

唐古特大黄根化学成分及其蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性研究

伍 立^{1,2}, 李嘉欣^{1,2}, 李 珍^{1,2}, 王 菲¹, 赵晓辉¹, 岳会兰^{1*}
(1. 中国科学院藏药研究重点实验室, 青海省藏药研究重点实验, 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: **目的** 研究唐古特大黄 *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf. 根的化学成分及其蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性。**方法** 采用大孔树脂、硅胶、MCI 及半制备 HPLC 进行分离纯化, 根据理化性质及波谱数据鉴定所得化合物的结构, 并进行蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性筛选。**结果** 从中分离得到 21 个化合物, 分别鉴定为 chrysophanol (**1**)、chrysophanol 1-*O*- β -*D*-glucoside (**2**)、aloe emodin (**3**)、aloe emodin 8-*O*- β -*D*-glucoside (**4**)、emodin (**5**)、emodin 1-*O*- β -*D*-glucoside (**6**)、6-methoxyl nepodin 8-*O*-glucoside (**7**)、6-hydroxyl nepodin 8-*O*-glucoside (**8**)、rhein-8-*O*- β -*D*-glucoside (**9**)、(+)-catechin (**10**)、(-)-epicatechin-3-*O*-gallate (**11**)、4-(4'-hydroxyphenyl)-butan-2-one (**12**)、gallic acid (**13**)、1-*O*-galloyl- β -*D*-glucose (**14**)、gallic acid 4-*O*- β -*D*-(6'-*O*-galloyl)-glucoside (**15**)、1, 2, 6-tri-*O*-galloyl- β -*D*-glucopyranose (**16**)、4-(4'-hydroxyphenyl)-2-butanone-4'-*O*- β -*D*-glucoside (**17**)、lindleyin (**18**)、isolindleyin (**19**)、4-(4-hydroxyphenyl)-2-butanone 4'-*O*- β -*D*-(2, 6-di-*O*-galloyl) glucopyranoside (**20**)、resveratrol 4-*O*- β -*D*-glucoside (**21**)。化合物 **15~16** 对蔗糖酶的 IC₅₀ 值分别为 23.78、14.67 μ mol/L, 对麦芽糖酶的 IC₅₀ 值分别为 31.35、25.56 μ mol/L。**结论** 化合物 **13~16** 为首次从唐古特大黄中分离得到。化合物 **15~16** 具有较强的蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性。**关键词:** 唐古特大黄; 根; 化学成分; 分离鉴定; 蔗糖酶; 麦芽糖酶; 抑制活性
中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1528(2025)12-4011-08
doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2025.12.019

Chemical constituents from the roots of *Rheum tanguticum* and their sucrase and maltase inhibitory activity

WU Li^{1,2}, LI Jia-xin^{1,2}, LI Zhen^{1,2}, WANG Fei¹, ZHAO Xiao-hui¹, YUE Hui-lan^{1*}
(1. Qinghai Provincial Key Laboratory of Tibetan Medicine Research, CAS Key Laboratory of Tibetan Medicine Research, Northwest Institute of Plateau Biology, Xining 810008, China; 2. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

ABSTRACT: **AIM** To study the chemical constituents from the roots of *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf. and their inhibitory activity against sucrase and maltase. **METHODS** Separation and purification were performed using macroporous resin, silica gel, MCI and semi-preparative HPLC, then the structures of obtained compounds were identified by physicochemical properties and spectral data, and their inhibitory activity against sucrase and maltase was determined. **RESULTS** Twenty-one compounds were isolated and identified as chrysophanol (**1**)、chrysophanol 1-*O*- β -*D*-glucoside (**2**)、aloe emodin (**3**)、aloe emodin 8-*O*- β -*D*-glucoside (**4**)、emodin (**5**)、emodin 1-*O*- β -*D*-glucoside (**6**)、6-methoxyl nepodin 8-*O*-glucoside (**7**)、6-hydroxyl nepodin 8-*O*-glucoside (**8**)、rhein-8-*O*- β -*D*-glucoside (**9**)、(+)-catechin (**10**)、(-)-epicatechin-3-*O*-gallate (**11**)、4-(4'-hydroxyphenyl)-butan-2-one (**12**)、gallic acid (**13**)、1-*O*-galloyl- β -*D*-glucose (**14**)、gallic acid 4-*O*- β -*D*-(6'-*O*-galloyl)-glucoside (**15**)、1, 2, 6-tri-*O*-galloyl- β -*D*-glucopyranose (**16**)、4-(4'-hydroxyphenyl)-2-butanone-4'-*O*- β -*D*-glucoside (**17**)、lindleyin (**18**)、isolindleyin (**19**)、4-(4-hydroxyphenyl)-2-butanone 4'-*O*- β -*D*-(2, 6-di-*O*-galloyl) glucopyranoside (**20**)、resveratrol 4-*O*- β -*D*-glucoside (**21**)。IC₅₀ values of

收稿日期: 2025-05-07
基金项目: 国家自然科学基金项目 (31900298); 青海省中央引导地方科技发展资金专项 (2025ZY008)
作者简介: 伍 立 (1999—), 男, 硕士生, 从事天然药物化学研究。E-mail: 1453096189@qq.com
* 通信作者: 岳会兰 (1981—), 女, 博士, 研究员, 博士生导师, 从事天然药物化学研究。E-mail: hlyue@nwipb.cas.cn

compounds **15–16** against sucrase were 23.78, 14.67 $\mu\text{mol/L}$, and against maltase were 31.35, 25.56 $\mu\text{mol/L}$, respectively. **CONCLUSION** Compounds **13–16** are isolated from *R. tanguticum* for the first time. Compounds **15–16** have potent inhibitory activity against sucrase and maltase.

