

· 综述 ·

金荞麦中黄酮类成分提取工艺和生物活性研究进展[△]

周建新, 赵莎, 杜杰, 王继永, 曾燕*

中国中药有限公司, 北京 100195

[摘要] 金荞麦是一种药食(饲)多用的蓼科荞麦属草本植物, 广泛分布于我国南方多省, 种质资源丰富。金荞麦富含多种化学成分, 包括黄酮、缩合鞣质、甾体、萜、挥发油等类成分。其中黄酮类成分占比大且具有抗氧化、抗菌、抗炎镇痛、抗肿瘤、降血糖等活性, 具有潜在的开发价值。对金荞麦中黄酮类成分、提取工艺及生物活性进行归纳和总结, 以期促进其在保健品、饲料添加剂领域的进一步开发。

[关键词] 金荞麦; 黄酮; 提取工艺; 生物活性

[中图分类号] R284 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2025)03-0586-07

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20240823003

Advances in Extraction Processes and Biological Activities of Flavonoids in *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara

ZHOU Jianxin, ZHAO Sha, DU Jie, WANG Jiyong, ZENG Yan*

China National Traditional Chinese Medicine Co., Ltd., Beijing 100195, China

[Abstract] *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara, a herbaceous plant belonging to Polygonaceae, is a multi-purpose species used as medicine, food, and forage. Because of the wide distribution across multiple provinces in southern China, this species boasts abundant germplasm resources. *F. dibotrys* is rich in various chemical constituents, including flavonoids, condensed tannins, sterides, terpenoids, and volatile oils. Notably, flavonoids constitute a significant proportion of the chemical makeup of this plant and have antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, pain-relieving, anti-tumor, and blood glucose-lowering activities, thus holding considerable potential for development. This review primarily summarizes the flavonoids in *F. dibotrys* and their extraction processes and biological activities, aiming to facilitate further exploitation of *F. dibotrys* flavonoids in the fields of dietary supplements and feed additives.

[Keywords] *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara; flavonoids; extraction processes; biological activities

金荞麦 *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara 为蓼科荞麦属多年生草本植物, 含有黄酮、缩合鞣质、甾体、萜、挥发油等多类化学成分, 具有抗炎、抗肿瘤、维持肠道健康、调节糖脂代谢等多种药理作用^[1]。黄酮类成分是金荞麦的主要活性成分, 占总化合物数量的20.5%^[2], 包括黄酮、黄酮醇、二氢黄酮、黄烷醇及其寡聚体等多种类型。有研究从基因组水平揭示了高含量的黄酮类物质是金荞麦作为药用的主要原因^[3]。2002年原卫生部印发的《可用于保健食品的物品名单》^[4]收录了金荞麦, 此举措助推了金荞麦中黄酮等活性成分在学术领域与产业应用的深入研究, 为其作为保健食品核心功能因子的深度发掘与精准利用奠定了坚实基础。《饲料原料目

录》(2012版)^[5]也收录了金荞麦, 这促进了金荞麦活性成分在畜牧饲料科学中的创新应用。但目前对金荞麦黄酮类成分的开发还处于发展初期, 虽开展研究较早, 但是学者们侧重对其生物合成途径的研究, 而针对提取工艺和生物活性的研究相对较少。本文就以往对金荞麦中黄酮类成分、提取工艺和生物活性的研究进行综述, 以为金荞麦黄酮类成分的提取和生物活性持续研究, 以及在保健品、饲料添加剂领域的进一步开发提供参考。

1 黄酮类成分

研究报道, 20世纪50年代有学者从金荞麦中分离得到黄酮类化合物芦丁^[6]。金荞麦含有大量黄酮类

[△] [基金项目] 财政部和农业农村部: 国家中药材产业技术体系资助项目

* [通信作者] 曾燕, 副研究员, 研究方向: 中药资源; E-mail: zyzy1221@126.com

化合物,其中叶的黄酮含量最高,达到10.34%,茎中含量次之,根中含有的黄酮最少,仅有2.65%^[7]。目前,文献已报道从金荞麦中分离得到的黄酮类单体化合物(不包括原矢车菊素聚合物)有33个,主要亚型包括黄酮、黄酮醇、二氢黄酮、黄烷醇等,见表1和图1。

