

凤庆滇红茶茶毫的化学成分*

付一凡¹, 黄鑫², 王焱¹, 张艳江¹, 崔清雅¹, 唐贵华¹

1. 中山大学药学院, 广东 广州 510006

2. 中山大学网络空间安全学院, 广东 深圳 518107

摘要: 对凤庆滇红茶茶毫的化学成分进行了研究。采用硅胶、Sephadex LH-20 凝胶、C₁₈ 反相、D101 型大孔吸附树脂等柱色谱以及半制备高效液相色谱从凤庆滇红茶茶毫的 $\varphi = 95\%$ 乙醇提取物的乙酸乙酯部位中分离得到 10 个单体成分。它们的结构经过核磁共振、质谱、圆二色谱等波谱学方法分析分别鉴定为咖啡因(1)、没食子酸(2)、山柰酚(3)、表儿茶素(4)、儿茶素(5)、异槲皮苷(6)、表儿茶素没食子酸酯(7)、pyrrolidinone H(8)、槲树苷(9) 和山柰酚-3-*O*-(2,6-二-*O*-反式-对-香豆酰基)- β -D-吡喃葡萄糖苷(10)。初步的含量分析表明咖啡因的含量较高, 占茶毫干质量的 0.64%, 茶多酚类成分含量占比达到茶毫干质量的 0.03%, 表明凤庆滇红茶茶毫值得深入开发。

关键词: 滇红茶; 茶毫; 化学成分; 咖啡因; 茶多酚

中图分类号: O629.9 文献标志码: A 文章编号: 2097-0137(2026)01-0111-05

Chemical components of tea trichomes of Yunnan black tea

FU Yifang¹, HUANG Xin², WANG Yan¹, ZHANG Yanjiang¹, CUI Qingya¹, TANG Guihua¹

1. School of Pharmaceutical Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China

2. School of Cyber Science and Technology, Sun Yat-sen University, Shenzhen 518107, China

Abstract: This paper investigates the chemical constituents of Yunnan black tea trichomes from Fengqing county. Using various chromatographic techniques including silica gel, Sephadex LH-20, C₁₈ reverse-phase, D101 macroporous adsorption resin column chromatography, and semi-preparative HPLC, ten compounds were isolated from the ethyl acetate fraction of a 95% ethanol extract of Yunnan black tea trichomes. Their structures were identified via spectroscopic methods (NMR, MS, and ECD) as: Caffeine (1), gallic acid (2), kaempferol (3), epicatechin (4), (+)-catechin (5), isoquercitrin (6), (-)-epicatechin-3-gallate (7), pyrrolidinone H (8), tiliroside (9), kaempferol-3-*O*-[2,6-di-*O*-(*E*)-*p*-coumaroyl]- β -D-glucopyranoside (10), respectively. Preliminary content analysis indicated a relatively high caffeine content (0.64% of dry weight), while tea polyphenols accounted for 0.03% of dry weight, suggesting Yunnan black tea trichomes warrants further development.

Key words: Yunnan black tea; tea trichome; chemical component; caffeine; tea polyphenols

茶毫(tea trichome)作为茶叶幼嫩芽叶背面的表皮茸毛,是评价鲜叶嫩度的关键形态指标(宋亚康等,2017)。根据《中国茶叶词典》的植物形态学定义,茸毛(leaf trichome)特指嫩芽和嫩叶背面表皮

细胞向外突出的单细胞覆盖物。从结构特征来看,茶叶茸毛即茶毫,其丝状柔毛型特性已成为茶树的重要形态特征(尹鹏等,2016)。研究表明,茶毫中高度积累和表达的防御性代谢产物及抗虫、抗微生物

* 收稿日期:2025-07-10 录用日期:2025-07-30 网络首发日期:2025-09-23
基金项目:广州市科技计划项目(2024B03J1322);广东省科技计划项目(2023A1111120025)
作者简介:付一凡(2003年生),女;研究方向:天然药物化学;E-mail: fuyf9@mail2.sysu.edu.cn
通信作者:唐贵华(1983年生),男;研究方向:天然药物化学;E-mail: tanggh5@mail.sysu.edu.cn