KEY WORDS: *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.; roots; chemical constituents; isolation and identification; sucrase; maltase; inhibitory activity

唐古特大黄 *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf. 为蓼科大黄属植物，是 2025 年版《中国药典》收载大黄的三种来源之一，主产于中国甘肃、青海和西藏海拔 1 600~3 000 m 的高山和山谷。《神农本草》记载，大黄具有清积、清热解毒的作用^[1]，存在于许多经典解渴方中，可用于治疗糖尿病^[2]。现代研究表明，蒽醌、蒽酮、二苯乙烯、葡萄糖没食子酸酯、单宁、色酮和苯丁酮是大黄植物的主要成分^[3]。课题组前期研究发现，唐古特大黄根对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶（蔗糖酶和麦芽糖酶）具有很强的抑制活性，可显著降低糖尿病小鼠的餐后血糖（postprandial blood glucose, PBG）^[4]。因此，本实验拟通过硅胶、MCI 柱、半制备 HPLC 分离技术，对活性部位进行系统分离纯化，并通过各种波谱技术对分离得到化合物进行结构鉴定，明确唐古特大黄活性部位中可降低餐后血糖的化学成分。选用动物来源的蔗糖酶和麦芽糖酶筛选体系，对分离得到单体化合物进行蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性筛选，计算抑制率较高的单体化合物的半数抑制浓度（half maximal inhibitory concentration, IC_{50} ），并分析构效关系，以期为唐古特大黄降低餐后血糖的应用提供理论依据。

1 材料

1.1 仪器 Agilent 12060 液相色谱仪（美国 Agilent 公司）；NP7005C 半制备高效液相色谱仪，Nucifera C₁₈M（10 mm×250 mm, 10 μm ）、Nucifera C₁₈A（10×250 mm, 10 μm ）色谱柱（江苏汉邦科技股份有限公司）；UPT-11-100L 超纯水仪（四川优普超纯科技有限公司）；AV III-600 核磁共振仪（美国 Bruker 公司）；N-1210BV-WB 旋转蒸发仪（日本 Eyela 公司）；ZF-20D 暗箱三用紫外分析仪 [骥辉分析仪器（上海）有限公司]；AG-204 分析天平（万分之一，瑞士 Mettler Toledo 公司）；KQ5200E 超声波清洗仪（昆山市超声仪器有限公司）；硅胶柱（100~200、200~300 目，青岛海洋化工有限公司）；AB-8 大孔树脂层析（南开大学化工厂）；MCI（北京泽平科技有限责任公司）；XCharge C₁₈（20 mm×250 mm, 5 μm ）、Megres C₁₈

（20 mm×250 mm, 10 μm ）、XAmide（20 mm×250 mm, 10 μm ）色谱柱（北京华谱新创科技有限公司）；Hedera ODS-2 色谱柱（20 mm×250 mm, 10 μm ）（美国赛默飞世尔科技公司）；XDB-C₁₈（9.4 mm×250 mm, 5 μm ）（美国 Agilent 公司）；Epoch2 酶标仪（美国 Bio Tek 公司）；BE9010 恒温振荡器（海门市其林贝尔仪器制造有限公司）；BTH-100 干式恒温器（杭州米欧仪器有限公司）。

1.2 药物与试剂 唐古特大黄于 2023 年 7 月购自青海西宁互助县，经中国科学院大学西北高原生物研究所梅丽娟教授鉴定为蓼科植物唐古特大黄 *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf. 的根，凭证标本存放于西北高原生物研究所植物标本馆。蔗糖、麦芽糖（北京索莱宝科技有限公司）；阿卡波糖（上海源叶生物科技有限公司）；蔗糖酶、麦芽糖酶（实验室大鼠小肠中提取）；PBS 缓冲液（上海吉至生化科技有限公司）；DMSO 溶剂（德国 Merck 公司）；葡萄糖检测液（上海荣盛生物药业股份有限公司）。

2 提取与分离

取唐古特大黄根 6.2 kg，粉碎后加入 75% 乙醇，提取 3 次，每次 3 h。合并提取液，旋转蒸发仪浓缩，得到粗提物（RTR）2.54 kg，将粗提物用纯水溶解后装入大孔树脂柱，分别用纯水及 30%、70%、90% 乙醇进行洗脱，洗脱液分别浓缩后得到纯水部位（RTR-W）、30% 乙醇部位（RTR-30E）、70% 乙醇部位（RTR-70E）、90% 乙醇部位（RTR-90E）。

RTR-W（606.28 g）经 95% 乙醇沉淀（除蛋白、果胶及部分多糖），上清液浓缩得提取物 43.3 g，经半制备 HPLC（Megres C₁₈ 色谱柱）分离，以乙腈-0.2% 甲酸水（0：100~25：75）梯度洗脱，得到 Fr. 1-1 ~ Fr. 1-9。Fr. 1-1 经半制备 HPLC（XAmide 色谱柱，流动相 90% 乙腈）分离，得化合物 **13**（11.3 mg, $t_{\text{R}} = 8 \text{ min}$ ）和 Fr. 1-1-2, Fr. 1-1-2 经半制备 HPLC（Nucifera C₁₈A 色谱柱，流动相水）分离，得到化合物 **14**（5.9 mg, $t_{\text{R}} = 5 \text{ min}$ ）。Fr. 1-2 经半制备 HPLC（Nucifera C₁₈A 色谱

柱,流动相 8% 乙腈) 分离,得 Fr. 1-2-1 ~ Fr. 1-2-3,再分别以 13%、14% 乙腈洗脱,均得到化合物 **10** (6.9 mg、4.4 mg, t_R = 13 min)。Fr. 1-4 经半制备 HPLC (Nucifera C₁₈A 色谱柱,流动相 10% 乙腈,0~60 min 的体积流量 10 mL/min) 分离,得到 Fr. 1-4-1 ~ Fr. 1-4-2,前者以 15% 乙腈纯化,得到化合物 **15** (3.3 mg); 后者以 10% 乙腈洗脱,同时富集到化合物 **17** (12.3 mg) 与 **15** (5.6 mg)。Fr. 1-5 经半制备 HPLC (XAmide 色谱柱,流动相 90% 乙腈) 分离,得 Fr. 1-5-2,再经半制备 HPLC (Nucifera C₁₈A 色谱柱,流动相 10% 乙腈) 纯化,得化合物 **16** (17.8 mg, t_R = 13 min)。Fr. 1-6 经半制备 HPLC (Nucifera C₁₈A 色谱柱,流动相 20% 乙腈) 分离,得化合物 **21** (5.6 mg, t_R = 15 min)。Fr. 1-7 经半制备 HPLC (Nucifera C₁₈A 色谱柱,流动相 15% 乙腈) 分离,得化合物 **10** (5.4 mg, t_R = 13 min)、**18** (7 mg, t_R = 15 min)、**11** (7.1 mg, t_R = 16 min)。Fr. 1-9 经半制备 HPLC (Nucifera C₁₈A 色谱柱,流动相 4% 乙腈) 分离,得化合物 **14** (9.6 mg, t_R = 5 min)。