2 提取工艺

近年来,科学技术不断更新发展,中药提取技术取得了非常大的进步,现代很多提取技术不仅能提高提取率,还注重最大化减少对化合物结构的破

坏。目前,金荞麦黄酮的提取方法包括传统提取方法如回流,也有超声提取法、酶提取法、微波提取法等现代提取方法,见表2。

2.1 传统提取法

最常用的金荞麦黄酮类成分传统提取方法是加乙醇回流提取,优化提取条件的方法有单因素试验、正交试验、遗传算法等。倪红辉^[18]通过单因素试验对比水、40%乙醇、60%乙醇和80%乙醇分别提取金荞麦饮片的效果,筛选出60%乙醇回流提取的总黄酮含量最高。王文忠等^[17]通过二次回归正交设计法筛选出金荞麦根茎黄酮最佳提取工艺为加12倍量

表1 金荞麦中分离得到的黄酮类化合物

序号	化合物	分子式	类型	参考文献
1	木犀草素	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	黄酮	[8]
2	红车轴草黄酮	C ₁₆ H ₁₂ O ₄	黄酮	[9]
3	木犀草素-7,4'-二甲醚	C ₁₇ H ₁₄ O ₆	黄酮	[9]
4	荭花素	C ₁₆ H ₁₂ O ₅	黄酮	[10]
5	金圣草黄素	C ₁₆ H ₁₂ O ₆	黄酮	[10]
6	苜蓿素	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	黄酮	[11]
7	异牡荆素	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	黄酮	[12]
8	牡荆素	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	黄酮	[12]
9	车轴草醇	C ₁₆ H ₁₂ O ₄	黄酮	[12]
10	3',4'-methylenedioxy-7-hydroxy-6-isopentenyl	C ₂₁ H ₁₈ O ₆	黄酮	[12]
11	芦丁	C ₂₈ H ₃₄ O ₁₆	黄酮醇	[13]
12	3,6,3',4'-四羟基-7-甲氧基黄酮	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	黄酮醇	[9]
13	槲皮素	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	黄酮醇	[13]
14	鼠李素	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	黄酮醇	[9]
15	异鼠李素	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	黄酮醇	[14]
16	槲皮苷	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	黄酮醇	[13]
17	3-methyl-gossypetin 8-O-β-D-glucopyranoside	C ₁₆ H ₁₁ O ₇	黄酮醇	[15]
18	3-methylquercetin	C ₁₆ H ₁₂ O	黄酮醇	[15]
19	3,5-dimethylquercetin	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	黄酮醇	[15]
20	afzelin A	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	黄酮醇	[11]
21	quercetin-3-O-(2''-O-p-hydroxy-coumaroyl)-glucoside	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₅	黄酮醇	[12]
22	quercetin-3-O-xyloside	C ₂₀ H ₁₈ O ₁₁	黄酮醇	[12]
23	(-)-epicatechin-3-O-p-hydroxybenzoate	C ₂₂ H ₁₈ O ₈	黄酮醇	[12]
24	山柰酚	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	黄酮醇	[12]
25	quercetin-3-O-rutinoside-3'-O-β-glucopyranoside	C ₃₃ H ₄₀ O ₂₁	黄酮醇	[12]
26	金丝桃苷	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	黄酮醇	[12]
27	5,7,3',4'-tetrahydroxyflavan	C ₃₁ H ₃₈ O ₁₆	黄酮醇	[12]
28	圣草酚	C ₁₅ H ₁₂ O ₆	二氢黄酮醇	[14]
29	橙皮素	C ₁₆ H ₁₄ O ₆	二氢黄酮醇	[12]
30	橙皮苷	C ₂₈ H ₃₄ O ₁₅	二氢黄酮醇	[16]
31	(+)-儿茶素	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	黄烷醇	[15]
32	(-)-表儿茶素	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	黄烷醇	[15]
33	表儿茶素-3-O-没食子酸酯	C ₂₂ H ₁₈ O ₁₀	黄烷醇	[12]

