糖水平来对抗蔗糖诱导的脂肪变性和高血压，能有效预防代谢综合征风险^[99]。

3 苦荞麦的工业应用

近年来，随着人们对 TB 生物活性作用认识的提高，以及现代食品加工技术和设备的迅速发展，TB 产品的种类更加丰富和多样化。中国国家市场监督管理总局^[11]批准了几种与 TB 相关的健康食品。在不同的健康食品中，主要由 TB 粉或 TBE 构成健康组合配方，其形式多样，包括 TB 胶囊、TB 醋、TB 片剂和 TB 茶。其中，TB 茶由于其独特的麦芽香味以及对健康的益处在全球范围内越来越受欢迎^[74]。根据原料的不同，一般可分为三种类型：全植物茶、全麸皮茶和全胚茶。据估计，中国有 30 多家知名企业生产 TB 茶，年产值超过 25 亿元人民币。从表 5 中可知^[77]，普通人群最受欢迎的产品形式为 TB 胶囊。大量研究证明，约 88.6% 的 TB 健康食品能够降低血糖、血脂、血压水平、改善胃肠道功能以及防止辐射危害^[2,7,39]。TB 及其产品在美国、加拿大和欧洲很受欢迎^[58]，其面条、面包、饼干和茶在中国、日本、韩国、印度、尼泊尔和加拿大^[58]等国家被广泛消费。TB 中含有丰富的营养成分以及功能因子，经常食用能强身健体、改善体质，因此在食品加工与新产品开发方面具有很大的发展潜力。目前，我国趋向于对 TB 籽粒的研究，TB 的应用局限于茶叶和 TB 粉的形式，造成了 TB 副产品资源的浪费，建议借鉴其它植物叶的应用优势，深入研究 TB 各部位的功能，对其功能性成分进行探索，加强其活性成分的提取分离，充分发挥 TB 丰富的营养优势，开发出更多、更有效的功能性食品。此外，为了确保健康食品的有效性和安全性，应尽快制定和完善 TB 食品的质量控制标准，关注 TB 过敏原、重金属和霉菌毒素污染，并开发特定的食品加工技术，尽量减少 TB 产品中的过敏原含量。

表 5 中国国家市场监督管理总局批准的与 TB 相关的健康食品，功效及适用人群

Table 5 TB related health food approved by the State Administration for Market Regulation, efficacy and population

产品	主要成分	功效	适用人群
胶囊	TBE	GL、FL	HGFL
胶囊	TBE	GL	HGL
胶囊	TBF	GL	HGL
胶囊	TBF	GL、FL	HGFL
胶囊	TBF	RHP	RE
胶囊	TBF	RHP	RE
片剂	TBE	GL	HGL
TB 醋	TBS	FL	HLP
TB 粉	TBF	WR	SO
TB 粉	TBF	GL、FL	HGFL
TB 茶	TBF	GL、FL	HGL
饼干	TBF	GL、FL	HGFL

注：TBE: 苦荞提取物；TBF: 苦荞粉；TBS: 苦荞种子；GL: 降血糖；FL: 降血脂；RHP: 防护辐射危害；WR: 减重；HGFL: 高血糖和高脂肪水平；HGL: 高血糖水平；RE: 辐射暴露；HLP: 高脂血；SO: 单纯性肥胖

4 结论与展望

TB 中丰富的黄酮类、酚酸类、三萜类、生物活性多糖、生物活性蛋白质等活性物质使其具有一系列生理

功能,如抗氧化、降血脂、抗炎、抗糖尿病、抗高血压和抗癌等等。黄酮类化合物,如芦丁和槲皮素,是TB中的主要生物活性成分。然而,这些生物活性化合物在不同的食品加工方法中的变化还有待阐释,需要进一步的研究来提高TB在功能食品工业中的应用。TB在世界上有很长的食用历史,但由于苦味和适口性差,其发展受到了抑制。制备没有苦味、富含黄酮类化合物的食品将是苦荞加工的潜在发展方向。因此,在今后TB产品的开发中,不仅要考虑到有益的保健作用,而且要减少或消除产品的苦味。在TB育种时,应注重培育可用于饮料、酸奶、化妆品、保健茶生产和对各种疾病疗效显著的优质品种,切实提高苦荞的经济价值,满足不同消费者的需求。大量体外和体内的流行病学研究表明,TB中的生物活性成分具有多种促进健康的好处。然而,许多研究仅使用粗提物,有必要探索从TB中提取和分离生物活性物质的有效方法。尽管已有研究对TB及其生物活性化合物的潜在分子机制进行了研究,但潜在的分子靶点仍需进一步阐明,还需进行更多的研究以深入阐明TB的作用机制,使TB充分发挥其经济价值和社会效益。