RTR-30E (801.24 g) 经 200~300 目硅胶柱分离,以二氯甲烷-甲醇 (40 : 1~12 : 1) 梯度洗脱,得到 Fr. 2-1~Fr. 2-6。Fr. 2-6 经 MCI 柱 (流动相甲醇-水 0 : 1~1 : 0) 分离,得 Fr. 2-6-1~Fr. 2-6-8。Fr. 2-2 经 XCharge C₁₈ 柱 (流动相 20%~80% 乙腈) 分离,得化合物 **12** (29.9 mg, t_R = 19 min)、**2** (1 mg, t_R = 21 min)、**3** (13.5 mg, t_R = 27 min)、**5** (9.1 mg, t_R = 31 min)、**1** (8.7 mg, t_R = 35 min)。Fr. 2-4 经半制备 HPLC (XCharge C₁₈ 色谱柱,流动相 20%~40% 乙腈) 分离,得化合物 **2** (3.1 mg, t_R = 21 min)、**7** (12.9 mg, t_R = 13 min)、**18** (10.4 mg, t_R = 15 min)。Fr. 2-5 经半制备 HPLC (XCharge C₁₈ 色谱柱,流动相 16.1%~37.6% 乙腈) 分离,得 Fr. 2-5-6、Fr. 2-5-14, Fr. 2-5-6 经 XDB-C₁₈ 色谱柱 (流动相 24.5% 乙腈) 纯化,得化合物 **2** (1.3 mg, t_R = 21 min); Fr. 2-5-14 经 XDB-C₁₈ 色谱柱 (流动相 17% 乙腈) 分离,得化合物 **8** (9.4 mg, t_R = 18 min)。Fr. 2-6-1 经半制备 HPLC (XCharge C₁₈ 色谱柱,流动相 1% 乙腈) 分离,得化合物 **13** (11.2 mg, t_R = 8 min); Fr. 2-6-2 经 XCharge C₁₈ 色谱柱 (流动相 19% 乙腈) 分离,再经 HederaODS-2 色谱柱 (流动相 15% 乙腈) 分离,得化合物 **9** (6.3 mg, t_R = 19 min)。Fr. 2-6-3 经半制备 HPLC (XCharge C₁₈ 色谱柱,流动相 5% 乙腈)

分离,再经 HederaODS-2 色谱柱 (流动相 7% 乙腈) 分离,得化合物 **10** (5.8 mg, t_R = 13 min); Fr. 2-6-5 经 HederaODS-2 色谱柱 (流动相 9.5% 乙腈) 分离,得化合物 **21** (10.7 mg, t_R = 15 min)。Fr. 2-6-6 经半制备 HPLC (XCharge C₁₈ 色谱柱,流动相 20% 乙腈) 分离,再经 Nucifera C₁₈M 色谱柱 (流动相 13% 乙腈) 分离,得化合物 **19** (16.5 mg, t_R = 17 min); Fr. 2-6-7 经 XCharge C₁₈ 色谱柱 (流动相 20% 乙腈) 分离,再经 Nucifera C₁₈M 色谱柱 (流动相 15% 乙腈) 分离,得化合物 **4** (2.3 mg, t_R = 18 min)、**20** (2.7 mg, t_R = 19 min)。Fr. 2-6-8 经半制备 HPLC (Nucifera C₁₈M 色谱柱,流动相 18% 乙腈) 分离,得 Fr. 2-6-8-1、Fr. 2-6-8-2, Fr. 2-6-8-1 经 HederaODS-2 色谱柱 (流动相 20% 乙腈) 分离,得化合物 **6** (6.3 mg, t_R = 19 min); Fr. 2-6-8-2 经 XCharge C₁₈ 色谱柱 (流动相 27% 乙腈) 分离,得化合物 **2** (14.3 mg, t_R = 21 min)。

以半制备 HPLC 分离以上化合物时,除特殊说明外,流动相体积流量均为 4 mL/min,紫外检测波长均为 254、280 nm。

3 结构鉴定

化合物 **1**: 橙色粉末,ESI-MS m/z : 253.053 0 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ : 12.13 (1H, s, 1-OH), 12.02 (1H, s, 8-OH), 7.82 (1H, dd, J = 7.5, 1.1 Hz, H-5), 7.69~7.64 (2H, m, H-4, 6), 7.29 (1H, dd, J = 8.4, 1.0 Hz, H-7), 7.10 (1H, d, J = 0.6 Hz, H-2), 2.47 (3H, s, CH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ : 192.7 (C-9), 182.2 (C-10), 162.9 (C-1), 162.6 (C-8), 149.5 (C-3), 137.1 (C-6), 133.8 (C-14), 133.4 (C-11), 124.7 (C-7), 124.5 (C-2), 121.5 (C-4), 120.0 (C-5), 116.0 (C-12), 113.9 (C-13), 22.4 (CH₃)。以上数据与文献 [5] 报道基本一致,故鉴定为 chrysophanol。

化合物 **2**: 黄色粉末,ESI-MS m/z : 415.105 7 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 7.76~7.64 (2H, m, H-5, 6), 7.61 (1H, s, H-7), 7.30 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-2), 5.09 (1H, d, J = 7.7 Hz, H-1'), 3.96~3.42 (6H, m, H-2'~5', 6a', 6b'), 2.51 (3H, s, CH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 187.7 (C-9), 182.1 (C-10), 161.4 (C-8), 158.4 (C-1), 147.4 (C-3), 136.2 (C-6), 134.4 (C-4a), 132.5 (C-10a), 124.3 (C-7), 122.7 (C-2), 121.3 (C-4), 118.3 (C-5, 9a),

