

新资源食品云威灵化学成分分析及促消化功能比较

陈恭¹, 金琼², 龚冰璐², 高世佳², 高瑞², 谭文红^{*1}, 刘录^{*2}

(1. 云南中医药大学民族医药学院, 云南昆明 650500)

(2. 云南省高校保健食品化妆品工程研究中心, 云南昆明 650500)

摘要: 该文建立了稳定可靠的快速分析云威灵化学成分的方法, 并对比了云威灵水提物和挥发油的促消化功能。采用超高压液相-三重四级杆-飞行时间质谱联用仪分析新资源食品云威灵 (*Inula nervosa* Wall.) 化学成分, 通过保健食品功能评价方法测定小鼠小肠运动、胃泌素 (GAS)、胃动素 (MTL)、大鼠体质量增长、摄食量、食物利用率、胃蛋白酶活性及排出量来对比云威灵水提物和挥发油的促消化效果。结果表明, 质谱分析共鉴定出 18 个化合物。水提物高剂量组及挥发油低、中、高剂量组小鼠小肠推进率提高了 58.61%、49.27%、61.88%、83.78% ($P<0.05$, $P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.0001$), 且能显著提高 GAS、MTL 的分泌 ($P<0.05$)。水提物低、中、高剂量组大鼠摄食量提高了 6.05%、6.99%、8.91% ($P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.0001$), 挥发油中、高剂量组提高 6.72%、8.74% ($P<0.01$, $P<0.001$)。水提物和挥发油均能使胃蛋白酶活性显著增强 ($P<0.01$), 但挥发油高剂量组与水提物高剂量组相比具有统计学意义 ($P<0.01$)。两者均能增加胃蛋白酶排出量 ($P<0.05$)。云威灵水提物及挥发油均具有促消化效果且挥发油更优。

关键词: 云威灵; 化学成分; 超高压液相-三重四级杆-飞行时间质谱联用仪; 促消化作用; 胃蛋白酶

文章编号: 1673-9078(2025)01-28-36

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.1.1566

UPLC-Q-TOF-MS/MS-based Phytochemical Characterization and Comparative of Digestive Promotion Prospective of A New Resource Food *Inula nervosa*

CHEN Gong¹, JIN Qiong², GONG Binglu², GAO Shijia², GAO Rui², TAN Wenhong^{1*}, LIU Lu^{2*}

(1.School of Ethnic Medicine, Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500, China) (2. Yunnan University and Technology Research Center of Health Food and Cosmetics, Kunming 650500, China)

Abstract: A stable and reliable method for the rapid analysis of the chemical components of the new resource food of *Inula nervosa* Wall. was established. The digestion-promoting functions were compared across diverse solvents (water and oil) for *I. nervosa*. The chemical components of the new resource food *I. nervosa* were analyzed using UPLC-Q-TOF-

引文格式:

陈恭,金琼,龚冰璐,等.新资源食品云威灵化学成分分析及促消化功能比较[J].现代食品科技,2025,41(1):28-36.

CHEN Gong, JIN Qiong, GONG Binglu, et al. UPLC-Q-TOF-MS/MS-based phytochemical characterization and comparative of digestive promotion prospective of a new resource food *Inula nervosa* [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(1): 28-36.

收稿日期: 2023-12-28

基金项目: 云南省生物医药重大专项 (202202AA100009; 202302AA310006); 云南省高校工程研究中心 (2020YGG01); 云南省高校重点实验室 (2022YGGZ02)

作者简介: 陈恭 (1996-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 民族药质量控制与评价, E-mail: 1343322869@qq.com

通讯作者: 谭文红 (1967-), 女, 学士, 主任药师, 研究方向: 民族药质量控制与评价, E-mail: 875575061@qq.com; 共同通讯作者: 刘录

(1986-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 中药质量控制与评价, E-mail: todayliulu@163.com

MS/MS. According to the principles of functional food, the distance of ink movement in the small intestine, GAS, and MTL in mice, body weight, food intake, food efficiency ratio, secretion amount of pepsin, and pepsin activity were evaluated. The results revealed 18 relevant compounds. The small intestine motility of mice in the high-dose water extract group, low, medium, and high-dose volatile oil groups increased by 58.61%, 49.27%, 61.88%, and 83.78% ($P<0.05$, $P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.0001$), respectively. These results notably led to an increase in the secretion of GAS and MTL ($P<0.05$). Food intake in the low, medium, and high-dose water extract groups increased by 6.05%, 6.99%, and 8.91% ($P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.0001$) and in medium and high-dose volatile oil groups by 6.72% and 8.74% ($P<0.01$, $P<0.001$), respectively. All extraction methods greatly enhanced pepsin activity ($P<0.01$). However, there was a notable difference between high-dose volatile oil and high-dose water extract ($P<0.01$). Pepsin secretions significantly increased in both groups ($P<0.05$); water extract and volatile oil exhibited digestion-enhancing effects, with volatile oil exhibiting superior effects compared to the water extract.

Key words: *Inula nervosa*; chemical composition; UPLC-Q-TOF-MS/MS; digestive promotion; pepsin

消化不良是一种涉及胃肠道胃十二指肠区域的综合病症,包括上腹部疼痛或灼热、以及餐后饱腹或早期饱腹^[1]。据统计,约80%的患者并没有脏器上的病理变化,但大部分患有功能性消化不良。随着社会的发展和人们生活水平的提高,目前消化不良的发病率约为20%^[2,3],已然成为一种治愈缓慢的慢性胃肠道功能性疾病,严重影响患者的生活质量和身心健康^[4,5]。现代医学主要通过增加胃动力、抑制胃酸、抗抑郁和抗幽门螺杆菌等方法治疗,但均存在一定的副作用或无法长期治疗的问题^[6]。因此,从天然植物中探索副作用小、且具有促消化能力的药物或者食品,以此开发具有促消化能力的健康产品,无疑有深远的社会价值和应用意义。

