

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2022.22.003

鹰嘴豆种子的化学成分研究*

徐芳琴¹ 郭超¹ 赵敏¹ 鲁毓² 胡子龙² 田向荣^{3Δ}

(1 空军军医大学西京医院药剂科 陕西 西安 710032;

2 西北农林科技大学植物保护学院 陕西 杨凌 712100;3 西北农林科技大学林学院 陕西 杨凌 712100)

摘要 目的:探究维药鹰嘴豆种子的化学成分,从药效物质基础的角度为阐明鹰嘴豆的营养功能与药用价值奠定基础。**方法:**将鹰嘴豆 75%乙醇提取物分散于水中,分别通过石油醚、乙酸乙酯和正丁醇萃取获得不同的萃取段。对正丁醇萃取段通过正相硅胶、凝胶柱层析,以及半制备高效液相色谱进行分离纯化,通过核磁共振氢谱和碳谱对分离纯化的单体化合物进行结构鉴定。**结果:**从鹰嘴豆种子中分离鉴定了 8 个化合物,分别为:(+)松醇(1)、乙基 α -D-半乳糖苷(2)、L-色氨酸(3)、 β -谷甾醇(4)、 β -胡萝卜苷(5)、亚油酸甲酯(6)、亚油酸(7)和槲皮素-3-O- β -D-吡喃葡萄糖苷(8)。**结论:**亚油酸甲酯(6)和槲皮素-3-O- β -D-吡喃葡萄糖苷(8)为首次从鹰嘴豆中分离鉴定。对鹰嘴豆中之前报道的乙基 α -L-半乳糖苷的化学结构确证为乙基 α -D-半乳糖苷(2)。

关键词:鹰嘴豆;分离;化学成分;结构鉴定

中图分类号:S529;R284;R932 文献标识码:A 文章编号:1673-6273(2022)22-4215-04

Study on Chemical Constituents from The Seeds of *Cicer arietinum* Linn.*

XU Fang-qin¹, GUO Chao¹, ZHAO Min¹, LU Yu², HU Zi-long², TIAN Xiang-rong^{3Δ}

(1 Department of Pharmacy, Xijing Hospital, Air Force Medical University, Xi'an, Shaanxi, 710032, China;

2 College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi, 712100, China;

3 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi, 712100, China)

ABSTRACT Objective: To explore the chemical constituents for the seeds of *Cicer arietinum* Linn., and lay the foundation for clarifying the nutritional function and medicinal value of the title plants from the perspective of pharmacodynamic material basis. **Methods:** The 75% ethanol extract of *C. arietinum* was dispersed in water, and extracted extensively by petroleum ether, ethyl acetate, and n-butanol, respectively, to obtain different extraction. The n-butanol extract was isolated and purified by normal phase silica gel, Sephadex LH-20, and semi-preparative high performance liquid chromatography. The structures of the purified compounds were elucidated by ¹H and ¹³C-NMR spectroscopy. **Results:** Eight compounds were identified from the seeds of *C. arietinum*. Their structures were identified as (+)pinitol (1), ethyl- α -D-galactopyranoside (2), L-tryptophan (3), β -sitosterol (4), β -daucosterol (5), methyl linoleate (6), linoleic acid (7), and quercetin 3-O- β -D-glucopyranoside (8). **Conclusions:** Methyl linoleate (6) and quercetin 3-O- β -D-glucopyranoside (8) were identified firstly from the seeds of *C. arietinum*. The structure of previous reported ethyl α -L-galactopyranoside in the seeds of *C. arietinum* was confirmed as ethyl α -D-galactopyranoside (2).