参考文献

- [1] SYTAR O, BRESTIC M, ZIVCAK M, et al. The contribution of buckwheat genetic resources to health and dietary diversity [J]. *Current Genomics*, 2016, 17(3): 193-206.
- [2] RUAN J, ZHOU Y, YAN J, et al. Tartary buckwheat: An under-utilized edible and medicinal herb for food and nutritional security [J]. *Food Reviews International*, 2022, 38(4): 440-454.
- [3] LI C, KOBAYASHI K, YOSHIDA Y, et al. Genetic analyses of agronomic traits in Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) [J]. *Breeding Science*, 2012, 62(4): 303-309.
- [4] ZINN J. On variation in tartary buckwheat, *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1919, 5(11): 506-514.
- [5] REN Q, WU C, REN Y, et al. Characterization and identification of the chemical constituents from tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn) by high performance liquid chromatography/photodiode array detector/linear ion trap FTICR hybrid mass spectrometry [J]. *Food Chemistry*, 2013, 136(3-4): 1377-1389.
- [6] REN Q, LI Y, WU C, et al. Metabolism of secondary metabolites isolated from Tartary buckwheat and its extract [J]. *Food Chemistry*, 2014, 154: 134-144.
- [7] HUDA M N, LU S, JAHAN T, et al. Treasure from garden: Bioactive compounds of buckwheat [J]. *Food Chemistry*, 2021, 335: 127653.
- [8] JI X, HAN L, LIU F, et al. A mini-review of isolation, chemical properties and bioactivities of polysaccharides from buckwheat (*Fagopyrum* Mill) [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 127: 204-209.
- [9] ZHU F. Buckwheat proteins and peptides: Biological functions and food applications [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 110: 155-167.
- [10] ZHU F. Buckwheat starch: Structures, properties, and applications [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 49: 121-135.
- [11] YANG N, LI Y M, ZHANG K, et al. Hypocholesterolemic 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.
- [12] GAO J, KREFT I, CHAO G, 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.
- [13] YANG N, REN G. Determination of D-chiro-Inositol in tartary buckwheat using high-performance liquid chromatography with an evaporative light-scattering detector [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(3): 757-760.
- [14] WIJNGAARD H H, ARENDT E K. Buckwheat [J]. *Cereal Chemistry*, 2006, 83(4): 391-401.
- [15] HORBOWICZ M, BRENAC P, OBENDORF R L. Fagopyritol B1, O- α -D-galactopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 2)-D-chiro-inositol, a galactosyl cyclitol in maturing buckwheat seeds associated with desiccation tolerance [J]. *Planta*, 1998, 205: 1-11.
- [16] WANG X T, ZHU Z Y, ZHAO L, et al. Structural characterization and inhibition on α -d-glucosidase activity of non-starch polysaccharides from *Fagopyrum tartaricum* [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 153: 679-685.
- [17] WU W, LI Z, QIN F, et al. Anti-diabetic effects of the soluble dietary fiber from tartary buckwheat bran in diabetic mice and their potential mechanisms [J]. *Food & Nutrition Research*, 2021, 65(8): 2919.