云威灵为菊科旋覆花属植物显脉旋覆花(*Inula nervosa* Wall.)的干燥根及根茎^[7],又名小黑药、黑威灵、草威灵,主要分布于云南、四川、贵州、广西等西南地区,在越南、缅甸、泰国等东南亚国家亦有分布^[8]。《滇南本草》最先记载其价值,称之为“威灵仙”,并认为其根及根茎为可食用部位,味辛、苦,性温,归于十二经络。常用于治疗胸膈中冷寒气痛、开胃气、噎膈、寒湿伤筋骨、祛脾风、肚腹冷痛、腹满膨胀等症状^[9]。《云南中草药》中也记载了其根可祛风除湿,健胃消食,主治食滞、胃痛^[10]。彝族称其为“哼期诗”,是彝族常用的民族植物^[11]。云威灵拥有悠久的食用历史,云南民间常在炖煮肉时加入云威灵粉末或直接烹调食用以达到健胃消食的功效。此外,云威灵中富含维生素、多糖、蛋白质以及钙、铁、锌等微量矿物质营养素和营养成分,营养价值丰富^[12],并于2010年被卫生部批准为新资源食品^[13],其潜在开发及利用价值不可忽视。

食品中不同提取物的有效成分的组成和含量会

产生差异,挥发油作为云威灵的重要有效成分,其中的百里香酚和异丁酸百里香酚均为有效物质,据湖南省中医药研究院证实,具有抗风湿痹病的功效,并已成功开发出产品云威灵油软胶囊^[14]。目前,对于云威灵质量控制仅有薄层鉴定及理化性质的描述,且云威灵成分研究和含量测定文献主要针对挥发油^[15],鲜有涉及水提物,对于其水提物和挥发油对促消化功能的作用也鲜有关注。

本研究采用连续灌胃模型小鼠15 d,大鼠30 d,研究云威灵水提物、挥发油对促进消化功能的作用。通过超高压液相-三重四级杆-飞行时间质谱联用仪联用(UPLC-Q-TOF-MS/MS)技术分析云威灵水提物的化学成分,为开发云威灵辅助健胃消食产品及其促进消化功能机制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 仪器与设备

OSB-2100 旋转蒸发仪,上海爱朗以期有限公司;KDM 型控温电热套,鄞城华鲁电热仪器有限公司;DZF-6050 真空干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;Agilent 1290 超高效液相色谱仪,美国 Agilent 公司;Agilent 6545 Q-TOF LC/MS 高分辨串联质谱,美国 Agilent 公司;ME104 电子天平,梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司;KQ-300 BD 超声波清洗仪,昆山市超声仪器有限公司;SIGMA 3K15 高速离心机, SIGMA 公司;游标卡尺。

1.2 材料及试剂

云威灵由华润现代中药(昆明)有限公司提供,经云南中医药大学民族药学教研室谭文红主任药师鉴定为菊科旋覆花属植物显脉旋覆花(*I. nervosa*)

的干燥根及根茎。

健胃消食片(批号 22072065),江中药业股份有限公司;盐酸洛哌丁胺胶囊(批号 LHJ5501),西安杨森制药有限公司;活性炭,阿拉丁试剂(上海)有限公司;乙腈(质谱纯),Merck 公司;甲醇(质谱纯),Merck 公司;甲酸(质谱纯),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;水(纯净水),广州屈臣氏食品饮料有限公司;胃泌素(GAS)、胃动素(MTL)酶联免疫吸附试剂盒,江苏酶免实业有限公司。

1.3 动物

SPF 级 KM 种雄性小鼠,体质量 18~22 g,6 周龄;SPF 级 SD 雄性大鼠,体质量 120~150 g,8 周龄;均购自斯贝福(北京生物技术有限公司),生产许可证号:SCXK(京)2019-0010,SPF 级环境饲养。该实验由云南中医药大学动物实验伦理审查委员会批准实施(R-062022071、R-062023009)。

1.4 实验方法

1.4.1 质谱分析样品制备

取云威灵水提物 0.5 g,精密称定,置锥形瓶中,加入 $\varphi=80\%$ 甲醇 25 mL,超声(功率 300 W,频率 40 kHz)处理 30 min,放冷,摇匀,取 2 mL 液体离心(12 000 r/min)5 min,取上清液,即得。

1.4.2 促消化功能样品的制备

挥发油的制备:称取云威灵,采用水蒸气提取法提取挥发油 6 h,提取的挥发油用棕色瓶低温保存。

水提物的制备:称取云威灵,采用水蒸气提取法提取挥发油 6 h,收集药液后静置过夜,取上清液,经减压浓缩和真空干燥后制得干燥粉末。

造模剂的制备:取盐酸洛哌丁胺胶囊,去胶囊壳,其粉末用 0.5 wt.% CMC-Na 溶解,配制成浓度为 0.25 mg/mL 的混悬液。

阳性对照药物制备:取健胃消食片,用研钵研磨成细粉,用 0.5 wt.% CMC-Na 制成 133 mg/mL 和 94 mg/mL 的混悬液。

指示剂制备:取 10 g 阿拉伯树胶加水 80 mL,煮沸至透明。5 g 碳粉加至上述溶液中煮沸 3 次,冷却后定容至 100 mL 得碳末指示剂^[16]。

1.4.3 质谱分析条件

色谱柱:Agilent ZORBAX Eclipse Plus C18

(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm);柱温:25 $^{\circ}\text{C}$;流速:0.3 mL/min;进样量:2 μL ;流动相比例:A 相乙腈,B 相 0.1% 甲酸水溶液,梯度洗脱(0~15 min, 5%~14% A; 15~25 min, 14%~20% A; 25~35 min, 20%~22% A; 35~45 min, 22%~30% A)。