Key words: *Cicer arietinum*; Isolation; Chemical constituents; Structure elucidation

Chinese Library Classification(CLC): S529; R284; R932 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2022)22-4215-04

前言

鹰嘴豆(*Cicer arietinum* Linn.)又称鸡心豆,是豆科(Leguminosae)、鹰嘴豆属(*Cicer*)植物,鹰嘴豆具有丰富的药用价值、营养价值和生态价值而深受世界各地人民的喜爱。鹰嘴豆药用部位为种子,收录于《维吾尔常用药材》、《维吾尔药志》、《中华人民共和国卫生部药品标准维吾尔药分册》等医药专著^[1]。现代药理学研究表明,鹰嘴豆的药用价值主要体现在降血脂^[2]、降血糖^[3]、降胆固醇^[4]、抗氧化^[5]、提高学习记忆能力^[6]和抗肿瘤^[7]等方面。鹰嘴豆的营养价值主要体现在其富含丰富的淀

粉(40%-60%)、蛋白质(28%)、脂肪(6%)、纤维素(4%-6%)^[8],以及人体易吸收的 18 种氨基酸(包括人体必需 8 种氨基酸)等成分^[9]。因此,鹰嘴豆也被人们冠以"豆中王者"、"长寿豆"等美誉。另外,鹰嘴豆还具有发达的根系,以便快速摄取养分和水分,根系中通常还伴有可锁定氮元素的"根瘤",适合轮作以提高农产品产量^[9]。因此,鹰嘴豆在栽培管理中特有的耐旱性、抗病性、耐盐性、以及适应性强等优点,赋予其丰富的生态价值。本文主要通过现代柱层析技术分离纯化鹰嘴豆种子中的化学成分,通过波谱鉴定技术鉴定化合物的结构,以期为进一步研究鹰嘴豆的药用价值和营养价值提供物质基础。

* 基金项目:咸阳市秦创源科技创新专项(2021ZDZX-NY-0001)

作者简介:徐芳琴,学士,副主任药师,主要从事中药药效物质基础与药理学研究, E-mail: xfq750274@sina.com

Δ 通讯作者:田向荣,博士,副教授,主要从事林源活性成分研究, E-mail: tianxiangrong@163.com

(收稿日期:2022-05-22 接受日期:2022-06-18)

1 材料与方 法

1.1 仪器与材料

1.1.1 仪器与试剂 500 MHz 核磁共振仪购自德国布鲁克公司, LC-6AD 型高效液相色谱仪购自日本岛津科技有限公司, C18 半制备色谱柱(250 mm × 10 mm, 5 μm)购自日本 YMC 公司, 旋转蒸发器购于上海申生科技有限公司。常规的 GF₂₅₄ 硅胶薄层板与正相柱层析硅胶填料(100-200 目与 200-300 目)购自青岛海洋化工, Sephadex LH-20 凝胶填料购自德国 GE 公司, 分析级石油醚、乙酸乙酯、二氯甲烷、乙醇、甲醇、正丁醇等常规试剂购于天津化学试剂厂, 色谱级甲醇购于上海麦克林生化科技有限公司。化合物波谱鉴定所用氘代试剂购于美国剑桥 CIL 公司。

1.1.2 植物材料 鹰嘴豆(*Cicer arietinum* Linn.)种子于 2008 年 8 月从新疆维吾尔自治区木垒哈萨克自治县采集获得, 由西北农林科技大学田向荣副教授提供并鉴定, 标本存贮于西北农林科技大学林学院(N0. 20180802)。

1.2 提取与分离

干燥的鹰嘴豆种子(5.0 kg), 用粉碎机粉碎后, 加入 2-3 倍

量的 75%乙醇 85℃下回流提取 4 次, 每次 3 小时, 合并提取液, 用旋转蒸发器进行减压浓缩得乙醇提取物。将去除醇味的提取物分散于水中, 分别用石油醚、乙酸乙酯、和正丁醇等体积进行萃取获得相应的萃取物。正丁醇萃取物(148.5 g)过正相硅胶柱(200-300 目), 洗脱体系为二氯甲烷: 甲醇: 水(30:1:0、20:1:0、15:1:0、10:1:0、9:1:0.1、8.5:1.5:0.15、8:2:0.2、7.5:2.5:0.25、6.5:3.5:0.35), 得 Fr.A-Fr.M 等 13 个馏分。馏分 Fr.H 过 Sephadex LH-20 凝胶色谱柱, 洗脱剂为二氯甲烷: 甲醇(1:1)得馏分 Fr.H₁-Fr.H₃, 馏分 Fr.H₂用丙酮进行重结晶得化合物 1(0.7 g)。馏分 Fr.E 过凝胶色谱柱, 洗脱剂为二氯甲烷: 甲醇(1:1)得馏分 Fr.E₁-Fr.E₅, 馏分 Fr.E₄用丙酮进行重结晶得化合物 2(1.1 g)。Fr.B 和 Fr.C 分别用丙酮进行重结晶得化合物 4(1.2 g)和 5(0.5 g)。馏分 Fr.I 过凝胶色谱柱, 洗脱剂为二氯甲烷: 甲醇(1:1)得馏分 Fr.I₁-Fr.I₄, 馏分 Fr.I₃用丙酮重结晶得化合物 3(0.2 g)。Fr.II 过半制备高效液相色谱, 洗脱剂为甲醇: 水(90:10), 流速为 2.0 mL/min, 检测波长为 206 nm, 得化合物 6(0.2 g)和 7(0.3 g)。Fr.I₂过半制备高效液相色谱, 洗脱剂为甲醇: 水(40:60), 流速为 2.0 mL/min, 检测波长为 245 nm, 得化合物 8(12.5 mg)。