全文阅读



ZR20250124

物基因,使其具备显著的物理和生化防御功能(Li et al., 2020)。值得注意的是,这种保护机制仅是茶毫生理功能的一个方面。Li et al. (2020)进一步证实,茶毫还能合成大量茶叶特有的次级代谢产物,包括茶多酚类、咖啡因等关键风味物质,以及多种氨基酸和挥发性成分,这些物质共同构成了茶叶独特的风味特征。这种双重功能机制表明,茶毫既是茶树的重要防御器官,又是茶叶品质形成的关键因素。云南凤庆县地理标志产品滇红茶的核心品质特征源于其茶多酚成分,该物质通过氧化反应形成茶黄素等产物,直接决定了红茶特有的汤色、滋味和香气。更重要的是,现代研究发现茶多酚及其氧化物具有抗氧化、抗炎等生理活性,这为开发具有健康功效的功能性红茶产品提供了科学依据,推动传统红茶饮品向健康食品领域升级发展。基于上述背景,本研究选取滇红茶茶毫进行化学成分探究,为滇红茶的特征性化学成分研究提供科学依据。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

液相色谱-飞行时间质谱联用仪(Shimadzu); Chirascan 型圆二色谱仪(Applied Photophysics); Avance III-400 和 Ascend TM-500 MHz 核磁共振波

谱仪(Bruker); CA-1330 冷却水循环装置(EYELA); N-1300 旋转蒸发仪(EYELA); LC-20AT 高效液相色谱仪(Shimadzu); 半制备柱包括 Phenomenex Lux cellulose-2 手性柱(4.6 mm × 250 mm, 5 μm) 和 NanoChrom ChromCore™ 5-120 C₁₈ 柱(10 mm × 250 mm, S-5 μm, 12 nm); 色谱材料包括 100~200 和 300~400 目的柱色谱层析硅胶和 GF₂₅₄ 薄层色谱硅胶板(青岛海洋化工厂)、Sephadex LH-20 凝胶(General Electric Company)、C₁₈ 反向硅胶(Merk) 和 D101 型大孔吸附树脂(Sinopharm); 石油醚(PE)、二氯甲烷(DCM)、乙酸乙酯(EtOAc)、甲醇(MeOH)、乙醇(EtOH)、φ = 95% 乙醇等分析纯试剂(致远化学试剂); 乙腈(MeCN) 等色谱级试剂(BCR International Trading Co., Ltd.); CDCl₃、CD₃OD 等氘代试剂(百灵威或伊诺凯科技)。

1.2 植物来源

茶毫于 2024 年 9 月收集于云南省凤庆县逸仙茶厂。

1.3 提取与分离

将收集到的滇红茶茶毫(2.5 kg)用 15 L 的 φ = 95% 乙醇在室温下提取 3 次,每次 7 d。减压浓缩得到粗浸膏 466.0 g。随后将粗浸膏用水混悬后用乙酸乙酯进行萃取,得到乙酸乙酯萃取部位(213.3 g)。接着利用多种色谱柱手段对该部分进行分离纯化,获得 10 个化合物(图 1),具体分离流程如下。