质谱检测模式:采用电喷雾离子源(ESI),正负离子模式,毛细管电压 4 000 V,质量扫描范围 m/z 50~1 700;干燥气温度 320 $^{\circ}\text{C}$;干燥气流速 8 L/min;雾化器压力 35 kPa 裂解电压 140 V;锥孔电压 65 V;二级碰撞能量选取 40 eV。

1.4.4 动物的分组及喂养

SPF 级雄性 KM 种小鼠,72 只,适应性喂养 3~5 d 后,按体质量随机分成 9 组($n=8$),分别为正常组、模型组、健胃消食片阳性对照组(940 mg/kg)、水提物(低、中、高)剂量组(剂量分别为 130、260、520 mg/kg)、挥发油(低、中、高)剂量组(剂量分别为 3.3、6.5、13 mg/kg)。给药体积为 10 mL/kg。连续给药 15 d 后,对小鼠小肠推进功能进行测定。

SPF 级雄性 SD 大鼠,64 只,适应性喂养 5 d 后,按体质量随机分成 8 组($n=8$),分别为正常组、健胃消食片阳性对照组(1 330 mg/kg)、水提物(低、中、高)剂量组(剂量分别为 100、200、400 mg/kg)、挥发油(低、中、高)剂量组(剂量分别为 2.5、5、10 mg/kg)。给药体积为 10 mL/kg。连续给药 30 d,早上 9 点记录大鼠摄食量,一周测两次体质量,实验结束时记录大鼠体质量,计算体质量增长量、食物利用率、总摄食量和胃蛋白消化酶水平。

药物剂量根据成人推荐食用量^[7],按成人与大小鼠体表面积药物剂量系数折算,根据公式:成人推荐剂量×提取率×成人与大小鼠体表面积药物剂量系数/成人体质量,计算出小鼠水提物剂量约为 260 mg/kg,挥发油剂量约为 6.5 mg/kg。大鼠水提物剂量约为 200 mg/kg,挥发油剂量为 5 mg/kg。云威灵水提物及挥发油按低剂量(0.5 倍于成人推荐食用量)、中剂量(相当于成人推荐食用量)、高剂量(2 倍于成人推荐食用量)3 个剂量给药。上述药液均置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存备用,临用前摇匀温复至室温。

1.5 指标测定

1.5.1 小鼠小肠推进的测定

实验结束前禁食不禁水 16 h,实验结束日,正

常组和模型组 ig 0.5% CMC-Na 溶液, 各给药组 ig 相应药物; 30 min 后, 正常组 ig 0.5% CMC-Na 溶液, 模型组、阳性对照组及给药组 ig 造模剂; 30 min 后, 各组 ig 碳末指示剂, 25 min 后处死小鼠, 打开腹腔分离肠系膜, 取幽门至回盲部的小肠部分, 置于白纸上, 分别测量小肠全长及幽门至碳末距离, 计算小肠碳末推进率及碳末推进率转换值^[17]。

$$P = \frac{l_1}{l_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$X = \sin^{-1} \sqrt{P} \quad (2)$$

式中:

P —小肠碳末推进率, %;

l_1 —碳末推进长度, cm;

l_0 —小肠总长度, cm;

X —推进率转换值。

1.5.2 小鼠血清中胃泌素 (GAS)、胃动素 (MTL) 的测定

取 1.5.1 项下各组小鼠血液, 在 4 °C, 3 000 r/min 条件下离心 15 min, 抽取上层清液, 采用酶联免疫吸附法检测 GAS 和 MTL 的含量。实验操作严格按照试剂盒说明书进行。

1.5.3 大鼠体质量、体质量增长、摄食量及食物利用率的测定

大鼠 ig 30 d 结束后, 计算体质量增长量、摄食量及食物利用率。

$$Y = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

Y —食物利用率, %;

m_1 —体质量增加量, g;

m_0 —摄食量, g。

1.5.4 大鼠胃蛋白酶活性及胃蛋白酶排出量的测定

实验结束前禁食不禁水 24 h, 实验结束日, 用戊巴比妥钠麻醉大鼠, 结扎大鼠幽门 2 h 收集胃液并测定其体积, 将收集的胃液按每 1 mL 加入 0.05 mol/L 的 HCl 溶液 15 mL 置于离心管中混匀, 加入新鲜制备好的蛋白管 2 根, 密封, 37 °C 恒温孵育 24 h 后取出, 用游标卡尺测量每根蛋白管两端透明部分的长度, 求出四端的平均值, 根据胃蛋白酶活性单位公式计算胃蛋白酶活性^[17]。

$$N = l_2^2 \times 16 \quad (4)$$

$$N_1 = N \times V \quad (5)$$

式中:

N —胃蛋白酶活性单位, U/mL;

l_2 —四端蛋白管透明部分长度均值, cm;

N_1 —胃蛋白酶排出量, U/h;

V —每小时胃液量, mL/h。

1.5.5 数据统计与分析

实验所得数据均以平均值标准差 ($\bar{X} \pm S$) 表示, 数据采用数据软件统计处理分析, 两组间比较采用 t 检验, 多组间比较采用单因素方差分析, 以 $P < 0.05$ 为具有统计学意义。

2 结果与讨论

2.1 云威灵水提物化学成分分析

超高效液相色谱-四级杆-飞行时间串联质谱法技术 (UPLC-Q-TOF-MS/MS) 可以快速、准确的分析植物中复杂的化学成分^[18], 本研究采用基于 UPLC-Q-TOF-MS/MS 的方法, 对云威灵水提物中的化学成分进行分析, 根据样品多级质谱信息, 结合天然产物高分辨质谱数据库及相关文献, 成功鉴定出 18 个化合物, 其化学成分主要为 12 个有机酸类、1 个氨基酸类、1 个生物碱类、1 个香豆素类、1 个苯丙素类、1 个黄酮类, 1 个其他类化合物。其中有机酸类如绿原酸、异绿原酸、隐绿原酸和咖啡酸等, 均具有抗炎作用^[19]。这为云威灵提供相关物质基础的实验验证, 也为其质量控制和有效物质基础阐明提供一定的帮助。总离子流图详见图 1, 具体信息参考表 1。