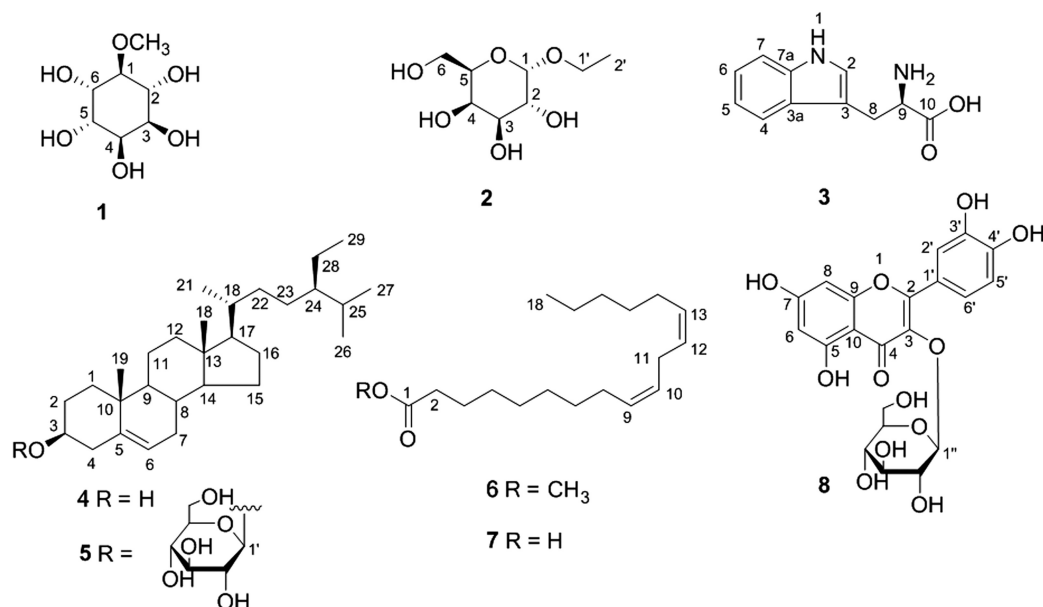


图 1 鹰嘴豆种子中分离鉴定的化合物(1-8)的结构

Fig.1 Chemical structures of compounds (1-8) identified from *C. arietinum*.

2 结果

化合物 1, 白色无定形粉末。¹H-NMR (500 MHz, C₅D₅N) δ_H: 4.81 (2H, m, H-1, H-6), 4.75 (2H, m, H-2, H-5), 4.64 (1H, t, J = 9.3 Hz, H-4), 4.16 (1H, t, J = 9.3 Hz, H-3), 3.94 (3H, s, -OCH₃); ¹³C-NMR (125 MHz, C₅D₅N) δ_C: 86.2 (C-1), 75.0 (C-5), 74.5 (C-3), 74.1 (C-6), 73.4 (C-2), 72.6 (C-4), 61.1 (-OCH₃)。以上波谱数据与文献报道的(+)-松醇一致^[10,11], 故鉴定化合物 1 为(+)-松醇(见图 1)。

化合物 2, 白色颗粒状结晶。¹H-NMR (500 MHz, C₅D₅N) δ_H: 5.31 (1H, d, J = 3.3 Hz, H-1), 4.61-4.38 (6H, m, H-2, H-3,