- [18] 张雨薇,景梦琳,李小平,等.不同种荞麦发芽前后蛋白质及氨基酸变化主成分分析与综合评价[J].食品与发酵工业,2017,43(7):214.
- [19] 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.
- [20] CHEN P, GUO Y F, YAN Q, et al. Molecular cloning and characterization of Fag t2: a 16-kDa major allergen from Tartary buckwheat seeds [J]. Allergy, 2011, 66(10): 1393-1395.
- [21] ZHANG X, YUAN J M, CUI X D, et al. Molecular cloning, recombinant expression, and immunological characterization of a novel allergen from tartary buckwheat [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(22): 10947-10953.
- [22] YANG Z H, LI C, LI Y Y, et al. Effects of Maillard reaction on allergenicity of buckwheat allergen Fag t3 during thermal processing [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(6): 1510-1515.
- [23] IKEDA S, YAMASHITA Y, TOMURA K, et al. Nutritional comparison in mineral characteristics between buckwheat and cereals [J]. Fagopyrum, 2006, 23(5): 61-65.
- [24] 许文涛,张方方,罗云波,等.荞麦水溶性多糖的分离纯化及其分子量的测定[J].食品科学,2009,30(13):22-24.
- [25] JIANG Y, EL MEHDAWI A F, TRIPTI, et al. Characterization of selenium accumulation, localization and speciation in buckwheat implications for biofortification [J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 1583.
- [26] QIN P, WANG Q, SHAN F, et al. Nutritional composition and flavonoids content of flour from different buckwheat cultivars [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(5): 951-958.
- [27] YIMING Z, HONG W, LINLIN C, et al. Evolution of nutrient ingredients in tartary buckwheat seeds during germination [J]. Food Chemistry, 2015, 186: 244-248.
- [28] PIIRONEN V, TOIVO J, LAMPI A M. Plant sterols in cereals and cereal products [J]. Cereal Chemistry, 2002, 79(1): 148-154.
- [29] GUO X D, WANG M, GAO J M, et al. Bioguided fraction of antioxidant activity of ethanol extract from tartary buckwheat bran [J]. Cereal Chemistry, 2012, 89(6): 311-315.
- [30] JOVANOVIĆ A A, DJORDJEVIĆ V B, PETROVIĆ P M, et al. The influence of different extraction conditions on polyphenol content, antioxidant and antimicrobial activities of wild thyme [J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2021, 25: 100328.
- [31] DONG R, YU Q, LIAO W, et al. Composition of bound polyphenols from carrot dietary fiber and its in vivo and in vitro antioxidant activity [J]. Food Chemistry, 2021, 339: 127879.
- [32] BANICA F, BUNGAU S, TIT D M, et al. Determination of the total polyphenols content and antioxidant activity of Echinacea purpurea extracts using newly manufactured glassy carbon electrodes modified with carbon nanotubes [J]. Processes, 2020, 8(7): 833.
- [33] ZHANG Y, LAN M, LÜ J P, et al. Antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activities of polyphenols extracted from *Chroogomphus rutilus* [J]. Chemistry & Biodiversity, 2020, 17(1): e1900479.
- [34] PM S, TUNGARE K, SUNARIWAL S, et al. Extraction and characterization of polyphenols from *artocarpus heterophyllus* and its effect on oxidative stability of peanut oil [J]. International Journal of Fruit Science, 2020, 20(sup3): S1134-S1155.
- [35] ZUNINO S J, STORMS D H, STEPHENSEN C B. Diets Rich in Polyphenols and Vitamin A Inhibit the Development of Type I Autoimmune Diabetes in Nonobese Diabetic Mice 3 [J]. The Journal of Nutrition, 2007, 137(5): 1216-1221.
- [36] IM Y R, KIM I, LEE J. Phenolic composition and antioxidant activity of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.): Varietal comparisons and physical distribution [J]. Antioxidants, 2021, 10(3): 462.
- [37] PENG L X, WANG J B, HU L X, et al. Rapid and simple method for the determination of emodin in tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) by high-performance liquid chromatography coupled to a diode array detector [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(4): 854-857.
- [38] WU X, GE X, LIANG S, et al. A novel selective accelerated solvent extraction for effective separation and rapid simultaneous determination of six anthraquinones in tartary buckwheat and its products by UPLC-DAD [J]. Food Analytical Methods, 2015, 8: 1124-1132.