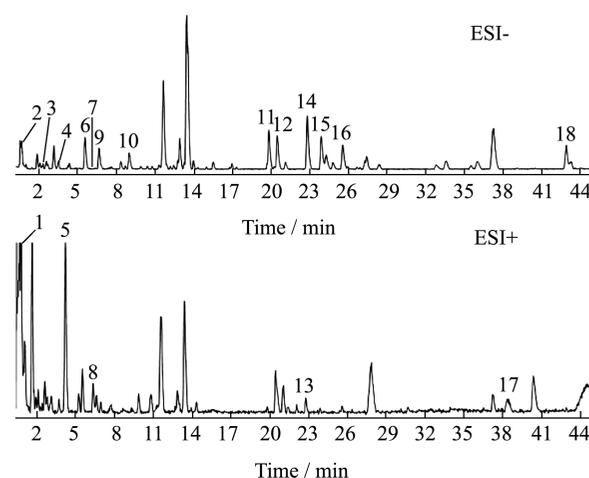


图 1 云威灵水提物总离子流图

Fig.1 Total ion current diagram of water extract from *I. nervosa*

表 1 云威灵水提物化学成分分析结果

Table 1 Analysis results of chemical constituents of water extract from *I. nervosa*

序号	t_R/min	离子模式	化合物	分子式	实测值 m/z	理论值 m/z	误差 $/10^{-6}$	MS/MS 数据	类别	文献
1	0.49	[M+H] ⁺	精氨酸	C ₆ H ₁₄ N ₄ O ₂	175.116 8	175.119 0	12.13	175.114 8, 158.084 7, 130.095 6, 116.069 5	氨基酸	[20]
2	0.71	[M-H] ⁻	柠檬酸	C ₆ H ₈ O ₇	191.019 3	191.019 7	1.89	191.054 6, 129.018 6, 111.008 4, 87.008 5	有机酸	[21]
3	2.42	[M-H] ⁻	龙胆酸	C ₇ H ₆ O ₄	153.018 9	153.019 3	2.75	109.028 9	有机酸	[20]
4	3.76	[M-H] ⁻	水杨酸	C ₇ H ₆ O ₃	137.024 0	137.023 3	3.39	137.023 6, 119.013 8, 108.021 0, 93.034 8	有机酸	[22]
5	4.20	[M+H] ⁺	茴香霉素	C ₁₄ H ₁₉ NO ₄	266.138 0	266.138 7	2.46	266.136 4, 206.117 9, 161.114 3, 121.083 8	生物碱	[23]
6	5.57	[M-H] ⁻	绿原酸	C ₁₆ H ₁₈ O ₉	353.086 2	353.087 8	4.75	191.055 3, 173.042 9, 161.023 3, 135.045 3	有机酸	[20,21]
7	6.40	[M-H] ⁻	咖啡酸	C ₉ H ₈ O ₄	179.034 3	179.035 0	3.44	135.044 4, 107.048 8	有机酸	[21]
8	6.42	[M+H] ⁺	7-羟基香豆素	C ₉ H ₆ O ₃	163.038 3	163.039 0	4.06	163.038 3, 135.043 1, 117.033 3	香豆素	[24]
9	6.67	[M-H] ⁻	隐绿原酸	C ₁₆ H ₁₈ O ₉	353.086 7	353.087 3	-1.60	191.053 7, 179.394 8, 173.042 8, 135.044 4	有机酸	[21]
10	8.98	[M-H] ⁻	木犀草素-7-O-6'-丙二酰基葡萄糖苷	C ₂₄ H ₂₂ O ₁₄	533.091 3	533.093 7	4.53	371.058 7, 209.029 2	黄酮	[25]
11	19.89	[M-H] ⁻	异绿原酸 B	C ₂₅ H ₂₄ O ₁₄	515.117 4	515.119 5	4.24	515.116 9, 353.086 6, 173.044 0	有机酸	[20]
12	20.54	[M-H] ⁻	异绿原酸 A	C ₂₅ H ₂₄ O ₁₃	515.117 6	515.119 5	3.78	353.086 0, 179.033 9, 135.045 1	有机酸	[20]
13	22.82	[M+H] ⁺	洋蓟素	C ₂₅ H ₂₄ O ₁₂	517.134 2	517.134 1	-0.46	500.125 9, 499.123 2, 319.079 8, 163.038 0, 145.029 0	苯丙素	[26]
14	22.93	[M-H] ⁻	异绿原酸 C	C ₂₅ H ₂₄ O ₁₂	515.117 8	515.119 5	3.42	515.118 4, 353.086 7, 179.034 0, 173.044 4	有机酸	[20]
15	23.92	[M-H] ⁻	绒花酸 B	C ₃₃ H ₂₈ O ₁₇	695.126 6	695.125 4	4.21	695.122 0, 533.090 5, 371.050 9, 209.029 4	有机酸	[27]
16	25.60	[M-H] ⁻	1,3,5-三咖啡酰奎宁酸	C ₃₄ H ₃₀ O ₁₅	677.148 1	677.151 2	4.72	677.148 1, 516.116 2, 515.116 8, 353.085 0, 335.073 7	有机酸	[28]
17	38.34	[M+H] ⁺	黄樟素	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	163.074 9	163.075 4	2.53	117.068 1, 105.069 4	其他	[24]
18	42.97	[M-H] ⁻	Trigonic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₅	329.231 9	329.233 3	4.57	329.231 9, 229.143 5, 211.132 9, 183.136 1, 139.112 4	有机酸	[22]