H-4, H-5, H₂-6), 3.94 (1H, dq, J = 9.8, 7.1 Hz, H_a-1'), 3.55 (1H, dq, J = 9.8, 7.1 Hz, H_b-1'), 1.16 (3H, t, J = 7.1 Hz, H₃-2'); ¹³C-NMR (125 MHz, C₅D₅N) δ_C: 100.7 (C-1), 72.9 (C-5), 72.0 (C-3), 71.3 (C-4), 70.8 (C-2), 63.8 (C-1'), 62.9 (C-6), 15.6 (C-2')。以上波谱数据与文献报道的乙基 α-D- 半乳糖苷一致^[12], 故鉴定化合物 2 为乙基 α-D- 半乳糖苷(见图 1)。

化合物 3, 白色结晶性粉末。¹H-NMR [CD₃OD:C₅D₅N (2:1), 500 MHz]: δ_H 7.10(1H, s, H-2), 7.77 (1H, d, J = 7.9 Hz, H-4), 7.10 (1H, t, J = 7.5 Hz, H-5), 7.04 (1H, t, J = 7.5 Hz, H-6), 7.33 (1H, d, J = 8.0 Hz, H-7), 3.26 (1H, dd, J = 15.2, 9.8 Hz, H-8a), 3.66 (1H, J = 15.2, 3.8 Hz, H-8b), 3.85 (1H, dd, J = 9.8, 3.8 Hz, H-9)

^{13}C -NMR [$\text{CD}_3\text{OD}:\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$ (2:1), 125 MHz]: δ_{C} 125.2 (C-2), 110.0 (C-3), 128.6 (C-3a), 119.5 (C-4), 120.1 (C-5), 122.7 (C-6), 112.5 (C-7), 138.3 (C-7a), 28.6 (C-8), 56.9 (C-9), 174.2 (C-10)。以上波谱数据与文献报道的 L- 色氨酸一致^[13,14],故鉴定化合物 3 为 L- 色氨酸(见图 1)。

化合物 4, 白色片状结晶。 ^1H -NMR (500 MHz, CDCl_3) δ_{H} : 5.35 (1H, t, $J = 4.9$ Hz, H-6), 3.52 (1H, m, H-3), 1.01 (3H, s, H_3 -19), 0.92 (3H, d, $J = 6.5$ Hz, H_3 -21), 0.85 (3H, t, $J = 7.7$ Hz, H_3 -29), 0.83 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H_3 -27), 0.81 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H_3 -26), 0.68 (3H, s, H_3 -18); ^{13}C -NMR (125 MHz, CDCl_3) δ_{C} : 37.3 (C-1), 31.7 (C-2), 71.8 (C-3), 42.3 (C-4), 140.8 (C-5), 121.7 (C-6), 31.9 (C-7, C-8), 50.2 (C-9), 36.7 (C-10), 21.1 (C-11), 39.8 (C-12), 42.4 (C-13), 56.8 (C-14), 24.3 (C-15), 28.3 (C-16), 56.1 (C-17), 11.9 (C-18), 19.4 (C-19), 36.2 (C-20), 18.8 (C-21), 34.0 (C-22), 26.2 (C-23), 45.9 (C-24), 29.2 (C-25), 19.8 (C-26), 19.1 (C-27), 23.1 (C-28), 12.0 (C-29)。以上波谱数据与文献报道的 β - 谷甾醇一致^[15],故鉴定化合物 4 为 β - 谷甾醇(见图 1)。