- [39] ZHU F. Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat [J]. Food Chemistry, 2016, 203: 231-245.
- [40] LIU Y, CAI C, YAO Y, et al. Alteration of phenolic profiles and antioxidant capacities of common buckwheat and tartary buckwheat produced in China upon thermal processing [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(12): 5565-5576.
- [41] CHEN Y, QIN L, WEN A, et al. Three-solvent extracting method comprehensively evaluates phenolics profile and antioxidant activities of Tartary buckwheat [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(1): e15020.
- [42] BOROVAYA S, KLYKOV A. Some aspects of flavonoid biosynthesis and accumulation in buckwheat plants [J]. Plant Biotechnology Reports, 2020, 14(2): 213-225.
- [43] JIANG S, LIU Q, XIE Y, et al. Separation of five flavonoids from tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn) grains via off-line two dimensional high-speed counter-current chromatography [J]. Food Chemistry, 2015, 186: 153-159.
- [44] JING R, LI H Q, HU C L, et al. Phytochemical and pharmacological profiles of three *Fagopyrum* buckweats [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2016, 17(4): 589.
- [45] LI J, YANG P, YANG Q, et al. Analysis of flavonoid metabolites in buckwheat leaves using UPLC-ESI-MS/MS [J]. Molecules, 2019, 24(7): 1310.
- [46] SYTAR O, BIEL W, SMETANSKA I, et al. Bioactive compounds and their biofunctional properties of different buckwheat germplasms for food processing [M]. Buckwheat Germplasm in the World. Elsevier. 2018: 191-204.
- [47] LIU K, PI F, ZHANG H, et al. Metabolomics analysis to evaluate the anti-inflammatory effects of polyphenols: glabridin reversed metabolism change caused by LPS in RAW 264.7 cells [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(29): 6070-6079.
- [48] GHADIMI D, HEMMATI M, KARIMI N, et al. Soy isoflavone genistein is a potential agent for metabolic syndrome treatment: A narrative review [J]. Journal of Advances in Medical and Biomedical Research, 2020, 28(127): 64-75.
- [49] HUSSAIN T, TAN B, MURTAZA G, et al. Flavonoids and type 2 diabetes: Evidence of efficacy in clinical and animal studies and delivery strategies to enhance their therapeutic efficacy [J]. Pharmacological Research, 2020, 152: 104629.
- [50] GABR A M, SYTAR O, GHAREEB H, et al. Accumulation of amino acids and flavonoids in hairy root cultures of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) [J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2019, 25: 787-797.
- [51] GE R H, WANG H. Nutrient components and bioactive compounds in tartary buckwheat bran and flour as affected by thermal processing [J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 127-137.
- [52] KALINOVÁ J P, VRCHOTOVÁ N, TRÍŠKA J. Phenolics levels in different parts of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) achenes [J]. Journal of Cereal Science, 2019, 85: 243-248.
- [53] PARK B I, KIM J, LEE K, et al. Flavonoids in common and tartary buckwheat hull extracts and antioxidant activity of the extracts against lipids in mayonnaise [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56: 2712-2720.
- [54] MARTÍN-GARCÍA B, PASINI F, VERARDO V, et al. Distribution of free and bound phenolic compounds in buckwheat milling fractions [J]. Foods, 2019, 8(12): 670.
- [55] DZIEDZIC K, GÓRCEKA D, SZWENGIEL A, et al. The content of dietary fibre and polyphenols in morphological parts of buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2018, 73: 82-88.
- [56] THANGNIPON W, SUWANNA N, KITTYANANT N, et al. Protective role of N-trans-feruloyltyramine against β -amyloid peptide-induced neurotoxicity in rat cultured cortical neurons [J]. Neuroscience Letters, 2012, 513(2): 229-232.
- [57] ZHENG C, HU C, MA X, et al. Cytotoxic phenylpropanoid glycosides from *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn [J]. Food Chemistry, 2012, 132(1): 433-438.
- [58] GIMENEZ-BASTIDA J A, ZIELINSKI H. Buckwheat as a functional food and its effects on health [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(36): 7896-7913.
- [59] SHEN N, WANG T, GAN Q, et al. Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity [J]. Food Chemistry, 2022, 383: 132531.
- [60] DZAH C S, DUAN Y, ZHANG H, et al. Ultrasound, subcritical water-and ultrasound assisted subcritical water-derived Tartary buckwheat polyphenols show superior antioxidant activity and cytotoxicity in human liver carcinoma cells [J]. Food Research International, 2020, 137: 109598.