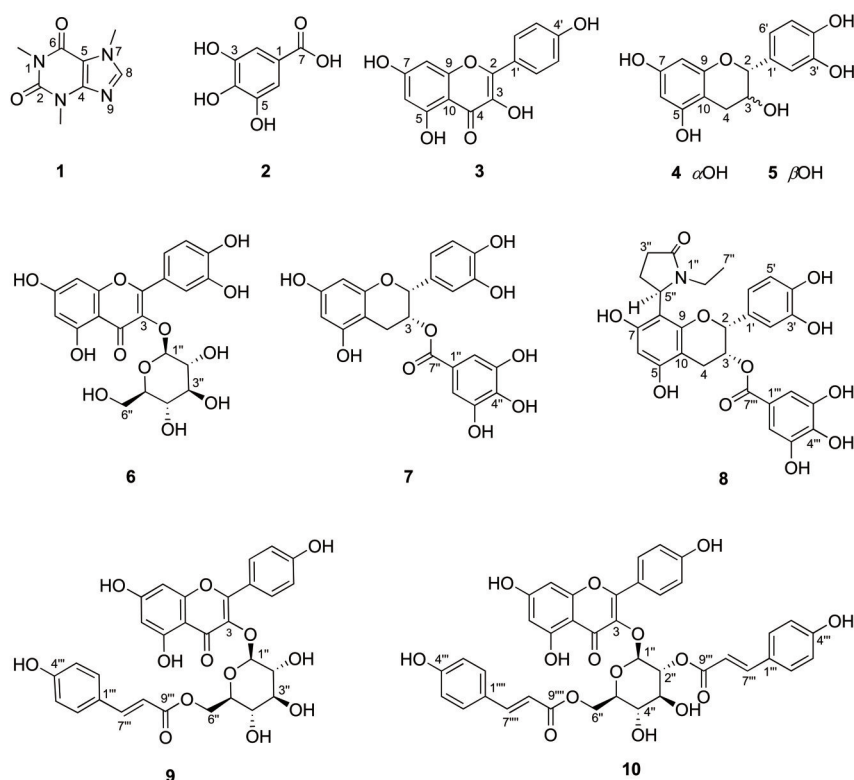


图 1 化合物 1~10 的结构

Fig. 1 The structure of compounds 1-10

乙酸乙酯萃取部位经过硅胶柱层析洗脱 [(V(DCM):V(EtOAc), 100:1→2:1, 换洗脱剂为 V(DCM):V(MeOH), 50:1→10:0] 得到9个亚组分 (Fr.1~Fr.9), 其中 V(DCM):V(EtOAc), 100:1→2:1 梯度洗脱得到化合物1 (16.0 g, $w = 0.64\%$)。Fr.6 经过 D101 型大孔树脂洗脱 [(V(MeOH):V(H₂O), 30:70→90:10] 得到3个亚组分 (Fr.6A~Fr.6C)。Fr.6A 经硅胶柱层析 [(V(DCM):V(MeOH), 80:1→5:1] 得到5个亚组分 (Fr.6A1~Fr.6A5)。Fr.6A3 进一步经硅胶柱层析 [(V(DCM):V(MeOH), 60:1→10:1] 得到化合物2 (100.0 mg, $w = 0.004\%$)。Fr.6A5 经 C₁₈ 反相柱层析 [(V(MeOH):V(H₂O), 20:80→90:10] 得到5个亚组分 (Fr.6A5A~Fr.6A5G), 其中在 V(DCM):V(MeOH) = 20:80 洗脱得到化合物7 (616.9 mg, $w = 0.025\%$)。Fr.6A5A 组分进一步经硅胶柱层析 [(V(DCM):V(MeOH), 30:1→1:1] 分离得到5个亚组分 (Fr.6A5A1~Fr.6A5A5)。其中 Fr.6A5A4 组分经过凝胶 (MeOH) 和半制备 HPLC [(V(MeCN):V(H₂O) = 23:77, 3 mL/min] 分离得到化合物4 (16.0 mg, $t_R = 7.3$ min, $w = 0.00064\%$) 和化合物5 (12.0 mg, $t_R = 6.6$ min, $w = 0.00048\%$)。Fr.6A5C 组分进一步经凝胶 (MeOH) 和硅胶柱层析 [(V(DCM):V(MeOH), 40:1→1:1] 分离得到5个亚组分 (Fr.6A5C4A~Fr.6A5C4E)。Fr.6A5C4B 组分进一步经半制备 HPLC [(V(MeCN):V(H₂O) = 30:70, 3 mL/min] 分离得到化合物8 (25.0 mg, $t_R = 7.8$ min, $w = 0.001\%$)。Fr.6A5C4D 组分进一步经半制备 HPLC [(V(MeCN):V(H₂O) = 27:73, 3 mL/min] 分离得到化合物6 (6 mg, $t_R = 6.9$ min, $w = 0.00024\%$)。Fr.6A5E 组分进一步经半制备 HPLC [(V(MeCN):V(H₂O) = 32:68, 3 mL/min] 分离得到化合物9 (4.5 mg, $t_R = 16.2$ min, $w = 0.00018\%$)。Fr.6A5F 组分经硅胶柱层析 [(V(DCM):V(MeOH), 20:1→10:1] 分离得到化合物10 (14.7 mg, $w = 0.00059\%$)。Fr.6C 经 C₁₈ 反相柱层析 [(V(MeOH):V(H₂O), 20:80→100:0] 得到3个亚组分 (Fr.6C1~Fr.6C3)。其中 Fr.6C2 组分经过硅胶柱层析 [(V(DCM):V(MeOH), 40:1→1:1] 和半制备 HPLC [(V(MeCN):V(H₂O) = 42:58, 3 mL/min] 分离得到化合物3 (2.0 mg, $t_R = 12.2$ min, $w = 0.00012\%$)。