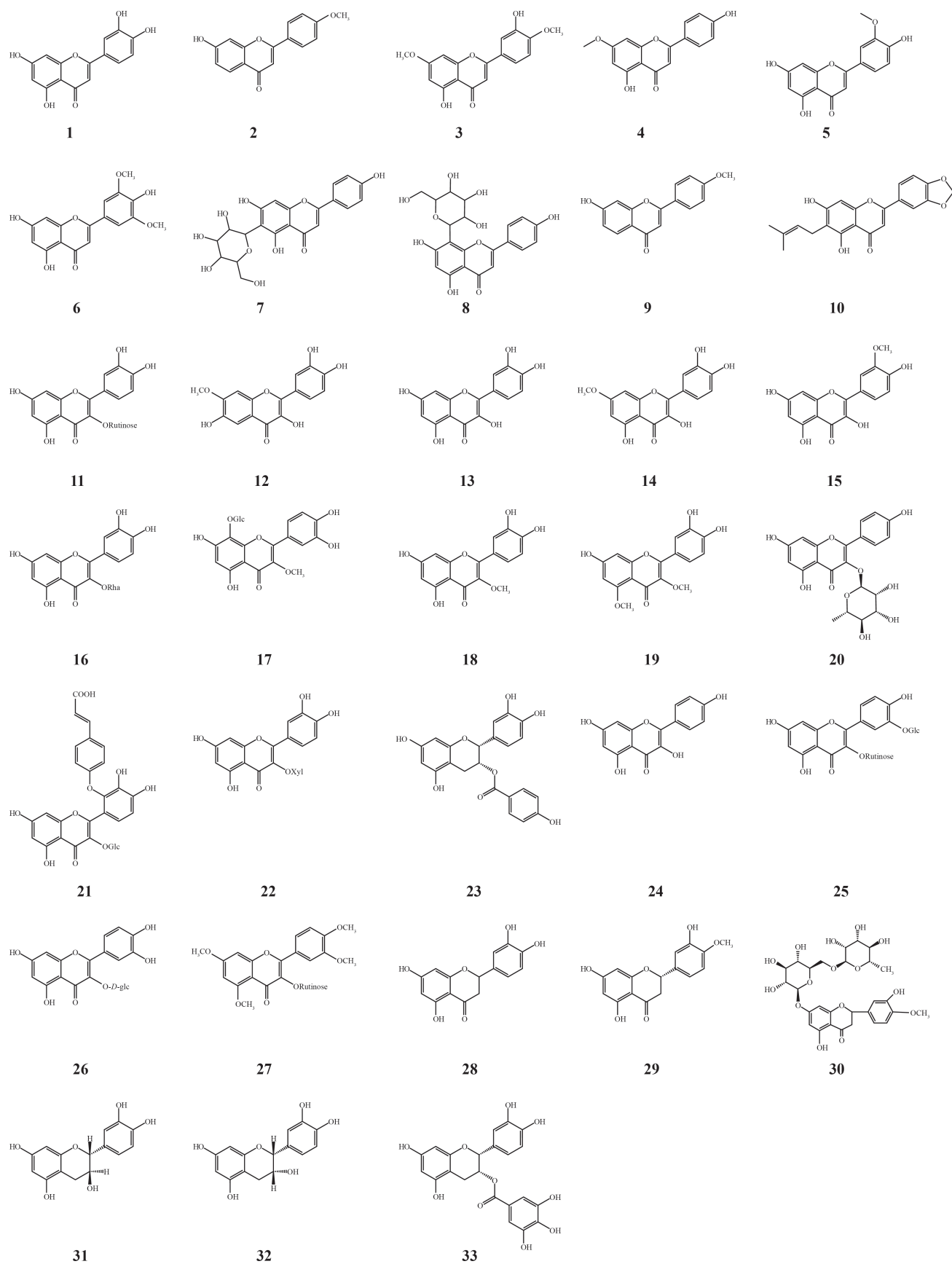


图1 金荞麦中分离得到的黄酮类化合物的化学结构

表 2 金荞麦黄酮提取方法

序号	提取方式	纯化方法	检测方法	提取部位	总黄酮得率/%	参考文献
1	乙醇回流	大孔树脂吸附	AlCl ₃ 比色法	干燥根茎		[17]
2	乙醇回流		Al(NO ₃) ₃ -NaNO ₂ -NaOH 比色法	干燥根茎	2.76	[18]
3	乙醇回流		Al(NO ₃) ₃ -NaNO ₂ -NaOH 比色法	籽粒	1.90	[19]
4	乙醇回流		Al(NO ₃) ₃ -NaNO ₂ -NaOH 比色法	全草	10.60	[20]
5	乙醇回流		Al(NO ₃) ₃ -NaNO ₂ -NaOH 比色法	全草	11.58	[21]
6	乙醇超声		Al(NO ₃) ₃ -NaNO ₂ -NaOH 比色法	叶	1.73	[22]
7	超声波辅助双水相		Al(NO ₃) ₃ -NaNO ₂ -NaOH 比色法	干燥茎叶	7.85	[23]
8	超声波辅助纤维素酶		Al(NO ₃) ₃ -NaNO ₂ -NaOH 比色法	全草	14.25	[24]
9	表面活性剂协同微波		Al(NO ₃) ₃ -NaNO ₂ -NaOH 比色法	干燥根茎	0.10	[25]

的 50% 乙醇浸泡金荞麦药材 1.5 h，回流提取 2 次，每次 2 h。赵炎军等^[20]通过多目标遗传算法优化出金荞麦根茎黄酮和浸膏得率最佳的工艺为加 24 倍量 61% 的乙醇于 80 ℃ 回流提取 3 次，每次 1.9 h。综合提取部位和黄酮得率可以发现，金荞麦不同部位黄酮得率差异有统计学意义^[18-19,21]，根茎中黄酮的得率远低于含地上部分茎叶的全草黄酮得率，说明金荞麦不同部位黄酮含量差异较大，地上部分黄酮含量高于根茎。传统提取法利用溶剂扩散和渗透细胞壁方法，在细胞内外形成渗透压差，胞内溶解了黄酮的浓溶液不断向外扩散，从而提取出黄酮^[26]。从原理角度分析，传统提取法受限于植物细胞壁的屏障，提取效率会比现代提取方法低，实际提取结果也表明表面活性剂协同微波提取黄酮的得率高于回流提取^[25]，超声波辅助纤维素酶提取黄酮得率高于乙醇回流提取^[20-21,24]。

2.2 现代提取法