- [61] LING A, LI X, HU X, et al. Dynamic changes in polyphenol compounds, antioxidant activity, and PAL gene expression in different tissues of buckwheat during germination [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(15): 5723-5730.
- [62] ZHANG X Y, CHEN J, LI X L, et al. Dynamic changes in antioxidant activity and biochemical composition of tartary buckwheat leaves during *Aspergillus niger* fermentation [J]. Journal of Functional Foods, 2017, 32: 375-381.
- [63] XIAO Y, YANG C, XU H, et al. Study on the change of flavonoid glycosides to aglycones during the process of steamed bread containing tartary buckwheat flour and antioxidant, α -glucosidase inhibitory activities evaluation in vitro [J]. LWT, 2021, 145: 111527.
- [64] DZIADEK K, KOPEĆ A, PIĄTKOWSKA E, et al. Identification of polyphenolic compounds and determination of antioxidant activity in extracts and infusions of buckwheat leaves [J]. European Food Research and Technology, 2018, 244: 333-343.
- [65] LI W, ZHANG X, HE X, et al. Effects of steam explosion pretreatment on the composition and biological activities of tartary buckwheat bran phenolics [J]. Food & Function, 2020, 11(5): 4648-4658.
- [66] ZHAO J, JIANG L, TANG X, et al. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the flower volatile oils of *Fagopyrum esculentum*, *Fagopyrum tataricum* and *Fagopyrum cymosum* [J]. Molecules, 2018, 23(1): 182.
- [67] LUO X, FEI Y, XU Q, et al. Isolation and identification of antioxidant peptides from tartary buckwheat albumin (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) and their antioxidant activities [J]. Journal of Food Science, 2020, 85(3): 611-617.
- [68] GARCÍA-PÉREZ P, AYUSO M, LOZANO-MILO E, et al. Phenolic profiling and in vitro bioactivities of three medicinal Bryophyllum plants [J]. Industrial Crops and Products, 2021, 162: 113241.
- [69] HWANG D, KANG M J, KANG C W, et al. Kaempferol-3-O- β -rutinoside suppresses the inflammatory responses in lipopolysaccharide-stimulated RAW264.7 cells via the NF- κ B and MAPK pathways [J]. International Journal of Molecular Medicine, 2019, 44(6): 2321-2328.
- [70] NAM T-G, LIM T-G, LEE B H, et al. Comparison of anti-inflammatory effects of flavonoid-rich common and tartary buckwheat sprout extracts in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 and peritoneal macrophages [J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2017, 2017(1): 9658030.
- [71] WANG M, LIU J R, GAO J M, et al. Antioxidant activity of Tartary buckwheat bran extract and its effect on the lipid profile of hyperlipidemic rats [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(11): 5106-5112.
- [72] 谢琳琳,迟晓星,董佳萍,等.荞麦槲皮素对高脂饮食大鼠脂代谢及脂肪因子的调节作用[J].现代食品科技,2023,39(5):1-7.
- [73] 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.
- [74] LI Z, LI Z, HUANG Y, et al. Antioxidant capacity, metal contents, and their health risk assessment of tartary buckwheat teas [J]. Acs Omega, 2020, 5(17): 9724-9732.
- [75] LI F, ZHANG X, LI Y, et al. Phenolics extracted from tartary (*Fagopyrum tataricum* L. Gaertn) buckwheat bran exhibit antioxidant activity, and an antiproliferative effect on human breast cancer MDA-MB-231 cells through the p38/MAP kinase pathway [J]. Food & Function, 2017, 8(1): 177-188.
- [76] ZHOU X L, CHEN Z D, ZHOU Y M, et al. The effect of tartary buckwheat flavonoids in inhibiting the proliferation of MGC80-3 cells during seed germination [J]. Molecules, 2019, 24(17): 3092.
- [77] ZOU L, WU D, REN G, et al. Bioactive compounds, health benefits, and industrial applications of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 63(5): 657-673.
- [78] LEE C C, HSU W H, SHEN S R, et al. *Fagopyrum tataricum* (buckwheat) improved high glucose induced insulin resistance in mouse hepatocytes and diabetes in fructose rich diet induced mice [J]. Journal of Diabetes Research, 2012, 2012(1): 375673.
- [79] YAO Y, SHAN F, BIAN J, et al. D-chiro-inositol-enriched tartary buckwheat bran extract lowers the blood glucose level in KK-Ay mice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(21): 10027-10031.
- [80] CHEN S, WU L, ZHU H, et al. Effects of processing methods on phenolic compositions, anti-oxidant activities and α -glucosidase inhibitory ability of two buckwheat varieties [J]. Chemical Papers, 2021, 75(3): 1029-1039.
- [81] ZHOU Y, JIANG Y, SHI R, et al. Structural and antioxidant analysis of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) 13S globulin [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(3): 1220-1229.