2 结果与讨论

化合物1: 白色固体粉末, HR-ESI-MS: m/z 195.119 8 [M+H]⁺ (计算值 C₈H₁₁N₄O₂⁺, 195.087 7)。其核磁数据为: ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ_H 7.49 (1H, s, H-8), 3.98 (3H, s, 7-NCH₃), 3.56 (3H, s, 3-NCH₃), 3.39 (3H, s, 1-NCH₃); ¹³C NMR (100 MHz, CDCl₃) δ_C 155.6 (C-6), 151.9 (C-2), 148.8 (C-4), 141.5

(C-8), 107.7 (C-5), 33.7 (7-NCH₃), 29.9 (3-NCH₃), 28.0 (1-NCH₃)。以上数据与陈秋铃等 (2022) 报道基本一致, 故鉴定化合物1 为咖啡因 (caffeine)。

化合物2: 白色固体粉末, HR-ESI-MS: m/z 169.008 5 [M-H]⁻ (计算值 C₇H₅O₅⁻, 169.014 2)。其核磁数据为: ¹H NMR (400 MHz, CD₃OD) δ_H 7.04 (2H, s, H-2/6); ¹³C NMR (100 MHz, CD₃OD) δ_C 170.6 (C-7), 146.4 (C-3/5), 139.5 (C-4), 122.2 (C-1), 110.3 (C-2/6)。以上数据与王鹏等 (2024) 报道基本一致, 故鉴定化合物2 为没食子酸 (gallic acid)。

化合物3: 黄色粉末, HR-ESI-MS: m/z 285.043 2 [M-H]⁻ (计算值 C₁₅H₉O₆⁻, 285.040 5)。其核磁数据为: ¹H NMR (400 MHz, CD₃OD) δ_H 8.09 (2H, d, $J = 8.6$ Hz, H-2'/6'), 6.91 (2H, d, $J = 8.6$ Hz, H-3'/5'), 6.40 (1H, s, H-8), 6.18 (1H, s, H-6); ¹³C NMR (100 MHz, CD₃OD) δ_C 177.39 (C-4), 165.6 (C-7), 162.5 (C-9), 160.6 (C-4'), 158.3 (C-5), 148.1 (C-2), 137.2 (C-8), 130.7 (C-2'/6'), 123.7 (C-1'), 116.3 (C-3'/5'), 104.5 (C-10), 99.3 (C-6), 94.5 (C-8)。以上数据与陈屏等 (2008) 报道基本一致, 故鉴定化合物3 为山柰酚 (kaempferol)。

化合物4: 黄棕色固体粉末, HR-ESI-MS: m/z 289.071 3 [M-H]⁻ (计算值 C₁₅H₁₃O₆⁻, 289.071 8), ECD (c 11.0×10⁻⁴ mol/L, CH₃CN) λ_{max} (Δε) 194 (+4.76), 208 (-5.30) nm。其核磁数据为: ¹H NMR (400 MHz, CD₃OD) δ_H 6.97 (1H, d, $J = 1.5$ Hz, H-2'), 6.79 (1H, dd, $J = 8.2, 1.7$ Hz, H-6'), 6.75 (1H, d, $J = 8.2$ Hz, H-5'), 5.94 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-8), 5.91 (1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-6), 4.81 (1H, s, H-2), 4.17 (1H, s, H-3), 2.86 (1H, dd, $J = 16.7, 4.6$ Hz, H-4a), 2.73 (1H, dd, $J = 16.8, 2.8$ Hz, H-4b); ¹³C NMR (100 MHz, CD₃OD) δ_C 158.0 (C-5), 157.6 (C-7), 157.3 (C-9), 145.9 (C-3'), 145.7 (C-4'), 132.3 (C-1'), 119.4 (C-6'), 115.9 (C-2'), 115.3 (C-5'), 100.1 (C-10), 96.4 (C-6), 95.9 (C-8), 79.8 (C-2), 67.5 (C-3), 29.2 (C-4)。以上数据与胡江苗等 (2006) 报道基本一致, 故鉴定化合物4 为表儿茶素 (epicatechin)。