现代提取方法依据不同原理分为超声提取法、酶提取法、微波提取法等。超声提取的原理是利用超声波产生的空化效应破坏植物细胞壁结构，加速细胞内成分的溶出和细胞外溶质扩散，达到高效提取效果^[27]。李光等^[22]采用正交设计法优化出金荞麦叶超声提取最佳工艺为乙醇体积分数为 60%、固液比为 1 g : 20 mL、提取温度为 40 ℃、提取时间为 20 min，提取 3 次，微波功率为 187.5 W。酶提取是通过具有高度专一性的纤维素酶破坏植物细胞壁结构，促使细胞内成分充分溶解释放、混悬或胶溶于溶剂中，从而达到提取有效成分的目的。微波提取的原理是利用磁控管产生的高频振动，产生的能量使药材内分子热运动加剧，破坏细胞壁，胞内物质易于溶出，同时胞外萃取液进入胞内，加速胞内物

质的溶解和释放。相比传统提取方法，现代提取方法突破传统方法的局限性，通过不同方式分解植物细胞壁，达到细胞内容物外露的目的，具有提取条件温和、效率高、节能省时，以及对目标化合物的结构影响较小等诸多优点。

但是实际提取金荞麦黄酮更多采用不同的现代提取技术结合的方法，单一的现代提取方法也存在诸多缺点，比如超声引起物质分子内运动和摩擦产生热效应，导致遇热不稳定成分降解；大规模酶提取时，酶的用量较大，生产成本很高；微波不适用于不耐热成分的提取，大规模生产中耗能很大。因此，近年来更多采用不同的现代提取技术结合使用。超声辅助双水相提取是通过超声波破坏植物细胞壁结构，使内容物暴露，利用组分在双水相体系中不同的分配系数，实现高效的提取和纯化。相比传统提取，具有提取效率高、条件温和、操作简便和易放大等优点。孙光等^[23]采用超声波辅助双水相萃取技术提取金荞麦中总黄酮，并对方法开展多因子响应面试验，优化出最佳提取工艺为硫酸铵质量分数为 15%、料液比为 38 : 1，超声时间为 47 min，提取到总黄酮质量分数为 78.52 mg·g⁻¹。超声和酶提取技术可以很大程度结合两者提取优势，条件温和环保、提取率高，王佰灵等^[24]通过单因素试验和响应面法优化出金荞麦酶提取最佳工艺为乙醇体积分数为 60%，加酶量为 11 mg，酶解时间为 105 min，酶解温度为 64 ℃，金荞麦提取率为 14.25%。微波法具有提取时间短、提取率高、能耗低等优点。表面活性剂通过降低固-液相的界面张力，增加药效成分的溶解渗出能力，二者结合使用，极大缩短提取时间，李沙等^[25]通过表面活性剂协同微波辅助提取，采用星点设计——响应面法优化出金荞麦总黄酮最佳提取工艺为微波功率为 175 W，十二烷基硫酸钠