116.8 (C-8a), 100.5 (C-1'), 77.3 (C-3'), 76.6 (C-5'), 73.3 (C-2'), 69.6 (C-4'), 60.6 (C-6'), 21.8 (CH₃)。以上数据与文献 [6] 报道基本一致, 故鉴定为 chrysophanol 1-*O*-β-*D*-glucoside。

化合物 3: 红色粉末, ESI-MS m/z : 269.047 6 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 11.88 (2H, s, H-1, 8), 7.76 (1H, t, $J=7.9$ Hz, H-5), 7.65 (1H, d, $J=7.4$ Hz, H-4), 7.33 (1H, d, $J=8.3$ Hz, H-5), 7.24 (1H, s, H-2), 5.58 (1H, s, H-7), 4.60 (s, CH₃OH)。¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 191.6 (C-9), 181.3 (C-10), 161.6 (C-8), 161.3 (C-1), 153.7 (C-3), 137.3 (C-6), 133.2 (C-4a), 133.0 (C-10a), 124.3 (C-2), 120.6 (C-5), 119.3 (C-4), 117.1 (C-8a), 115.8 (C-9a), 62.1 (CH₃OH)。以上数据与文献 [7] 报道基本一致, 故鉴定为 aloe emodin。

化合物 4: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 431.100 7 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.50 (1H, s, H-4), 7.12 (1H, s, H-5), 7.04 (1H, s, H-2), 6.52 (1H, s, H-7), 2.41 (3H, s, Ar-CH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 191.8 (C-9), 183.1 (C-10), 167.2 (C-3), 166.6 (C-1), 163.5 (C-8), 149.7 (C-6), 136.8 (C-4a), 134.6 (C-10a), 125.2 (C-7), 121.7 (C-5), 114.8 (C-8a), 110.5 (C-9a), 110.1 (C-4), 109.0 (C-2), 22.0 (CH₃)。以上数据与文献 [8] 报道基本一致, 故鉴定为 aloe emodin 8-*O*-β-*D*-glucoside。

化合物 5: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 269.047 8 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.50 (1H, s, H-4), 7.12 (1H, s, H-5), 7.04 (1H, s, H-2), 6.52 (1H, s, H-7), 2.41 (3H, s, CH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 191.8 (C-9), 183.1 (C-10), 167.2 (C-3), 166.6 (C-1), 163.5 (C-8), 149.7 (C-6), 136.8 (C-4a), 134.6 (C-10a), 125.2 (C-7), 121.7 (C-5), 114.8 (C-8a), 110.5 (C-9a), 110.1 (C-4), 109.0 (C-2), 22.0 (CH₃)。以上数据与文献 [6] 报道基本一致, 故鉴定为 emodin。

化合物 6: 橙色粉末, ESI-MS m/z : 431.100 5 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 7.68 (1H, s, H-4), 7.52 (1H, s, H-2), 7.02 (1H, s, H-5), 6.50 (1H, s, H-7), 5.09 (1H, d, $J=7.4$ Hz, H-1'), 3.72 (1H, d, $J=11.4$ Hz, H-6'b), 3.58~3.36 (3H, m, H-3'~5'), 2.45 (3H, s,

CH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 185.6 (C-9), 182.4 (C-10), 166.3 (C-8), 164.8 (C-6), 158.3 (C-1), 146.3 (C-3), 134.4 (C-10a), 134.0 (C-4a), 123.5 (C-2), 121.6 (C-4), 118.7 (C-9a), 109.4 (C-8a), 108.3 (C-5), 101.0 (C-1'), 77.4 (C-2'), 76.5 (C-3'), 73.4 (C-5'), 69.6 (C-4'), 60.7 (C-6'), 21.7 (CH₃)。以上数据与文献 [9] 报道基本一致, 故鉴定为 emodin 1-*O*-β-*D*-glucoside。

化合物 7: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 407.137 4 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.02 (1H, d, $J=12.0$ Hz, H-4), 6.83 (1H, s, H-5), 5.10 (1H, d, $J=7.8$ Hz, H-1'), 3.95~3.44 (6H, m, H-2'~5', 6a', 6b'), 3.87 (3H, s, OCH₃), 2.59 (3H, s, COCH₃), 2.29 (3H, s, CH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 208.1 (CO), 160.4 (C-6), 157.2 (C-8), 153.7 (C-1), 139.2 (C-3), 135.5 (C-10), 124.0 (C-2), 120.3 (C-4), 110.3 (C-9), 104.4 (C-7), 104.3 (C-5), 102.5 (C-1'), 78.8 (C-3'), 78.1 (C-5'), 74.9 (C-2'), 71.3 (C-4'), 62.4 (C-6'), 56.0 (OCH₃), 32.6 (COCH₃), 20.2 (CH₃)。以上数据与文献 [6] 报道基本一致, 故鉴定为 6-methoxyl nepodin 8-*O*-glucoside。

化合物 8: 淡黄色粉末, ESI-MS m/z : 393.121 4 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 6.97 (1H, d, $J=2.2$ Hz, H-7), 6.91 (1H, s, H-4), 6.70 (1H, d, $J=2.1$ Hz, H-5), 5.09 (1H, d, $J=7.8$ Hz, H-1'), 3.99~3.32 (6H, m, H-2'~5', 6a', 6b'), 2.59 (3H, s, COCH₃), 2.28 (3H, s, CH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 208.2 (CO), 158.2 (C-6), 157.4 (C-8), 154.1 (C-1), 139.5 (C-3), 135.3 (C-10), 123.1 (C-2), 119.7 (C-4), 109.6 (C-9), 105.4 (C-7), 104.4 (C-1'), 78.8 (C-6'), 78.2 (C-5'), 74.1 (C-2'), 71.2 (C-4'), 62.4 (C-6'), 32.6 (COCH₃), 20.3 (CH₃)。以上数据与文献 [6] 报道基本一致, 故鉴定为 6-hydroxyl nepodin 8-*O*-glucoside。