化合物5: 黄棕色固体粉末, HR-ESI-MS: m/z 289.073 0 [M-H]⁻ (计算值 C₁₅H₁₃O₆⁻, 289.071 8), ECD (c 11.6×10⁻⁴ mol/L, CH₃CN) λ_{max} (Δε) 190 (+7.97), 210 (-2.45) nm。其核磁数据为: ¹H NMR (400 MHz, CD₃OD) δ_H 6.83 (1H, d, $J = 1.8$ Hz, H-2'), 6.77~6.74 (1H, m, H-5'), 6.71 (1H, dd, $J = 8.2, 1.8$ Hz, H-6'), 5.92 (1H, d, $J = 2.2$ Hz, H-8), 5.85 (1H, d, $J = 2.2$ Hz, H-6), 4.56 (1H, d, $J = 7.5$ Hz, H-2), 3.97 (1H, td, $J = 7.9, 5.5$ Hz, H-3), 2.84 (1H, dd, $J = 16.1, 5.5$ Hz, H-4a), 2.50 (1H, dd, $J = 16.1, 8.1$ Hz, H-4b);

^{13}C NMR (100 MHz, CD_3OD) δ_{C} 157.8 (C-5), 157.6 (C-7), 156.9 (C-8a), 146.2 (C-3'), 146.2 (C-4'), 132.2 (C-1'), 120.0 (C-6'), 116.1 (C-5'), 115.2 (C-2'), 100.8 (C-4a), 96.3 (C-6), 95.5 (C-8), 82.8 (C-2), 68.8 (C-3), 28.5 (C-4)。以上数据与 Khalid et al. (1989) 报道基本一致, 故鉴定化合物 **5** 为儿茶素 [(+)-catechin]。

化合物 6: 黄色粉末, HR-ESI-MS: m/z 463.095 1 $[\text{M}-\text{H}]^-$ (计算值 $\text{C}_{21}\text{H}_{19}\text{O}_{12}^-$, 463.088 2), $[\alpha]_{\text{D}}^{20}$ -13.6 (c 0.09, MeOH)。其核磁数据为: ^1H NMR (400 MHz, CD_3OD) δ_{H} 7.68 (1H, d, J = 1.9 Hz, H-1'), 7.55 (1H, dd, J = 8.5, 2.0 Hz, H-2'), 6.83 (1H, d, J = 8.5 Hz, H-3'), 6.34 (1H, d, J = 1.5 Hz, H-8), 6.16 (1H, d, J = 1.7 Hz, H-6), 5.22 (1H, d, J = 7.6 Hz, H-1''), 3.68 (1H, dd, J = 11.8, 2.0 Hz, H-6''a), 3.55 (1H, dd, J = 11.9, 5.4 Hz, H-6''b), 3.48~3.43 (1H, m, H-2''), 3.40 (1H, t, J = 8.9 Hz, H-3''), 3.35~3.29 (1H, m, H-4''), 3.19 (1H, ddd, J = 7.7, 5.2, 2.1 Hz, H-5''); ^{13}C NMR (100 MHz, CD_3OD) δ_{C} 179.4 (C-4), 166.4 (C-7), 163.0 (C-5), 158.9 (C-9), 158.5 (C-2), 149.9 (C-3'), 145.9 (C-4'), 135.6 (C-3), 123.2 (C-6'), 123.0 (C-1'), 117.5 (C-5'), 116.0 (C-2'), 105.6 (C-10), 104.3 (C-1''), 100.0 (C-6), 94.8 (C-8), 78.4 (C-5''), 78.1 (C-3''), 75.7 (C-2''), 71.2 (C-4''), 62.5 (C-6'')。以上数据与梅文莉等 (2000) 报道基本一致, 故鉴定化合物 **6** 为异槲皮苷 (isoquercitrin)。