质量分数为1.28%，料液比为1:21 ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)，微波辐射时间为3.6 min。

3 生物活性

金荞麦富含多种黄酮类化合物，现代研究已证明金荞麦黄酮类化合物具有抗氧化、抗菌、抗炎、抗肿瘤等多种生物活性，这也为金荞麦总黄酮的开发奠定了功效基础。

3.1 抗氧化

一项研究发现金荞麦通过上调核因子 E_2 相关因子2 (Nrf2) 及其下游基因的转录调节氧化还原平衡，通过上调封闭蛋白1/紧密连接蛋白1 (Claudin-1/ZO-1) 的表达加强肠道屏障，通过调节白细胞介素(IL)-6和IL-22的表达改善炎症反应，促进盲肠内菌群的生长，从而改善氧化豆油诱导的氧化应激^[28]。其中金荞麦黄酮具有显著的抗氧化作用，在一定浓度范围内，黄酮浓度越高，金荞麦抗氧化能力越强^[29]。体外活性实验表明，在一定范围内，金荞麦地上部位和根茎的总抗氧化能力随黄酮浓度的增加而增加。此外，从整体上看，地上部分的抗氧化能力强于根茎^[30]。黄酮类化合物抗氧化主要是因为其可以充当自由基受体，通过抑制和清除机体内的自由基，阻断自由基连锁反应，发挥抗氧化作用^[31]。研究表明，黄酮类化合物的抗氧化活性和其酚羟基数量、位置有关，黄酮类C-3位羟基是否被取代对其抗氧化活性有较大影响，一般情况下，取代后的黄酮类抗氧化活性会降低，尤其C-3位羟基被糖苷化后，增大了空间位阻，这会极大降低黄酮类抗氧化活性^[15,32]。但是，C-3位羟基没食子酰基化后反而会增强抗氧化活性，主要原因是增加了酚羟基的数量。(–)-表儿茶素(32)在金荞麦总黄酮中的含量较高，是金荞麦总黄酮发挥抗氧化能力的活性物质之一，体外超氧阴离子自由基实验表明其抗氧化率达到83.08%^[33]。而体外清除1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基实验证明，表儿茶素-3-O-没食子酸酯(33)对DPPH自由基的半数抑制浓度(IC_{50})显著低于(+)-儿茶素(31)和(–)-表儿茶素(32)^[34]。

3.2 抗菌

研究发现，金荞麦乙醇提取物具有较强的体内外抗菌活性，并从中分离得到多种黄酮类化合

物^[35-36]。乔红杰^[37]用水和不同体积分数乙醇提取金荞麦根，测定了不同提取液中总黄酮含量，并检测了抗菌活性，结果显示60%乙醇提取液中总黄酮含量最高且抗菌活性最强，提示黄酮可能是金荞麦发挥抗菌作用的主要活性成分。黄仁术等^[38]检测了含有较高浓度表儿茶素类活性物质的金荞麦提取液的抗菌活性，发现其对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、酿酒酵母、大肠埃希菌均有抑制作用。已有的研究显示，(+)-儿茶素(31)可通过抑制毒力因子、破坏细胞壁和细胞膜、抑制胞内酶、氧化应激、DNA损伤和铁螯合这六方面来达到抑菌的效果，而且(+)-儿茶素(31)3-位上羟基酰基化后抗菌作用进一步增强^[39]。