化合物 9: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 445.079 6 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, Pyr) δ: 8.35 (1H, s, H-4), 8.06 (1H, dd, $J=20.7, 8.0$ Hz, H-6), 7.67 (1H, t, $J=8.0$ Hz, H-5), 7.59 (1H, s, H-7), 5.88 (1H, d, $J=7.6$ Hz, H-1'), 4.62~4.21 (6H, m, H-2'~5', 6a', 6b'); ¹³C-NMR (150 MHz, Pyr) δ: 182.7 (C-9), 163.1 (COO), 160.1 (C-

8), 158.2 (C-1), 136.8 (C-3, 6), 136.5~135.4 (C-4a), 134.0 (C-10a), 125.8 (C-2), 124.7~123.0 (C-7), 122.1 (C-5), 121.8 (C-4), 120.2 (C-8a), 112.0 (C-9a), 103.1 (C-1'), 79.9 (C-3'), 79.0 (C-5'), 75.4 (C-2'), 71.6 (C-4'), 62.9 (C-6')。以上数据与文献 [6] 报道基本一致, 故鉴定为 *rhein-8-O-β-D-glucoside*。

化合物 10: 白色粉末, ESI-MS m/z : 289.074 3 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 6.84 (1H, d, J =1.7 Hz, H-2'), 6.76 (1H, d, J =8.1 Hz, H-5'), 6.72 (1H, dd, J =8.1, 1.7 Hz, H-6'), 5.93 (1H, d, J =2.2 Hz, H-6), 5.86 (1H, d, J =2.2 Hz, H-8), 4.57 (1H, d, J =7.5 Hz, H-2), 3.98 (1H, td, J =7.8, 5.7 Hz, H-3), 2.85 (1H, dd, J =16.1, 5.4 Hz, H-4a), 2.51 (1H, dd, J =16.1, 8.2 Hz, H-4b); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 157.9 (C-9), 157.6 (C-7), 156.9 (C-5), 146.3 (C-3'), 132.2 (C-1'), 120.0 (C-6'), 116.1 (C-5'), 115.3 (C-2'), 100.8 (C-10), 96.3 (C-6), 95.5 (C-8), 82.9 (C-2), 68.8 (C-3), 28.5 (C-4)。以上数据与文献 [10] 报道基本一致, 故鉴定为 (+) -catechin。

化合物 11: 白色粉末, ESI-MS m/z : 441.085 4 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 6.97~6.90 (3H, m, H-2'', 6'', 2'), 6.81 (1H, dd, J =8.2, 1.9 Hz, H-6'), 6.70 (1H, d, J =8.2 Hz, H-5'), 5.96 (2H, d, J =1.2 Hz, H-6, 8), 5.58~5.45 (1H, m, H-3), 5.03 (1H, s, H-2), 3.00 (1H, dd, J =17.3, 4.6 Hz, H-4a), 2.85 (1H, dd, J =17.4, 2.2 Hz, H-4b); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 168.1 (CO), 157.1 (C-5, 7), 146.6 (C-3''), 139.9 (C-4''), 130.2 (C-1'), 121.4 (C-1''), 117.8 (C-6'), 110.3 (C-2''), 102.4 (C-10), 78.1 (C-2), 72.1 (C-3), 30.0 (C-4)。以上数据与文献 [6] 报道基本一致, 故鉴定为 (-) -epicatechin-3-O-gallate。

化合物 12: 红色粉末, ESI-MS m/z : 163.078 5 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.00 (2H, d, J =8.5 Hz, H-2, 6), 6.70 (2H, d, J =8.5 Hz, H-3, 5), 2.74 (2H, dd, J =8.3, 4.9 Hz, H-7, 8), 2.11 (1H, s, H-10); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 211.4 (C-9), 156.6 (C-4), 133.1 (C-1), 130.2 (C-2, 6), 116.2 (C-3, 5), 46.2 (C-8), 30.0 (C-10)。以上数据与文献 [11] 报道基

本一致, 故鉴定为 4- (4'-hydroxyphenyl) -butan-2-one。

化合物 13: 白色粉末, ESI-MS m/z : 169.016 7 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.06 (2H, s, H-2, 6); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 170.4 (CO), 146.4 (C-3, 5), 139.6 (C-4), 121.9 (C-1), 110.3 (C-2, 6)。以上数据与文献 [12] 报道基本一致, 故鉴定为 gallic acid。

化合物 14: 白色粉末, ESI-MS m/z : 331.069 6 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, D₂O) δ: 7.23 (2H, s, H-2, 6), 5.75 (1H, d, J =7.0 Hz, H-6'), 3.92~3.51 (5H, m, H-1'~5'); ¹³C-NMR (150 MHz, D₂O) δ: 166.5 (COO), 144.5 (C-3), 139.0 (C-4), 119.3 (C-1), 110.4 (C-2), 94.4 (C-1'), 76.8 (C-5'), 75.4 (C-2'), 69.1 (C-4'), 60.4 (C-6')。以上数据与文献 [13] 报道基本一致, 故鉴定为 1-O-galloyl-β-D-glucose。

化合物 15: 白色粉末, ESI-MS m/z : 483.080 3 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.12 (2H, s, H-2, 6), 7.07 (2H, s, H-2', 6'), 4.72 (1H, d, J =7.9 Hz, H-6''), 4.43 (1H, dd, J =12.1, 5.2 Hz, H-6''); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 169.7 (COO), 168.3 (COO), 151.4 (C-3, 5), 146.5 (C-3', 5'), 140.0 (C-4'), 138.2 (C-4), 129.5 (C-1), 121.3 (C-1'), 110.4 (C-2, 6), 107.4 (C-1''), 77.5 (C-3''), 76.5 (C-5''), 75.0 (C-2''), 71.1 (C-4''), 64.3 (C-6'')。以上数据与文献 [14] 报道基本一致, 故鉴定为 gallic acid 4-O-β-D- (6'-O-galloyl) -glucoside。