化合物 5, 白色无定形粉末。 ^1H -NMR [500 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}:\text{CDCl}_3$ (2:1)] δ_{H} : 5.26 (1H, m, H-6), 4.49 (1H, d, $J = 7.8$ Hz, H-1'), 3.98 (1H, dd, $J = 11.8, 3.6$ Hz), 3.85 (1H, dd, $J = 11.7, 5.4$ Hz), 3.64 (2H, m), 3.56 (1H, m, H-3), 3.45 (2H, m), 0.93 (6H, o, H_3 -19, H_3 -21), 0.86 (3H, d, $J = 7.7$ Hz, H_3 -29), 0.80 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H_3 -27), 0.77 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H_3 -26), 0.62 (3H, s, H_3 -18); ^{13}C -NMR [125 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}:\text{CDCl}_3$ (2:1)] δ_{C} : 37.8 (C-1), 30.3 (C-2), 78.3 (C-3), 39.3 (C-4), 141.3 (C-5), 122.4 (C-6), 32.5 (C-7), 32.4 (C-8), 50.7 (C-9), 37.2 (C-10), 21.6 (C-11), 40.3 (C-12), 42.8 (C-13), 56.6 (C-14), 24.8 (C-15), 28.8 (C-16), 57.3 (C-17), 12.4 (C-18), 19.8 (C-19), 36.6 (C-20), 19.3 (C-21), 34.4 (C-22), 26.6 (C-23), 46.4 (C-24), 29.7 (C-25), 20.3 (C-26), 19.6 (C-27), 23.6 (C-29), 12.5 (C-29), 102.3 (C-1'), 74.4 (C-2'), 79.3 (C-3'), 72.0 (C-4'), 78.1 (C-5'), 63.5 (C-6')。以上波谱数据与文献报道的 β - 胡萝卜素一致^[16,17],故鉴定化合物 5 为 β - 胡萝卜素(见图 1)。

化合物 6, 淡黄色油状液体。 ^1H -NMR (500 MHz, CDCl_3) δ_{H} : 5.39 (4H, m, H-9, H-10, H-12, H-13), 3.70 (3H, s, $-\text{OCH}_3$), 2.81 (2H, t, $J = 6.6$ Hz, H_2 -11), 2.34 (2H, t, $J = 7.6$ Hz, H_2 -2), 2.07 (4H, m, H_2 -8, H_2 -14), 1.66 (2H, m, H_2 -3), 1.32 (14H, H_2 -4, H_2 -5, H_2 -6, H_2 -7, H_2 -15, H_2 -16, H_2 -17), 0.92 (3H, t, $J = 6.5$ Hz, H_3 -18); ^{13}C -NMR (125 MHz, CDCl_3) δ_{C} : 174.3 (C-1), 34.3 (C-2), 25.1 (C-3), 29.2 (C-4), 29.3 (C-5), 29.5 (C-6), 29.7 (C-7), 27.3 (C-8), 130.2 (C-9), 128.1 (C-10), 25.8 (C-11), 128.3 (C-12), 130.3 (C-13), 27.3 (C-14), 29.3 (C-15), 31.7 (C-16), 22.8 (C-17), 14.2 (C-18), 51.5 ($-\text{OCH}_3$)。以上波谱数据与文献报道的亚油酸甲酯一致^[18],故鉴定化合物 6 为亚油酸甲酯(见图 1)。

化合物 7, 淡黄色油状液体。 ^1H -NMR (500 MHz, CDCl_3) δ_{H} : 5.36 (4H, m, H-9, H-10, H-12, H-13), 2.77 (2H, t, $J = 6.6$ Hz, H_2 -11), 2.35 (2H, t, $J = 7.5$ Hz, H_2 -2), 2.04 (4H, m, H_2 -8, H_2 -14), 1.63 (2H, m, H_2 -3), 1.28 (14H, H_2 -4, H_2 -5, H_2 -6, H_2 -7, H_2 -15, H_2 -16, H_2 -17), 0.88 (3H, t, $J = 6.0$ Hz, H_3 -18); ^{13}C -NMR (125 MHz, CDCl_3) δ_{C} : 180.4 (C-1), 34.2 (C-2), 24.8 (C-3), 29.2 (C-4),

29.3 (C-5), 29.5 (C-6), 29.6 (C-7), 27.4 (C-8), 129.9 (C-9), 128.1 (C-10), 25.8 (C-11), 128.2 (C-12), 130.2 (C-13), 27.3 (C-14), 29.4 (C-15), 32.1 (C-16), 22.8 (C-17), 14.2 (C-18)。以上波谱数据与文献报道的亚油酸一致^[19],故鉴定化合物 7 为亚油酸(见图 1)。