3.3 抗炎镇痛

炎症反应是不同机体对有害刺激的一种防御反应^[40]。一项研究发现，主要成分为黄酮类和有机酸类的金荞麦乙酸乙酯提取物具有较强的体内外抗炎活性，能够通过调节Toll样受体4/NOD样受体热蛋白结构域相关蛋白3 (TLR4/NLRP3) 信号通路抑制炎症因子的表达，进而改善急性肺损伤小鼠的肺部病理性改变^[41]。另一项研究发现，不同剂量的金荞麦总黄酮能够显著减少小鼠炎症因子的分泌，减轻脂多糖诱导肺损伤及组织水肿程度^[42]。金荞麦中很多黄酮类单体具有抑制炎症因子产生的作用，有研究还发现从金荞麦根茎分离出来的抗补体成分原花青素也表现出较好的抗炎活性，能够显著减轻甲型H1N1流感诱导的急性肺损伤^[43]。此外，金荞麦总黄酮还具有镇痛作用，研究表明，金荞麦总黄酮通过下调致敏中枢上脊髓后角和海马的N-甲基-D-天冬氨酸受体亚基2B (NR2B) 表达能改善肠易激综合征(IBS)样结直肠刺激(CI)大鼠的痛觉过敏^[44]。

3.4 抗肿瘤

金荞麦具有抗肿瘤作用已广泛被接受，从其根部提取的原花色素苷类缩合型单宁混合物制成了抗癌药威麦宁，威麦宁胶囊中原花青素B2和(–)-表儿茶素(32)含量分别为1.44、0.96 mg/粒，临床用于治疗肺癌^[45]。研究表明，金荞麦中红车轴草黄酮能显著抑制胃癌SGC7901细胞的转移，且呈浓度依赖型^[46]。

3.5 降血糖

Li等^[47]通过分析比较7种蓼科常见植物的总原花

青素含量、抗氧化活性、抗糖尿病活性发现金荞麦根茎中总原花青素含量最高,抗氧化和抗糖尿病活性最强,且(+)-儿茶素(31)和(-)-表儿茶素(32)为优势单体。阮洪生等^[48]通过高脂膳食结合注射链脲佐菌素建立2型糖尿病(T2DM)小鼠模型,给予小鼠金荞麦黄酮提取物,剂量为50~200 mg·kg⁻¹时,金荞麦黄酮显著降低T2DM小鼠体内血糖水平。

3.6 其他

金荞麦黄酮还具有脑损伤保护作用,魏珍珍^[49]通过对脑缺血大鼠给予金荞麦总黄酮羧甲基纤维素钠混悬液,发现金荞麦总黄酮可降低谷氨酸的兴奋性毒性,对脑缺血再灌注损伤有保护作用。

4 总结与展望

综上所述,金荞麦黄酮成分种类多样,在地上部分中含量较高,其提取方法多样,具有抗氧化、抗菌、抗炎镇痛、抗肿瘤、降血糖等多种生物活性,在保健食品和饲料添加剂领域展现出广阔的应用前景。但是,目前金荞麦黄酮的开发也存在诸多问题需要解决。第一,提取效率与成本问题。目前,金荞麦黄酮提取依旧以有机溶剂回流提取为主,现代提取技术效率虽高,但大规模生产成本控制仍是难题。传统提取操作简单,易于实现规模化提取,还需要进一步优化提取工艺,提高提取效率并降低成本。第二,起效机制研究问题。对活性成分,即保健产品功能因子及保健功效的现代科学内涵缺乏系统性研究,还需要围绕金荞麦黄酮作为保健产品原料或饲料添加剂等参与人体或动物体内生理调节的过程开展研究,阐明金荞麦黄酮的保健功能或饲用功能原理。第三,金荞麦黄酮安全性研究。这方面相关研究较少,后期应重视金荞麦黄酮的安全性评价,包括急性毒性、长期毒性、遗传毒性等方面的研究,确保其作为保健品原料或饲料添加剂使用时的安全性。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