2.2 云威灵水提物及挥发油对小肠运动的影响

小肠运动状态与消化不良密切相关^[29], 可以通过小肠的蠕动状态来评价消化功能。盐酸洛哌丁胺是一种常见阿片受体阻断药物, 通过抑制乙酰胆碱和前列腺素的释放从而抑制平滑肌收缩, 造成胃肠动力障碍, 可用于构建消化不良模型^[30]。该药具有起效快, 造模简单等优点。本实验对小鼠进行 15 d 的灌胃给药, 用洛哌丁胺建立肠道蠕动抑制模型, 通过测定小肠推进率来评价云威灵水提物及挥

发油对消化功能的影响。结果如图 2 所示, 与正常组 74.81% 相比, 模型组小肠推进率 24.98% 降低了 66.60% ($P < 0.000 1$), 表明本实验成功构建肠道蠕动抑制模型。阳性组 61.84%、云威灵挥发油的低剂量组 37.29%、中剂量组 40.44%、高剂量组 45.91% 小肠推进率显著提高 ($P < 0.05$), 与模型组比较分别提高了 147.68%、49.27%、61.88%、83.78%。而水提物仅在高剂量组 39.62% 小肠推进率有显著提高 ($P < 0.05$), 较模型组提高了 58.61%。但在相同

剂量下, 两者之间无显著差异 ($P \geq 0.05$)。

经过转换后, 模型组小肠转换值为 0.52, 相较于正常组 1.05 小肠转换值下降了 50.19%, 具有显著性差异 ($P < 0.0001$), 表明本实验小鼠肠道抑制模型构建成功。与模型组对比, 阳性组 0.91、水提物高剂量组 0.67、挥发油低剂量组 0.66、中剂量组 0.69 和高剂量组 0.74 小肠转换值均有统计学差异 ($P < 0.05$)。水提物低剂量组小肠推进率 31.97% 和小肠转化值 0.60, 中剂量组小肠推进率 32.27% 和小肠转化值 0.60 均无统计学差异 ($P > 0.05$)。以上结果表明, 和水提物相比, 云威灵挥发油对于促进小肠运动的有效性更为突出。

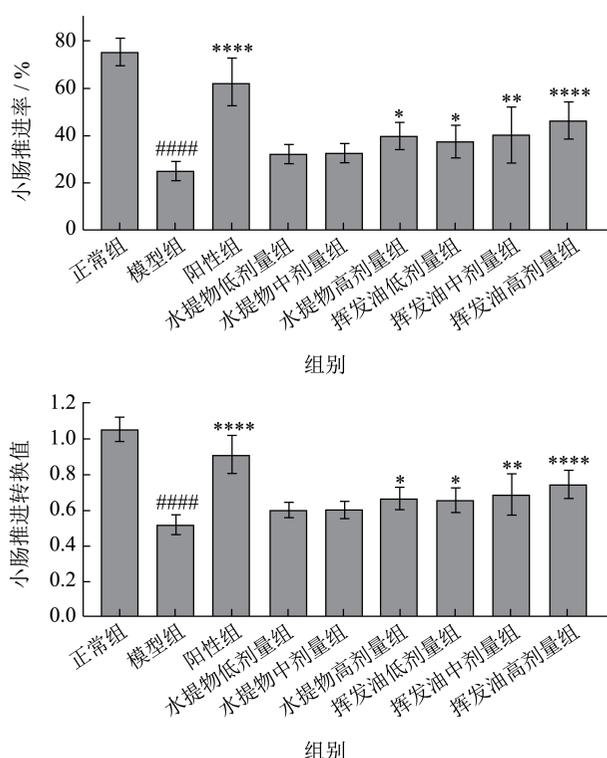


图2 云威灵水提物及挥发油对小鼠小肠推进的作用

Fig.2 Effect of *I. nervosa* water extract and volatile oil on small intestinal propulsion in mice ($\bar{x} \pm S, n=8$)

注: 与正常组比较: #### $P < 0.0001$; 与模型组比较: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.0001$ 。

2.3 云威灵水提物及挥发油对小鼠血清GAS、MTL含量的影响

在人体中, 胃肠运动主要由交感神经系统、副交感神经系统、肠神经系统及多种体液因素共同调控^[31]其中体液调节主要是胃肠激素, 如胃动素、胃泌素等。MTL具有调控消化间期胃肠道移行性复合运动的作用, 可以增加结肠运动; GAS可促进胃窦收缩, 促进胃黏膜的生长, 促进胃蛋白酶和胃酸分

泌, 也可引起胃底舒张和胃窦收缩, 提高幽门泵的活动, 促进胃排空^[32]。结果如图3所示, 与正常组比较, 模型组血清GAS 30.28 pg/mL降低了46.30% ($P < 0.0001$), 表明小鼠肠道抑制模型构建成功。阳性组 56.71 pg/mL、云威灵挥发油低剂量组 40.07 pg/mL、中剂量组 42.76 pg/mL、高剂量组 44.43 pg/mL GAS含量水平显著提高 ($P < 0.05$), 相较于模型组分别提高了87.28%、32.33%、41.21%、46.73%。而水提物仅在高剂量组 42.74 pg/mL显著提高小鼠血清GAS的含量 ($P < 0.01$), 与模型组相比提高了41.15%。