化合物 8, 白色无定形粉末。 ^1H -NMR (CD_3OD , 500 MHz) δ_{H} : 6.23 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-6), 6.42 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-8), 7.73 (1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-2'), 6.89 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-5'), 7.60 (1H, dd, $J = 8.5, 2.1$ Hz, H-6'), 5.27 (1H, d, $J = 7.6$ Hz, H-1'), 3.51 (1H, m, H-2''), 3.45 (1H, t, $J = 9.0$ Hz, H-3''), 3.36 (1H, t, $J = 9.0$ Hz, H-4''), 3.24 (1H, m, H-5''), 3.75 (1H, dd, $J = 11.9, 2.5$ Hz, Ha-6''), 3.61 (1H, dd, $J = 11.9, 5.3$ Hz, Hb-6'')。 ^{13}C -NMR (CD_3OD , 125 MHz) δ_{C} : 158.4 (C-2), 135.6 (C-3), 179.5 (C-4), 163.1 (C-5), 100.0 (C-6), 166.0 (C-7), 94.7 (C-8), 159.0 (C-9), 105.7 (C-10), 123.3 (C-1'), 116.1 (C-2'), 150.0 (C-3'), 145.9 (C-4'), 117.6 (C-5'), 123.1 (C-6'), 104.3 (C-1''), 75.7 (C-2''), 78.1 (C-3''), 71.2 (C-4''), 78.4 (C-5''), 62.5 (C-6'')。以上波谱数据与文献报道的槲皮素-3-O- β -D- 吡喃葡萄糖苷一致^[20],故鉴定化合物 8 为槲皮素-3-O- β -D- 吡喃葡萄糖苷(见图 1)。

3 讨论

鹰嘴豆具有广泛的药用、营养和生态价值,是典型的药食两用植物,在全球 50 多个国家均有广泛种植。确切的化学成分是保障中药与特色民族药发挥药食功能的关键,也是确定其质量标准的关键^[21]。郭靖等对近年来鹰嘴豆中的活性成分及功能进行了综述,结果表明鹰嘴豆中主要富含多糖、异黄酮、皂苷、脂肪酸等多种功能成分^[22]。本文主要通过现代柱色谱技术和波谱鉴定技术从鹰嘴豆种子中分离鉴定了 7 个单体化合物。其中, L- 色氨酸(3)是人体必需氨基酸,与 Lu 等的报道一致^[13],其可作为吲哚生物碱的生物合成前体,而吲哚生物碱已证实可作为鹰嘴豆属植物化学分类的一类特异性指标成分。另一方面,鹰嘴豆中已报道富含抗氧化活性的多肽类成分,而游离氨基酸也是组成多肽结构骨架的分子单元^[23]。L- 色氨酸(3)的分离鉴定为阐释鹰嘴豆的营养功能成分奠定了基础。 β - 谷甾醇(4)和 β - 胡萝卜素(5)在鹰嘴豆种子中的存在,之前也被吴霞等的研究所证实^[24]。本文分离鉴定的化合物 4 和 5 再一次证实该类化学成分是大多数鹰嘴豆属植物共有的营养成分。鹰嘴豆中富含人体必需的 ω -3 和 ω -6 系列不饱和脂肪酸,Mapperumage 等报道^[25,26],采用不同提取方法,应用气质联用(GC-MS)技术,测定鹰嘴豆中亚油酸含量占总脂肪酸的 50.1%-57.3%。陈玲芳等利用现代柱层析与波谱鉴定技术从鹰嘴豆种子中分离鉴定到了亚油酸^[27]。本文分离鉴定的亚油酸(7),以及首次鉴定的亚油酸甲酯(6)进一步证实鹰嘴豆中丰富的亚油酸类脂肪酸是其主要营养成分。

鹰嘴豆中的 α - 低聚半乳糖对肠道有益菌群双歧杆菌和乳酸菌具有良好的促进增长繁殖功能,而对肠道有害菌落拟杆菌和梭状菌具有一定的生长抑制作用^[28]。谭永霞与陈玲芳前期对鹰嘴豆的化学成分研究中,分离鉴定了 1- 乙基- α -L- 半乳糖苷^[27,29]。通过追踪其鉴定结构所参考的原始文献《分析化学手册》(第二版)第 902 页^[30],对照不同构型半乳糖的波谱数据发现其结构应该为 D- 半乳糖而非 L- 半乳糖。本文结合波谱数