参考文献

- [1] 杨亭,陈小连,胡利珍,等.金荞麦的药理作用及在动物生产中的应用[J].草业科学,2023,40(9):2411-2423.
- [2] 王璐璠.金荞麦根茎药用品质及其遗传研究[D].贵阳:贵州师范大学,2020.
- [3] HE M, HE Y Q, ZHANG K X, et al. Comparison of buckwheat genomes reveals the genetic basis of metabolomic divergence and ecotype differentiation[J]. New Phytol, 2022, 235(5): 1927-1943.
- [4] 中华人民共和国卫生部.卫生部关于进一步规范保健食品原料管理的通知[EB/OL].(2002-02-28)[2024-08-23]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/gfxwj/201304/e33435ce0d894051b15490aa3219cdc4.shtml>.
- [5] 中华人民共和国农业农村部.中华人民共和国农业部公告2012年第1773号[EB/OL].(2012-06-01)[2024-08-01]. http://www.moa.gov.cn/gk/zcfg/nybgz/201206/t20120614_2758749.htm.
- [6] IMAI K, FURUYA K. Study of phytochemical component of *Fagopyrum cymosum* Meisn [J]. Yakugaku Zasshi, 1951, 71(4): 266-268.
- [7] 薛红,邓蓉,徐忠惠,等.亚硝酸钠-硝酸铝比色法检测黔中金荞麦黄酮含量的分析试验[J].贵州畜牧兽医, 2020, 44(6): 9-11.
- [8] 邵萌.金荞麦 *Fagopyrum cymosum* (Trev.) Meisn. 的化学成分研究[D].沈阳:沈阳药科大学,2007.
- [9] 周洁云.金荞麦的化学成分研究[D].武汉:湖北中医学院,2008.
- [10] 张京,况燧,刘力,等.金荞麦块根化学成分的研究[J].中草药,2016,47(5):722-725.
- [11] 林建斌,赵立春,郭建忠,等.金荞麦地上部分化学成分的研究[J].中草药,2016,47(11):1841-1844.
- [12] ZHANG L L, HE Y, SHENG F Y, et al. Towards a better understanding of *fagopyrum dibotrys*: A systematic review[J]. Chin Med, 2021, 16(1): 89.
- [13] WANG K J, ZHANG Y J, YANG C R. Antioxidant phenolic constituents from *Fagopyrum dibotrys* [J]. J Ethnopharmacol, 2005, 99(2): 259-264.
- [14] 赵利琴,张小平,张朝凤.金荞麦乙酸乙酯萃取物化学成分分离鉴定[J].食品科学,2011,32(19):16-22.
- [15] 王开金.四种药用植物抗氧化酚类成分的研究[D].昆明:中国科学院昆明植物研究所,2004.
- [16] 闫继平.金荞麦化学成分及HPLC指纹图谱研究[D].沈阳:沈阳药科大学,2006.
- [17] 王文忠,田跃,吴旭,等.二次回归正交设计法优化金荞麦总黄酮的提取工艺[J].中药材,2012,35(11):1861-1863.
- [18] 倪红辉.金荞麦中总黄酮的提取及含量测定[J].山西中医,2014,30(10):49-51.
- [19] 唐宇,彭德川,孙俊秀,等.金荞麦籽粒中总黄酮提取工艺研究[J].食品与发酵科技,2011,47(6):54-57.
- [20] 赵炎军,蔡田恬,钱松,等.金荞麦总黄酮提取工艺优化研究[J].中国现代医生,2018,56(34):34-37,42.
- [21] 赵炎军,谢升阳,张小霞,等.多目标遗传算法优化金荞麦的提取工艺[J].中国现代应用药学,2018,35