化合物 7: 黄色固体粉末, HR-ESI-MS: m/z 441.082 2 $[\text{M}-\text{H}]^-$ (计算值 $\text{C}_{22}\text{H}_{17}\text{O}_{10}^-$, 441.082 7), ECD (c 4.2×10^{-4} mol/L, CH_3CN) λ_{max} ($\Delta\epsilon$) 196 (+23.24), 209 (-28.23) nm。其核磁数据为: ^1H NMR (400 MHz, CD_3OD) δ_{H} 6.94 (2H, s, H-2''/6''), 6.93 (1H, d, J = 2.0 Hz, H-2'), 6.80 (1H, dd, J = 8.3, 1.9 Hz, H-6'), 6.69 (1H, d, J = 8.2 Hz, H-5'), 5.96 (2H, s, H-6/8), 5.52 (1H, m, H-3), 5.02 (1H, s, H-2), 2.99 (1H, dd, J = 17.3, 4.6 Hz, H-4b), 2.84 (1H, dd, J = 17.5, 2.2 Hz, H-4a); ^{13}C NMR (100 MHz, CD_3OD) δ_{C} 167.57 (C-7''), 157.8 (C-5'/7), 157.2 (C-9), 146.27 (C-3''/5''), 145.9 (C-4'), 145.9 (C-3'), 139.76 (C-4''), 131.4 (C-1'), 121.42 (C-1''), 119.36 (C-6'), 116.0 (C-5'), 115.1 (C-2'), 110.18 (C-2''/6''), 99.4 (C-10), 96.5 (C-6), 95.9 (C-8), 78.6 (C-2), 69.9 (C-3), 26.8 (C-4)。以上数据与易博等 (2013) 报道基本一致, 故鉴定化合物 **7** 为表儿茶素没食子酸酯 [(-)-epicatechin-3-gallate]。

化合物 8: 黄棕色粉末, HR-ESI-MS: m/z 552.150 1 $[\text{M}-\text{H}]^-$ (计算值 $\text{C}_{28}\text{H}_{26}\text{NO}_{11}^-$, 552.151 1), ECD (c 3.7×10^{-4} mol/L, CH_3CN) λ_{max} ($\Delta\epsilon$) 197 (+38.02), 212 (-53.48) nm。其核磁数据为: ^1H NMR (400 MHz, CD_3OD) δ_{H} 6.88 (1H, s, H-2'''/6'''), 6.78 (1H, s, H-2'),

6.74 (1H, d, J = 8.2 Hz, H-6'), 6.69 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-5'), 6.04 (1H, s, H-6), 5.45 (1H, s, H-5''), 5.34 (1H, s, H-3), 4.94 (2H, s, H-2), 3.64 (1H, dd, J = 13.0, 6.7 Hz, H-6''a), 2.99 (1H, d, J = 16.4 Hz, H-4a), 2.87 (2H, d, J = 17.6 Hz, H-4b/6''b), 1.06 (1H, s, H-7''); ^{13}C NMR (100 MHz, CD_3OD) δ_{C} 177.3 (C-2''), 167.6 (C-7'''), 157.6 (C-7), 156.7 (C-9), 156.3 (C-5), 146.3 (C-3'''/5'''), 146.2 (C-4'), 145.9 (C-3'), 139.8 (C-4'''), 130.9 (C-1'), 121.5 (C-1'''), 119.6 (C-6'), 116.2 (C-5'), 114.9 (C-2'), 110.3 (C-2'''/6'''), 105.5 (C-8), 100.2 (C-10), 96.1 (C-6), 79.1 (C-2), 70.1 (C-3), 54.3 (C-5''), 36.8 (C-6''), 32.5 (C-3''), 27.3 (C-4), 24.1 (C-4''), 12.8 (C-7'')。以上数据与 Meng et al. (2018) 报道基本一致, 故鉴定化合物 **8** 为 pyrrolidinone H。

化合物 9: 黄色粉末, HR-ESI-MS: m/z 593.139 0 $[\text{M}-\text{H}]^-$ (计算值 $\text{C}_{30}\text{H}_{25}\text{O}_{13}^-$, 593.130 1), $[\alpha]_{\text{D}}^{20}$ -33.6 (c 0.09, MeOH)。其核磁数据为: ^1H NMR (400 MHz, CD_3OD) δ_{H} 8.00 (2H, d, J = 8.9 Hz, H-2'/6'), 7.41 (1H, d, J = 15.9 Hz, H-7'''), 7.32 (2H, d, J = 8.6 Hz, H-2'''/6'''), 6.83 (2H, d, J = 9.1 Hz, H-3'/5'), 6.81 (2H, d, J = 9.0 Hz, H-3'''/5'''), 6.33 (1H, d, J = 1.9 Hz, H-8), 6.14 (1H, d, J = 1.9 Hz, H-6), 6.08 (1H, d, J = 15.9 Hz, H-8'''), 5.25 (1H, d, J = 7.3 Hz, H-1''), 4.30 (1H, dd, J = 11.8, 2.0 Hz, H-6''a), 4.20 (1H, dd, J = 11.8, 6.6 Hz, H-6''b), 3.31~3.50 (4H, m, H-2''/3''/4''/5''); ^{13}C NMR (100 MHz, CD_3OD) δ_{C} 179.4 (C-4), 168.8 (C-9'''), 166.0 (C-7), 163.0 (C-5), 161.5 (C-9), 161.2 (C-4'''), 159.4 (C-4'), 158.4 (C-2), 146.6 (C-7'''), 135.2 (C-3), 132.2 (C-2'''/6'''), 131.2 (C-2'/6'), 127.1 (C-1'''), 122.7 (C-1'), 116.8 (C-3'''/5'''), 116.0 (C-3'/5'), 114.7 (C-8'''), 105.6 (C-10), 103.9 (C-1''), 100.0 (C-8), 94.8 (C-6), 78.0 (C-3''), 75.8 (C-5''), 75.7 (C-2''), 71.7 (C-4''), 64.3 (C-6'')。以上数据与 Chen et al. (2009) 报道基本一致, 故鉴定化合物 **9** 为椴树苷 (tiliroside)。