化合物 16: 棕色粉末, ESI-MS m/z : 635.091 1 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.05 (2H, s, H-2', 6'), 6.96 (1H, s, H-3'''), 5.87 (1H, d, J =8.4 Hz, H-1), 5.17 (1H, t, J =9.0 Hz, H-4), 4.52 (1H, d, J =11.4 Hz, H-6a), 4.42 (1H, dd, J =12.0, 4.5 Hz, H-6b), 3.78 (1H, t, J =9.3 Hz, H-3), 3.62 (1H, t, J =9.4 Hz, H-2); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 168.2 (C-7''), 167.6 (C-7''), 166.5 (C-7'), 146.6~146.3 (C-3', 5'), 140.6 (C-4'), 140.0 (C-5''), 121.0 (C-1'), 120.0 (C-2''), 110.5 (C-2', 6'), 94.1 (C-1), 76.6 (C-4), 75.9 (C-3), 74.2 (C-2), 71.3 (C-5), 64.2 (C-6)。以上数据与文献 [15] 报道基本一致, 故鉴定为 1, 2, 6-tri-O-galloyl-β-D-glucopyranose。

化合物 **17**: 棕色粉末, ESI-MS m/z : 325.131 5 $[M-H]^-$ 。 1H -NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.13 (2H, d, $J=8.5$ Hz, H-7, 9), 7.02 (2H, d, $J=8.5$ Hz, H-6, 10), 4.86 (1H, s, H-1'), 3.90~3.32 (6H, m, H-2'~5', 6a', 6b'), 2.86~2.67 (2H, m, H-3, 4), 2.13 (1H, s, H-1); ^{13}C -NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 211.0 (C-2), 157.5 (C-8), 136.4 (C-5), 130.2 (C-6, 10), 117.8 (C-7, 9), 102.5 (C-1'), 78.0 (C-5'), 74.9 (C-2'), 71.4 (C-4'), 62.5 (C-6'), 46.0 (C-4), 30.0 (C-1, 3)。以上数据与文献 [16] 报道基本一致, 故鉴定为 4-(4'-hydroxyphenyl)-2-butanone-4'-O- β -D-glucoside。

化合物 **18**: 无色粉末, ESI-MS m/z : 475.163 6 $[M-H]^-$ 。 1H -NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.11 (2H, s, H-2'', 6''), 6.95 (2H, dd, $J=24.5, 8.4$ Hz, H-3', 5'), 4.82 (1H, d, $J=6.9$ Hz, H-1''), 4.58 (1H, d, $J=11.4$ Hz, H-6a''), 4.42 (1H, dd, $J=11.6, 8.1$ Hz, H-6b''), 3.75~3.35 (4H, s, H-2''~5''), 2.78~2.66 (2H, m, H-3, 4), 2.12 (1H, s, H-1); ^{13}C -NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 210.2 (C-2), 166.8 (C-7''), 155.8 (C-4'), 145.1 (C-3'', 5''), 128.8 (C-2', 6'), 116.4 (C-3', 5'), 76.7 (C-5''), 73.5 (C-4''), 63.6 (C-6''), 47.2 (C-4), 28.6 (C-1, 3)。以上数据与文献 [6] 报道基本一致, 故鉴定为 lindleyin。

化合物 **19**: 无色粉末, ESI-MS m/z : 477.143 0 $[M-H]^-$ 。 1H -NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.14~6.99 (4H, m, H-2'', 6'', 2', 6'), 6.88 (2H, d, $J=8.1$ Hz, H-3', 5'), 5.12 (2H, dd, $J=15.6, 8.4$ Hz, H-1'', 2''), 3.95~3.53 (4H, m, 4H, H-3''~6''), 2.75 (2H, dd, $J=13.2, 5.5$ Hz, H-3, 4), 2.10 (1H, s, H-1); ^{13}C -NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 211.1 (C-2), 167.6 (C-7''), 157.4 (C-4'), 146.5 (C-3'', 5''), 139.9 (C-4''), 136.8 (C-1'), 130.3 (C-2'', 6''), 121.4 (C-1''), 118.1 (C-3', 5'), 110.3 (C-2'', 6''), 101.4 (C-1''), 76.2 (C-5''), 75.3 (C-2''), 71.6 (C-4''), 62.5 (C-6''), 30.7 (C-3), 29.9 (C-1)。以上数据与文献 [17] 报道基本一致, 故鉴定为 isolindleyin。

化合物 **20**: 无色粉末, ESI-MS m/z : 629.153 8 $[M-H]^-$ 。 1H -NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.09 (2H, s, H-2', 6'), 6.95 (2H, d, $J=8.2$ Hz, H-3', 5'), 6.82 (2H, d, $J=8.2$ Hz, H-3'', 5''),

4.64 (1H, d, $J=11.1$ Hz, H-6b''), 4.47 (1H, dd, $J=11.5, 7.7$ Hz, H-6a''), 3.35~3.85 (4H, m, H-2''~5''), 2.71 (2H, d, $J=5.1$ Hz, H-3, 4), 2.11 (1H, s, H-1); ^{13}C -NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 211.4 (C-2), 169.8 (CO), 167.6 (C-4''), 157.1 (C-4'), 136.8 (C-1'), 130.3 (C-2', 6'), 121.4 (C-1''), 118.1 (C-3', 5'), 101.2 (C-1''), 76.3 (C-3''), 75.8 (C-2''), 75.2 (C-5''), 72.2 (C-4''), 64.8 (C-6''), 45.8 (C-3), 30.0 (C-1)。以上数据与文献 [6] 报道基本一致, 故鉴定为 4-(4-hydroxyphenyl)-2-butanone 4'-O- β -D-(2, 6-di-O-galloyl) glucopyranoside。

化合物 **21**: 白色粉末, ESI-MS m/z : 389.126 2 $[M-H]^-$ 。 1H -NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.45 (2H, d, $J=8.4$ Hz, H-2', 6'), 7.08 (2H, d, $J=8.4$ Hz, H-3', 5'), 6.47 (2H, s, H-2, 6), 6.18 (1H, s, H-4), 4.93 (1H, d, $J=6.8$ Hz, H-1''), 3.91 (1H, d, $J=11.8$ Hz, H-6b''), 3.71 (1H, dd, $J=12.0, 5.4$ Hz, H-6a''), 3.44 (4H, dd, $J=35.1, 5.9$ Hz, H-2''~5''); ^{13}C -NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 159.7 (C-3, 5), 158.7 (C-4'), 141.0 (C-1), 133.2 (C-1'), 117.9 (C-3', 5'), 102.9 (C-4), 102.2 (C-1''), 78.2 (C-5''), 78.0 (C-3''), 74.9 (C-2''), 71.4 (C-4''), 62.5 (C-6'')。以上数据与文献 [18] 报道基本一致, 故鉴定为 resveratrol 4-O- β -D-glucoside。