据与相关文献^[12,30],对分离鉴定的化合物结构进行了纠正,确定鹰嘴豆中应该含有 1- 乙基 - α -D- 半乳糖苷 (2), 而非 1- 乙基 - α -L- 半乳糖苷。另外,本文还从鹰嘴豆种子中分离鉴定到了(+)-松醇(1)。(+)松醇之前由张泽生等从鹰嘴豆中分离纯化用于研究其降血糖功效,但未给出具体的波谱数据^[31],本文首次用波谱学技术证实鹰嘴豆中富含(+)-松醇,为阐释其降血糖药效物质基础提供了科学依据。就黄酮类化合物而言,鹰嘴豆中黄酮的主要结构类型是异黄酮类和黄烷醇类,主要发挥降血糖和抗氧化的功效^[32,33]。许凤成采用超声提取法从鹰嘴豆中分离鉴定了黄酮类结构骨架的槲皮素^[34]。本文首次从鹰嘴豆中分离鉴定了少量的槲皮素 -3-O- β -D- 吡喃葡萄糖苷(8),丰富了鹰嘴豆中黄酮类化合物的结构类型,为阐释其发挥降血糖、抗氧化、以及营养功能奠定了基础。

综上所述,本文从鹰嘴豆中分离鉴定了 8 个化合物,其中,亚油酸甲酯(6)和槲皮素 -3-O- β -D- 吡喃葡萄糖苷(8)为首次从鹰嘴豆中分离鉴定。另外,对鹰嘴豆种子中 1- 乙基 - α -D- 半乳糖苷(2)的化学结构进行了纠正和确认。本文从药效物质基础的角度为阐释鹰嘴豆拥有良好的营养功能与药用价值提供了科学参考。

参考文献 (References)