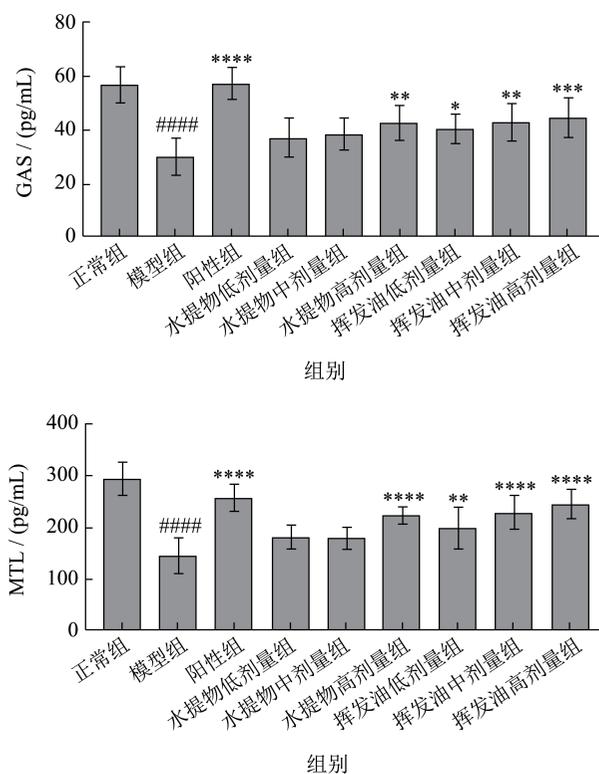


图3 云威灵水提物及挥发油对小鼠血清GAS、MTL的影响

Fig.3 Effect of *I. nervosa* water extract and volatile oil on GAS, MTL in mice ($\bar{x} \pm S, n=8$)

注: 与正常组比较: #### $P < 0.0001$; 与模型组比较: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.0001$, **** $P < 0.0001$ 。

与正常组比较, 模型组血清MTL 114.60 pg/mL降低了50.22% ($P < 0.0001$); 表明小鼠抑制肠道蠕动模型构建成功, 阳性组 255.23 pg/mL、云威灵挥发油低剂量组 199.76 pg/mL、中剂量组 229.24 pg/mL、高剂量组 244.21 pg/mL MTL含量水平显著提高 ($P < 0.01$), 相较于模型组分别提高了76.48%、27.62%、58.51%、68.88%。而水提物仅在高剂量组 224.21 pg/mL显著提高小鼠血清MTL的含量 ($P < 0.01$), 与模型组相比提高了55.04%。且挥

发油中剂量组与水提物中剂量相比具有统计学意义 ($P < 0.01$)。水提物低剂量和中剂量血清中的 GAS 和 MTL 含量均无统计学意义 ($P > 0.05$)。表明云威灵挥发油促进 GAS 和 MTL 分泌的效果优于水提物。

2.4 云威灵水提物及挥发油对大鼠体质量、体质量增长、摄食量、食物利用率的影响

食量不足常为消化不良的典型症状。消化不良导致的食欲不振、摄食量减少,致使体质量增长缓慢和食物利用率下降。反之,食欲旺盛、摄食量增加,体质量增长越大和食物利用率提高^[33,34]。通过测定云威灵水提物及挥发油对大鼠体质量、体质量增长、

摄食量及食物利用率来评价促消化能力。结果如表 2 所示,阳性组、云威灵水提物组和挥发油组对大鼠体质量及食物利用率均无显著差异 ($P \geq 0.05$)。与正常组相比,阳性组的摄食量增加 7.76% ($P < 0.001$),水提物低、中、高剂量组分别增加 6.05%、6.99%、8.91% ($P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.0001$),挥发油中、高剂量组分别增加 6.72%、8.74% ($P < 0.01$, $P < 0.001$)。且两者相同剂量组之间没有显著性差异 ($P \geq 0.05$) 但水提物增加摄食量的最低有效剂量为低剂量组,而挥发油最低有效剂量为中剂量组。这表明云威灵水提物提高摄食量的功效优于挥发油。

表 2 云威灵水提物及挥发油对大鼠体质量、体质量增长、摄食量及食物利用率的影响

Table 2 Effect of *I. nervosa* water extract and volatile oil on weight, weight gain, food intake and food utilization in rats ($\bar{x} \pm S$, $n=8$)

组别	初始体质量/g	末次体质量/g	增重/g	摄食量/g	食物利用率/%
正常组	134.74 ± 3.19	371.38 ± 23.26	236.65 ± 25.28	698.22 ± 18.65	33.91 ± 3.62
阳性组	134.15 ± 3.62	377.53 ± 27.45	243.38 ± 27.30	752.43 ± 24.72***	32.86 ± 3.69
水提物低剂量组	133.66 ± 2.86	376.09 ± 32.68	242.42 ± 32.70	740.51 ± 19.93*	33.19 ± 4.48
水提物中剂量组	133.96 ± 4.00	373.02 ± 13.83	239.06 ± 14.27	747.03 ± 25.94**	32.49 ± 1.94
水提物高剂量组	133.75 ± 2.47	383.50 ± 25.65	249.75 ± 27.37	760.47 ± 20.12****	33.28 ± 3.65
挥发油低剂量组	136.17 ± 2.82	374.08 ± 23.01	237.90 ± 24.70	719.84 ± 27.67	32.84 ± 3.41
挥发油中剂量组	135.27 ± 3.78	378.44 ± 29.28	243.19 ± 30.74	745.17 ± 27.59**	33.14 ± 4.19
挥发油高剂量组	132.68 ± 2.58	387.28 ± 26.22	243.90 ± 36.99	759.27 ± 24.37***	32.61 ± 4.94

注:与正常组比较,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$,*** $P < 0.001$,**** $P < 0.0001$ 。