4 蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性研究

参考文献 [19] 方法, 设置实验组、本底组、对照组和空白组, 实验组将 50 μ L 样品溶液 (2 mmol/L) 和 50 μ L 蔗糖酶液 (PBS: 蔗糖酶=8:1)/麦芽糖酶液 (PBS: 麦芽糖酶=4:1) 加入 48 孔板, 37 $^{\circ}C$ 预孵育 10 min, 再加入 50 μ L 50 mmol/L 蔗糖溶液或 1 mmol/L 麦芽糖溶液, 37 $^{\circ}C$ 孵育 20 min, 立即放入 90 $^{\circ}C$ 以上水浴锅中煮 15 min, 降低酶活性, 最后加入葡萄糖检测液, 通过酶标仪在 505 nm 波长处测定吸光度, 计算样品对蔗糖酶/麦芽糖酶的抑制率, 公式为抑制率 = $[1 - (A_{\text{实验组}} - A_{\text{本底组}}) / (A_{\text{对照组}} - A_{\text{空白组}})] \times 100\%$ 。本底组的蔗糖或葡萄糖溶液、对照组的样品溶液用等体积 PBS 代替, 空白组为 PBS, 以阿卡波糖为阳性药。

由图 1 可知, 化合物 **10~16** 和 **18~21** 对蔗糖酶的抑制率均在 50% 以上, 其中化合物 **11**、**13~16**、**18**、**19** 的抑制率达到了 80% 以上, 化合物 **1~**

9 和 17 的抑制率均在 50% 以下。进一步对抑制率达大于 50% 化合物的 IC₅₀ 值进行测定, 结果见表 1, 可知化合物 15~16 抑制效果最好, IC₅₀ 值分别为 23.78、14.67 μmol/L。

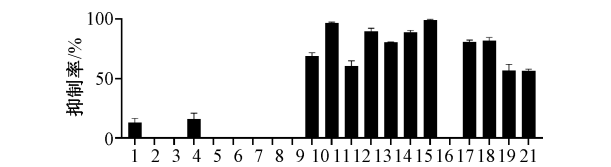


图 1 各化合物对蔗糖酶活性的影响

Fig. 1 Effects of various compounds on sucrase

表 1 各化合物 IC₅₀ 值 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

Tab. 1 IC₅₀ values of various compounds ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

化合物	IC ₅₀ / (μmol·L ⁻¹)
10	>50
11	>50
12	>100
13	>50
14	>100
15	23.78±7.45
16	14.67±0.98
18	>50
19	>50
20	>100
21	>100
阿卡波糖	0.76±0.07

化合物 20 由于产量不足, 未能进行麦芽糖酶活性研究。由图 2 可知, 化合物 10~11、13~16、18~19 和 21 的抑制率均在 50% 以上。进一步对抑制率达大于 50% 的化合物进行 IC₅₀ 值的测定, 结果见表 2, 可知化合物 15~16 抑制效果最好, IC₅₀ 值分别为 31.35、25.56 μmol/L。

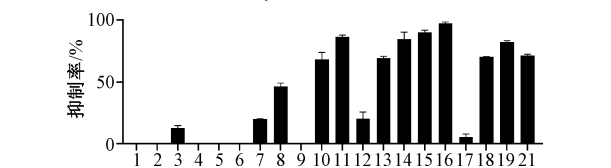


图 2 各化合物对麦芽糖酶活性的影响

Fig. 2 Effects of various compounds on maltase

表 2 各化合物 IC₅₀ 值 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

Tab. 2 IC₅₀ values of various compounds ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

化合物	IC ₅₀ / (μmol·L ⁻¹)
10	>50
11	30.91±4.24
13	>100
14	>50
15	31.35±1.23
16	25.56±0.74
19	>50
21	>50
阿卡波糖	1.16±0.02

5 讨论与结论

体外蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性筛选发现, 黄烷类、葡萄糖没食子酸酯类、苯丁酮类和二苯乙烯类均具有很强的蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性, 尤其是葡萄糖没食子酸酯 (15~16) 的活性最突出; 对于葡萄糖没食子酸类成分 (14~16), 随着分子中没食子酸结构单元不断增加, 蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性不断增强。课题组前期研究证实, 不同没食子酸取代糖苷类成分具有很强的蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性, 该类成分随着外围没食子酸取代数量的增加, 体内外活性逐渐增强^[20]。苯丁酮类成分莲花掌苷和异莲花掌苷 (18~19) 同样具有较强的蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性。

本研究从唐古特大黄根中分离得到 21 个化合物, 包括蒽醌类、黄烷类、苯丁酮类、葡萄糖没食子酸酯类及二苯乙烯类, 其中黄烷类、葡萄糖没食子酸酯、苯丁酮类和二苯乙烯类的蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性较强, 表明这几类成分是唐古特大黄根中降低餐后血糖的主要活性成分, 且没食子酸是这几类成分的蔗糖酶和麦芽糖酶抑制活性的关键起效单元。本研究结果为阐明唐古特大黄的降低餐后血糖药效物质基础提供了科学依据, 并为后续基于天然产物的抗糖尿病药物开发提供了参考。

参考文献:

[1] Pham D Q, Ba D T, Dao N T, et al. Antimicrobial efficacy of extracts and constituents fractionated from *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf. rhizomes against phytopathogenic fungi and bacteria[J]. *Ind Crops Prod*, 2017, 108: 442-450.

[2] Gao L L, Guo T, Xu X D, et al. Rapid identification and simultaneous analysis of multiple constituents from *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf. by UPLC/Q-TOF-MS[J]. *Nat Prod Res*, 2017, 31(13): 1529-1535.

[3] Hong X, Zuo J X, Guo F Y, et al. What we already know about rhubarb: a comprehensive review[J]. *Chin Med*, 2020, 15: 88.

[4] Yue H L, Jiang S R, Wang L Y, et al. Hypoglycemic ingredients identification of *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf. by UHPLC-triple-TOF-MS/MS and interrelationships between ingredients content and glycosidase inhibitory activities[J]. *Ind Crops Prod*, 2022, 178: 0926-6690.