- [82] CHOI S Y, CHOI J Y, LEE J M, et al. Tartary buckwheat on nitric oxide-induced inflammation in RAW264. 7 macrophage cells [J]. Food & Function, 2015, 6(8): 2664-2670.
- [83] 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.
- [84] ZHANG C, ZHANG R, LI Y M, et al. Cholesterol-lowering activity of Tartary buckwheat protein [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(9): 1900-1906.
- [85] GUO X, ZHU K, ZHANG H, et al. Anti-tumor activity of a novel protein obtained from tartary buckwheat [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2010, 11(12): 5201-5211.
- [86] JIA L, HUANG S, YIN X, et al. Quercetin suppresses the mobility of breast cancer by suppressing glycolysis through Akt-mTOR pathway mediated autophagy induction [J]. Life Sciences, 2018, 208: 123-130.
- [87] LEE S H, LEE E J, MIN K H, et al. Quercetin enhances chemosensitivity to gemcitabine in lung cancer cells by inhibiting heat shock protein 70 expression [J]. Clinical Lung Cancer, 2015, 16(6): e235-e243.
- [88] WU S C, LEE B H. Buckwheat polysaccharide exerts antiproliferative effects in THP-1 human leukemia cells by inducing differentiation [J]. Journal of Medicinal Food, 2011, 14(1-2): 26-33.
- [89] LEE D G, JANG I S, YANG K E, et al. Effect of rutin from tartary buckwheat sprout on serum glucose-lowering in animal model of type 2 diabetes [J]. Acta Pharmaceutica, 2016, 66(2): 297-302.
- [90] WU W, WANG L, QIU J, et al. The analysis of fagopyritols from tartary buckwheat and their anti-diabetic effects in KK-Ay type 2 diabetic mice and HepG2 cells [J]. Journal of Functional Foods, 2018, 50: 137-146.
- [91] CHEN S, LI H, LIU Y, et al. Quercitrin extracted from Tartary buckwheat alleviates imiquimod-induced psoriasis-like dermatitis in mice by inhibiting the Th17 cell response [J]. Journal of Functional Foods, 2017, 38: 9-19.
- [92] RAMOS-ROMERO S, HEREU M, ATIENZA L, et al. Functional Effects of the Buckwheat Iminosugard Fagomine on Rats with Diet-Induced Prediabetes [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2018, 62(16): 1800373.
- [93] NISHIMURA M, OHKAWARA T, SATO Y, et al. Effectiveness of rutin-rich Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) 'Manten-Kirari' in body weight reduction related to its antioxidant properties: A randomised, double-blind, placebo-controlled study [J]. Journal of Functional Foods, 2016, 26: 460-469.
- [94] PENG L, ZHANG Q, ZHANG Y, et al. Effect of tartary buckwheat, rutin, and quercetin on lipid metabolism in rats during high dietary fat intake [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(1): 199-213.
- [95] KIM S-Y, LEE M-S, CHANG E, et al. Tartary buckwheat extract attenuated the obesity-induced inflammation and increased muscle PGC-1 α /SIRT1 expression in high fat diet-induced obese rats [J]. Nutrients, 2019, 11(3): 654.
- [96] LEE C C, SHEN S R, LAI Y J, et al. Rutin and quercetin, bioactive compounds from tartary buckwheat, prevent liver inflammatory injury [J]. Food & Function, 2013, 4(5): 794-802.
- [97] HU Y, ZHAO Y, REN D, 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.
- [98] HOU Z, HU Y, YANG X, 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.
- [99] RAMOS-ROMERO S, HEREU M, ATIENZA L, et al. The buckwheat iminosugard Fagomine attenuates sucrose induced steatosis and hypertension in rats [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2020, 64(1): 1900564.
- [100] 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.
- [101] KUWABARA T, HAN K H, HASHIMOTO N, et al. Tartary buckwheat sprout powder lowers plasma cholesterol level in rats [J]. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 2007, 53(6): 501-507.
- [102] WIESLANDER G, FABJAN N, VOGRINCIC M, et al. Eating buckwheat cookies is associated with the reduction in serum levels of myeloperoxidase and cholesterol: a double blind crossover study in day-care centre staffs [J]. The Tohoku Journal of Experimental Medicine, 2011, 225(2): 123-130.

- [103] JIN H M, WEI P. Anti-fatigue properties of tartary buckwheat extracts in mice [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2011, 12(8): 4770-4780.
- [104] LI Y, GAO F, GAO F, et al. Study on the interaction between 3 flavonoid compounds and α -amylase by fluorescence spectroscopy and enzymatic kinetics [J]. Journal of Food Science, 2009, 74(3): C199-C203.
- [105] LI Y Q, ZHOU F C, GAO F, et al. Comparative evaluation of quercetin, isoquercetin and rutin as inhibitors of α -glucosidase [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(24): 11463-11468.
- [106] LI Y Q, YANG P, GAO F, et al. Probing the interaction between 3 flavonoids and pancreatic lipase by methods of fluorescence spectroscopy and enzymatic kinetics [J]. European Food Research and Technology, 2011, 233: 63-69.