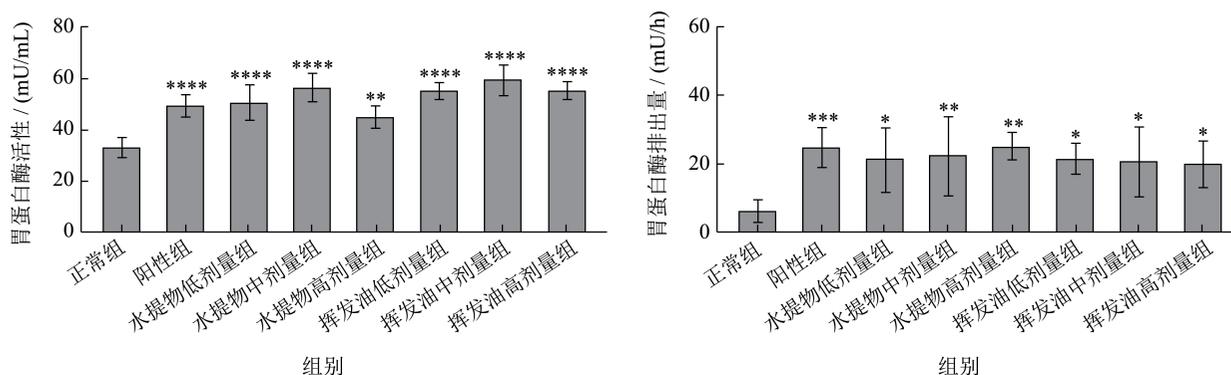


图 4 云威灵水提物及挥发油对大鼠胃蛋白酶活性和胃蛋白酶排出量的影响

Fig.4 Effect of *I. nervosa* water extract and volatile oil on the activity and excretion of pepsin in rats ($\bar{x} \pm S$, $n=8$)

注:与正常组比较,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$,*** $P < 0.001$,**** $P < 0.0001$ 。

2.5 云威灵水提物及挥发油对大鼠胃蛋白酶活性及胃蛋白酶排出量的影响

食物在胃肠道中经过各种消化酶及肠道蠕动的消化和吸收。其中,胃蛋白酶是胃部最为重要的消化酶之一,通常是以无活性酶原的形式存在,由胃蛋白酶原在胃酸的作用下转化而发挥促消化作用^[35]。通过测定胃蛋白酶活性和胃蛋白酶排出量来

评价云威灵水提物和挥发油的促消化功能。结果如图 4 所示,与正常组胃蛋白酶活性 33.91 mU/mL 相比,阳性组 49.18 mU/mL、云威灵水提物低、中、高剂量组 50.53、56.25、44.47 mU/mL 和挥发油低、中、高剂量组 55.13、59.02、55.30 mU/mL 的胃蛋白酶活性显著增强 ($P < 0.01$),分别增强了 48.83%、52.24%、69.48%、33.99%、66.10%、78.82%、

66.61%；与正常组胃蛋白酶排出量 5.92 mU/h 相比，阳性组 24.59 mU/h、云威灵水提物低、中、高组 21.47、22.74、25.00 mU/h 和挥发油低、中、高剂量组 21.32、21.00、20.56 mU/h 的胃蛋白酶排出量也显著提高 ($P < 0.05$)，表明云威灵水提物和挥发油均具有提高胃蛋白酶排出量的功效，且两者效果相当。但在增强胃蛋白酶活性方面云威灵挥发油高剂量组与水提物高剂量组相比具有统计学意义 ($P < 0.01$)，表明云威灵挥发油增强胃蛋白酶活性的功效优于水提物。

3 结论

云威灵在云南除彝族外，哈尼族、拉祜族、佤族等民族也经常使用。在民间，除药用外，还有泡酒、炖肉、直接烹食等用途。作为食品，营养价值高，富含大量的微量元素和蛋白质，是一种具有开发潜力及利用价值的可食性新资源食品。本研究首次采用 UPLC-Q-TOF-MS/MS 技术对云威灵水提物进行成分研究，共鉴定出 18 个化合物，其中 12 个为有机酸类成分，旨在明确其物质基础，并从中筛选指标性成分为云威灵的质量控制及有效物质基础提供依据。

通过 15 d 小鼠和 30 d 大鼠实验测定云威灵水提物和挥发油对于促进消化功能的影响，得到结果如下：应用洛哌丁胺成功建立小鼠肠道蠕动抑制模型 ($P < 0.000 1$)。云威灵挥发油促进小肠蠕动和 GAS、MTL 分泌的效果优于水提物 ($P < 0.05$)。通过对大鼠摄食量、胃蛋白酶活性及胃蛋白酶排出量的测定，结果表明：云威灵水提物低、中、高剂量组及挥发油中、高剂量组能增加摄食量 ($P < 0.05$)，水提物提高摄食量的最低有效剂量组低于挥发油。云威灵水提物低、中、高剂量组和挥发油低、中、高剂量组均能显著增加胃蛋白酶排出量 ($P < 0.05$)，且两者效果相当。同时，挥发油高剂量组能够增强胃蛋白酶活性的效果优于水提物高剂量组 ($P < 0.01$)。综上所述，云威灵水提物及挥发油均具有促消化功能，且云威灵挥发油改善消化能力的效果优于云威灵水提物。

本研究证明云威灵无论是水提物还是挥发油均具有促消化效果，能够促进小肠的蠕动、促进 GAS 和 MTL 的分泌、增强胃蛋白酶的活性和增加摄食量及胃蛋白酶的排出量，为后续新资源食品云威灵质量评价及促消化药理机制提供一定的数据支持。作为一种药食兼备的新资源食品，若将其开发成具