[5] Badr J M, Mill A G, Nyberg J A. Chemical constituents of *Phragmanthera austroarabica* with potent antioxidant activity[J]. *Pharmacognosy Res*, 2014, 7(4): 335-340.

[6] 高亮亮. 唐古特大黄、药用大黄和掌叶大黄的化学成分和生物活性研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2012.

[7] 徐 庆, 覃永俊, 苏小建, 等. 掌叶大黄化学成分研究[J].

中草药, 2009, 40(4): 533-536.

[8] 张创峰, 沈 硕, 宋联强, 等. 连花清瘟胶囊的化学成分研究 (II) [J]. 中草药, 2018, 49(14): 3222-3225.

[9] Liang C, Kjaerulff L, Hansen P R, *et al.* Dual high-resolution α -glucosidase and PTP1B inhibition profiling combined with HPLC-PDA-HRMS-SPE-NMR analysis for the identification of potentially antidiabetic chromene meroterpenoids from *Rhododendron capitatum*[J]. *J Nat Prod*, 2021, 84 (9): 2454-2467.

[10] Su X D, Ali I, Aroo J M, *et al.* Chemical constituents from *Sanguisorba officinalis* L. and their inhibitory effects on LPS-stimulated pro-inflammatory cytokine production in bone marrow-derived dendritic cells[J]. *Arch Pharm Res*, 2018, 41 (5): 497-505.

[11] 米承能, 梅文莉, 袁靖喆, 等. 丝沉香化学成分研究 (英文) [J]. 中国药学, 2021, 30(6): 505-517.

[12] 胡红宇, 杨 郁, 于能江, 等. 牡丹皮化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(21): 1793-1795.

[13] Kashiwada Y, Nonaka G C, Nishioka I. Tannins and related compounds. XLVII. Rhubarb. (6). Isolation and characterization of new *p*-hydroxyphenylbutanones, stilbenes and gallic acid glucosides[J]. *Chem Pharm Bull*, 1986, 34(8): 3237-3243.

[14] Kim H J, Kim M K, Shim J G, *et al.* Anti-oxidative phenolic compounds from *Sophorae Fructus*[J]. *Nat Prod Sci*, 2004, 10: 330-334.

[15] Chen M, Li N, Zhu H T, *et al.* New hydrolyzable tannin with potent antioxidant and α -glucosidase inhibitory activity from black tea produced from *Camellia taliensis*[J]. *Foods*, 2023, 12(13): 2512.

[16] Lou Y Y, Xu T, Cao H Q, *et al.* Natural antioxidants, tyrosinase and acetylcholinesterase inhibitors from *Cercis glabra* leaves[J]. *Molecules*, 2022, 27(24): 8667.

[17] Gao L L, Xu X D, Nang H J, *et al.* Isolation of cinnamic acid derivatives from the root of Rheum Tanguticum Maxim. ex Balf. and its significance[J]. *J Med Plants Res*, 2012, 6 (5): 929-931.

[18] Fan W, Tezuka Y, Kadota S. Prolyl endopeptidase inhibitory activity of fourteen Kampo formulas and inhibitory constituents of Tokaku-joki-to [J]. *Chem Pharm Bull*, 2000, 48 (7): 1055-1061.

[19] Zhang B, Li X, Sun W, *et al.* Dietary flavonoids and acarbose synergistically inhibit α -glucosidase and lower postprandial blood glucose[J]. *J Agric Food Chem*, 2017, 65: 8319-8330.

[20] Liu L Y, Jia W J, Jiang S R, *et al.* Inhibitory activities and rules of plant gallotannins with different numbers of galloyl moieties on sucrase, maltase and α -amylase *in vitro* and *in vivo*[J]. *Phytomedicine*, 2023, 120: 155063.

基于 LC-MS/MS 与 HPLC 比较木瓜属植物果实化学成分

黄 雨, 熊乐文, 刘静波, 宋小琛, 陈艳丽, 张永清*
(山东中医药大学, 山东 济南 250355)

摘要: **目的** 比较木瓜属 5 种植物果实的化学成分差异。**方法** LC-MS/MS 分析成分种类, 采用 HALO C₁₈ 色谱柱 (2.1 mm×100 mm, 2.7 μ m); 流动相水 (含 0.1% 甲酸) -乙腈 (含 0.1% 甲酸), 梯度洗脱; 体积流量 0.3 mL/min; 柱温 30 $^{\circ}$ C; 加热电喷雾离子源; 正负离子扫描。HPLC 测定 12 种活性成分含量, 采用 Synchronis C₁₈ 色谱柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μ m); 流动相水 (含 0.1% 磷酸) -乙腈, 梯度洗脱; 体积流量 1.0 mL/min; 柱温 30 $^{\circ}$ C; 检测波长 280 nm。采用主成分分析、正交偏最小二乘判别分析确定差异成分。**结果** 共鉴定出 50 种成分, 12 种活性成分含量差异显著, 皱皮木瓜的成分种类及活性成分总含量最高, 芦丁、绿原酸和表儿茶素是区分木瓜属植物的差异性指标成分。**结论** 木瓜属 5 种植物果实化学成分种类与含量具有明显差异, 能否作为木瓜药材应用仍需继续深入研究。

关键词: 木瓜; 皱皮木瓜; 毛叶木瓜; 日本木瓜; 西藏木瓜; 化学成分; LC-MS/MS; HPLC; 主成分分析; 正交偏最小二乘判别分析

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-1528(2025)12-4018-10
doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2025.12.020

收稿日期: 2025-06-17
基金项目: 中央引导地方科技发展专项资金项目 (YDZX2022139); 山东省高等学校中药质量控制与全产业链建设协同创新中心项目 (CYLXTCX2021-15)
作者简介: 黄 雨 (2000—), 女, 硕士生, 研究方向为中药资源。Tel: 18353430893, E-mail: 18353430893@163.com
* 通信作者: 张永清 (1962—), 男, 博士, 教授, 研究方向为中药资源与质量控制。Tel: 13969053200, E-mail: zyq622003@126.com