- [1] 李朋收,刘洋洋,范冰航,等. 鹰嘴豆化学成分及药理作用研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(11): 235-238
- [2] Shi W, Hou T, Guo D, et al. Evaluation of hypolipidemic peptide (Val-Phe-Val-Arg-Asn) virtual screened from chickpea peptides by pharmacophore model in high-fat diet-induced obese rat [J]. J Funct Foods, 2019, 54: 136-145
- [3] 黄煦杰,朱雅琴,冯洪洪,等. 鹰嘴豆总皂苷制备及体外降血糖与抗氧化活性评价[J]. 食品科技, 2019, 44(12): 253-259
- [4] Yahia S, Benomar S, Dehiba F, et al. Hypcholesterolaemic and antioxidant efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*) protein hydrolysates depend on its degree of hydrolysis in cholesterol-fed rat [J]. Curr Nutr Food Sci, 2017, 47(2): 254-269
- [5] 梁雪荣,路振康,毛晓英,等. 鹰嘴豆抗氧化肽的分离纯化、鉴定及其抗氧化活性 [J]. 食品科学, 2022. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20220224.1739.024.html>.
- [6] 韩海红,马剑茵. 鹰嘴豆异黄酮提取物对阿尔茨海默病模型小鼠学习记忆能力及其海马内 TNF- α 、IL-6 表达的影响 [J]. 中国现代应用药学, 2014, 31(6): 689-692
- [7] Neha G, Kumar GA, Suresh BS. Biochemical characterisation of lectin from wild chickpea (*Cicer reticulatum* L.) with potential inhibitory action against human cancer cells [J]. J Food Biochem, 2019, 43(2): e12712
- [8] 张涛,江波,王璋. 鹰嘴豆营养价值及其应用[J]. 粮食与油脂, 2004, 7, 18-20
- [9] 张金波,苗翠琴,王威,等. 鹰嘴豆的应用价值及其研究与利用[J]. 作物杂志, 2011, 1: 10-12
- [10] 彭静波,杨文菊,李占林,等. 红车轴草的化学成分[J]. 沈阳药科大学学报, 2008, 25(11): 875-879
- [11] Jawla S, Kumar Y, Khan MSY. Isolation of antidiabetic principle from *Bougainvillea spectabilis* Willd (Nyctaginaceae) stem bark[J]. Trop J Pharm Res, 2013, 12(5): 761-765
- [12] 李滢,杨秀伟. 太子参(柘参 1 号)的化学成分[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(20): 2353-2355
- [13] Lu CT, Tang HF, Sun XL, et al. Indole alkaloids from chickpea seeds (*Cicer arietinum* L.)[J]. Biochem System Ecol, 2010, 38: 441-443
- [14] Morris CF, Mueller DD, Faubion JM, et al. Identification of L-tryptophan as an endogenous inhibitor of embryo germination in white wheat[J]. Plant Physiol, 1988, 88: 435-440
- [15] 韩瑞杰,赵晨,陈豪杰,等. 景天三七化学成分研究[J]. 中华中医药杂志, 2021, 36(7): 4223-4226
- [16] 刘亭,蒋礼,何燕玲,等. 大风子正丁醇部位化学成分的研究[J]. 中成药, 2018, 40(9): 2017-2020
- [17] 陈玩珊,胡新华,原文鹏. 酸模叶的化学成分研究 [J]. 中华中医药杂志, 2019, 34(8): 3769-3771
- [18] Huh S, Kim YS, Jung E, et al. Melanogenesis inhibitory effect of fatty acid alkyl esters isolated from *Oxalis triangularis* [J]. Biol Pharm Bull, 2010, 33(7): 1242-1245
- [19] 刘大有,王晓颖,夏忠庭,等. 两头尖化学成分研究[J]. 长春中医药大学学报, 2003, 19(9): 71
- [20] Kazuma K, Noda N, Suzuki M. Malonylated flavonol glycosides from the petals of *Clitoria ternatea* [J]. Phytochemistry, 2003, 62: 229-237
- [21] 徐芳琴,张新睿,郭凤伟,等. 中成药质量控制研究进展[J]. 现代生物医学进展, 2014, 14(31): 6159-6163
- [22] 郭靖,于新,陈于陇,等. 鹰嘴豆生物活性成分及其功能研究进展 [J]. 农产品加工, 2021, 2: 76-79
- [23] Kou X, Gao J, Xue Z, et al. Purification and identification of antioxidant peptides from chickpea (*Cicer arietinum* L.) albumin hydrolysates[J]. LWT-Food Sci Tech, 2013, 50: 591-598
- [24] Wu X, Wang ZQ, Ye YH, et al. A new dihydroxyflavanol from the seed of *Cicer arietinum* [J]. Chin J Nat Med, 2010, 8(2): 91-93
- [25] Mittal R, Nagi H, Sharma P, et al. Effect of processing on chemical composition and antinutritional factors in chickpea flour [J]. J Food Sci Eng, 2012, 2: 180-186
- [26] Madurapperumage A, Tang L, Thavarajah P, et al. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) as a Source of Essential Fatty Acids - A Biofortification Approach[J]. Front Plant Sci, 2021, 12: 734980
- [27] 陈玲芳,杨新洲,熊慧,等. 鹰嘴豆的化学成分研究[J]. 亚太传统医药, 2012, 8(7): 41-43
- [28] 贺晋艳,张芸,李伟,等. 鹰嘴豆 α - 低聚半乳糖的肠道益生功能[J]. 2011, 32(15): 94-98
- [29] 谭永霞,孙玉华,陈若芸. 鹰嘴豆化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2007, 16: 1650-1652
- [30] 于德泉,杨俊山. 分析化学手册[M]. 第 2 版,第 7 分册,北京: 化学工业出版社, 902
- [31] 张泽生,陈金艳,翟俊乐,等. 鹰嘴豆 D- 松醇对糖尿病小鼠降血糖功效的研究[J]. 中国食品添加剂, 2015, 2: 107-111
- [32] 孙悦,刘晓冰,苏卓文,等. 微波辅助低共熔溶剂提取鹰嘴豆中黄酮及其抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(14): 120-128
- [33] 傅樱花,李正磊,刘莹洁. 鹰嘴豆资源及其异黄酮类物质研究进展 [J]. 保鲜与加工, 2021, 21(3): 130-135
- [34] 许凤成. 鹰嘴豆黄酮的提取、分离纯化及初步结构表征[D]. 石河子大学, 2013