有促消化功能的保健食品或者膳食补充剂，并辅以相应的质量标准，能够丰富食疗领域原材料的选择，并促进相关新产品的研发。

参考文献

- [1] STANGHELLINI V, CHAN F K, HASLER W L, et al. Gastrointestinal disorders [J]. Gastroenterology, 2016, 150(6): 1380-1392.
- [2] FORD A C, MAHADEVA S, CARBONE M F, et al. Functional dyspepsia [J]. Lancet, 2020, 396(10263): 1689-1702.
- [3] FORD A C, MARWAHA A, SOOD R, et al. Global prevalence of, and risk factors for, uninvestigated dyspepsia: a meta-analysis [J]. Gut, 2015, 64(7): 1049-1057.
- [4] SANDER G B, MAZZOLENI L E, FRANCESCONI C F, et al. Influence of organic and functional dyspepsia on work productivity: the HEROES-DIP study [J]. Value Health, 2011, 14(5 Suppl 1): 126-129.
- [5] ARO P, TALLEY N J, AGRÉUS L, et al. Functional dyspepsia impairs quality of life in the adult population [J]. Aliment Pharmacol Ther, 2011, 33(11): 1215-1224.
- [6] 李小薇,毛浩萍.功能性消化不良的临床研究进展[J].中医药学报,2022,50(2):82-87.
- [7] 云南省食品药品监督管理局编.云南省中药材标准 2005年版 第6册 彝族药3[M].昆明:云南科学技术出版社,2010.
- [8] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志[M].北京:科学出版社,1999.
- [9] 《滇南本草》整理组.滇南本草(整理本).(第一卷)[M].昆明:云南人民出版社,1975.
- [10] 云南省卫生局革命委员会编.云南中草药[M].昆明:云南人民出版社,1971.
- [11] 云南省彝族医药研究所编.中国彝族药学[M].昆明:云南民族出版社,2004.
- [12] 张鸭关,刘品华,汪帆.显脉旋覆花的营养成分及营养价值评价[J].食品工业科技,2012,33(21):353-355,360.
- [13] 刘兰,杨月欣.植物类新资源食品比较研究[J].中国卫生监督杂志,2011,18(1):34-39.
- [14] 胡慧冰,柳克铃,李若存.GC法测定云威灵软胶囊中百里香酚和异丁酸百里香酯的含量研究[J].中医药导报,2007(7):98-99,115.
- [15] 陈丹,李柯,胡慧冰,等.高效液相色谱法测定显脉旋覆花药材中麝香草酚和异丁酸百里香酯的含量[J].中国民族民间医药,2012,21(21):45-46,48.
- [16] 曾木花,黄英强,陈日春,等.咸金枣促消化作用研究[J].中国食物与营养,2020,26(8):63-67.
- [17] 涂永丽,周宏炫,谭书明,等.刺梨促消化功能研究[J].食品与发酵工业,2020,46(24):85-89.
- [18] 陈美庆,朱卫丰,管咏梅,等.基于UPLC-Q-TOF-MS/MS技

- 术分析葛根配方颗粒的化学成分[J].中国实验方剂学杂志,2023,29(19):176-186.
- [19] 宋亚玲,王红梅,倪付勇,等.金银花中酚酸类成分及其抗炎活性研究[J].中草药,2015,46(4):490-495.
- [20] 王梦,田伟,甄亚钦,等.基于UPLC-Q-TOF-MS/MS技术的彝族药姜味草化学成分分析[J].中国药学杂志,2022,57(20):1717-1725.
- [21] 龙伟,温芝琪,吴东,等.显脉旋覆花花序中化学成分分析及其抗补体活性研究[J].中成药,2022,44(7):2401-2405.
- [22] 曹阳,戴国梁,王一清,等.基于UPLC-Q-TOF-MS/MS和HPLC的苍术-香附醇提液主要化学成分分析[J].中国药学杂志,2023,58(19):1736-1743.
- [23] 单宇航.烟草根腐病、黑胫病生防菌鉴定及作用机制研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2022.
- [24] 吴晓莹,张安然,龚千锋,等.基于UPLC-Q-TOF-MS/MS技术分析白术及其炮制品入血成分[J].中药材,2023,46(8):1919-1923.
- [25] 汪诗沁,刘丹,叶晓川,等.UPLC-Q-TOF-MS/MS结合网络药理学探讨福白菊药效物质基础及其抗炎作用机制[J].中国中药杂志,2022,47(15):4190-4201.
- [26] 巩仔鹏,熊荻菲菲,李梅,等.羊耳菊有效组分化学成分分析[J].安徽农业科学,2017,45(29):131-133,152.
- [27] SCHWAIGER S, SEGER C, WIESBAUER B, et al. Development of an HPLC-PAD-MS assay for the identification and quantification of major phenolic edelweiss (*Leontopodium alpium* Cass.) constituents [J]. *Phytochem Anal*, 2006, 17(5): 291-298.
- [28] HEYMAN H M, SENEJOUX F, SEIBERT I, et al. Identification of anti-HIV active dicaffeoylquinic- and tricaffeoylquinic acids in *Helichrysum populifolium* by NMR-based metabolomic guided fractionation [J]. *Fitoterapia*, 2015, 103: 155-164.
- [29] 王光宁,史梦娜,黄月,等.广陈皮对功能性消化不良大鼠胃肠动力的影响[J].医药导报,2023,42(9):1312-1317.
- [30] 陶睿智,顾任钧,夏雅雯,等.功能性消化不良动物模型的研究进展[J].中国实验动物学报,2022,30(2):283-290.
- [31] 张旭,纪忠岐,赵长敏,等.陈皮提取物对小鼠胃排空、肠推进及家兔离体回肠平滑肌的影响[J].河南大学学报(医学版),2012,31(1):12-14.
- [32] 王杰,盛权,朱虹,等.健脾益胃汤对慢性萎缩性胃炎模型大鼠血清胃泌素和血浆胃动素的影响[J].江苏中医药,2014,46(2):77-79.
- [33] 刘佳,吴道顺,潘云凤,等.化橘红提取物对幼龄大鼠厌食症的改善作用研究[J].中国药房,2022,33(23):2931-2935.
- [34] 雷静,熊瑞,张秀,等.复方山楂水提取物与醇提取物有效成分及促消化效果的对比研究[J].现代食品科技,2019, 35(11): 52-59.
- [35] 金丽娟,张娜,杨伟,等.大蒜素通过抗氧化应激和抑制COX-2信号通路保护胃溃疡大鼠的机制研究[J].中药药理与临床,2017,33(2):37-41.