- (12):1826-1830.
- [22] 李光,余霜,邓银,等.金荞麦叶黄酮提取技术研究[J].江苏农业科学,2013,41(7):264-266.
- [23] 孙光,张蓉,刘凤丹,等.金荞麦茎叶总黄酮提取方法优化及其抗氧化活性[J].草业科学,2023,40(8):2162-2170.
- [24] 王佰灵,陈雅烯,谢家星,等.超声波辅助纤维素酶提取金荞麦总黄酮工艺优化及其抗氧化活性研究[J].粮食与油脂,2021,34(4):123-128.
- [25] 李沙,蒋闪闪,姜英红,等.表面活性剂协同微波提取金荞麦总黄酮的工艺优选[J].中国实验方剂学杂志,2014,20(9):19-22.
- [26] 石任兵,邱峰.中药化学[M].2版.北京:人民卫生出版社,2021:241.
- [27] WEN C T, ZHANG J X, ZHANG H H, et al. Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops-a review[J]. Ultrason Sonochem, 2018, 48:538-549.
- [28] CHEN Z J, DAI G T, WU X, et al. Protective effects of *Fagopyrum dibotrys* on oxidized oil-induced oxidative stress, intestinal barrier impairment, and altered cecal microbiota in broiler chickens[J]. Poult Sci, 2023, 102(4):102472.
- [29] 王盼,王毅红,方玉梅.金荞麦总黄酮提取物抗氧化作用研究[J].安徽农学通报,2017,23(8):23-24.
- [30] ZHANG M, ZHANG X K, PEI J, et al. Identification of phytochemical compounds of *Fagopyrum dibotrys* and their targets by metabolomics, network pharmacology and molecular docking studies[J]. Heliyon, 2023, 9(3): e14029.
- [31] 刘莉华,宛晓春,李大祥.黄酮类化合物抗氧化活性构效关系的研究进展(综述)[J].安徽农业大学学报,2002,29(3):265-270.
- [32] GUO Q, ZHAO B, SHEN S, et al. ESR study on the structure-antioxidant activity relationship of tea catechins and their epimers[J]. Biochim Biophys Acta, 1999, 1427(1):13-23.
- [33] 黄仁术,易凡,何惠利,等.金荞麦(-)-表儿茶素抗氧化活性研究[J].食品科学,2014,35(15):118-121.
- [34] 万春鹏,周寿然.红槭树枝条酚类成分及其抗氧化和抑制 α -葡萄糖苷酶活性研究[J].中草药,2013,44(11):1391-1396.
- [35] 王立波,邵萌,高慧媛,等.金荞麦抗菌活性研究[J].中国微生态学杂志,2005,17(5):330-331.
- [36] 闫继平,王立波,李维,等.金荞麦抗菌活性研究[J].中国现代中药,2006,8(6):21-23.
- [37] 乔红杰.金荞麦根提取物抗菌及免疫调节活性的血清药理学研究[D].广东:华南农业大学,2009.
- [38] 黄仁术,易凡.金荞麦(-)-表儿茶素类活性物质体外抑菌试验[J].江苏农业科学,2015,43(1):308-310.
- [39] RENZETTI A, BETTS J W, FUKUMOTO K, et al. Antibacterial green tea catechins from a molecular perspective: Mechanisms of action and structure-activity relationships[J]. Food Funct, 2020, 11(11):9370-9396.
- [40] SHENG F Y, ZHANG L L, WANG S S, et al. Deacetyl ganoderic acid F inhibits LPS-induced neural inflammation via NF- κ B pathway both *in vitro* and *in vivo*[J]. Nutrients, 2019, 12(1):85.
- [41] HU Y F, LIU X M, SONG Y, et al. Exploring the anti-inflammatory ingredients and potential of golden buckwheat (*Fagopyrum dibotrys*) on the TLR4/NLRP3 pathway in acute lung injury[J]. Food Sci Nutr, 2024, 12(8):5426-5441.
- [42] 郝洁,林红英,彭金菊,等.金荞麦总黄酮对脂多糖诱导小鼠急性肺损伤的影响[J].食品与发酵工业,2024,50(6):215-225.
- [43] WANG X J, JIAO Y K, ZHU H Y, et al. Exploring the anticomplement components from *Fagopyrum dibotrys* for the treatment of H1N1-induced acute lung injury by UPLC-triple-TOF-MS/MS[J]. J Pharm Biomed Anal, 2023, 223:115158.
- [44] 刘丽娜,周梁,田超,等.金荞麦总黄酮下调NR2B表达改善IBS大鼠痛觉过敏[J].中国药理学通报,2012,28(9):1289-1293.
- [45] 程小桂,居文政,戴国梁,等.HPLC法测定威麦宁胶囊中原花青素B2和表儿茶的含量[J].药学与临床研究,2013,21(1):39-41.
- [46] 张宏旭,曲杰,王助新,等.金荞麦红车轴草黄酮对胃癌SGC7901细胞迁移的抑制作用及其机制[J].吉林大学学报(医学版),2013,39(1):78-81.
- [47] LI X, LIU J L, CHANG Q X, et al. Antioxidant and antidiabetic activity of proanthocyanidins from *Fagopyrum dibotrys*[J]. Molecules, 2021, 26(9):2417.
- [48] 阮洪生,季涛,吉薇薇,等.金荞麦黄酮对2型糖尿病小鼠糖脂代谢及氧化应激的影响[J].中药药理与临床,2017,33(5):73-76.
- [49] 魏珍珍.金荞麦总黄酮对脑缺血再灌注大鼠兴奋性氨基酸毒性的保护作用[D].郑州:河南中医药大学,2020.

(收稿日期:2024-08-23 编辑:吴美琪)