化合物 10: 黄色固体粉末, HR-ESI-MS: m/z 739.162 2 $[\text{M}-\text{H}]^-$ (计算值 $\text{C}_{39}\text{H}_{31}\text{O}_{15}^-$, 739.166 8), $[\alpha]_{\text{D}}^{20}$ -74.3 (c 0.08, MeOH)。其核磁数据为: ^1H NMR (400 MHz, CD_3OD) δ_{H} 7.96 (2H, d, J = 8.9 Hz, H-2'/6'), 7.72 (1H, d, J = 15.9 Hz, H-7'''), 7.48 (2H, d, J = 8.6 Hz, H-2'''/6'''), 7.40 (d, J = 15.9 Hz, H-7'''), 7.30 (2H, d, J = 8.6 Hz, H-2''/6'''), 6.86 (2H, d, J = 8.9 Hz, H-3'/5'), 6.81 (4H, dd, J = 8.6, 4.6 Hz, H-3'''/5'''/3''''/5''''), 6.45 (1H, d, J = 15.9 Hz, H-8'''), 6.26 (1H, d, J = 2.1 Hz, H-8), 6.08 (1H, d, J = 13.0 Hz, H-8'''), 6.06 (1H, br.s, H-6), 5.66 (1H, d, J = 8.0 Hz, H-1''), 5.09 (1H, dd, J = 9.5, 8.1 Hz, H-2''), 4.37 (1H, dd, J = 11.7,

1.9 Hz, H-6"), 4.22(1H, dd, $J = 11.9, 6.6$ Hz, H-6"), 3.70(1H, t, $J = 9.2$ Hz, H-3"), 3.59(1H, m, H-5"), 3.43(1H, t, $J = 9.4$ Hz, H-4"); ^{13}C NMR (100 MHz, CD_3OD) δ_{c} 179.1(C-4), 168.7(C-9""), 168.6(C-9""), 165.6(C-7), 163.0(C-5), 161.4(C-4'), 161.2(C-4""), 161.1(C-4""), 158.9(C-2), 158.3(C-9), 147.1(C-7""), 146.5(C-7""), 134.4(C-3), 132.2(C-2'/6'), 131.3(C-2'''/6'''), 131.2(C-2'''/6'''), 127.3(C-1'''), 127.0(C-1''), 122.9(C-1'), 116.8(C-3'''/5'''), 116.8(C-3''''/5''''), 116.1(C-3'/5'), 115.3(C-8'''), 114.6(C-8'''), 105.7(C-10), 100.4(C-1''), 99.9(C-6), 94.8(C-8), 76.1(C-3''), 75.9(C-5''), 75.6(C-2''), 71.9(C-4''), 64.1(C-6''). 以上数据与陈屏等(2008)报道基本一致,故鉴定化合物**10**为山柰酚-3-*O*-(2,6-二-*O*-反式-对-香豆酰基)- β -D-吡喃葡萄糖苷[kaempferol-3-*O*-(2,6-di-*O*-*trans-p*-coumaroyl)- β -D-glucopyranoside]。

3 结 语

本研究针对滇红茶茶毫这一特殊结构开展系统性化学成分研究。作为滇红茶品质形成的关键部位,茶毫富含特征性次生代谢产物,但迄今未见其独立成分的系统研究报道。本研究采用乙醇提取滇红茶茶毫,结合多种色谱分离方法(包括硅

胶柱层析、Sephadex LH-20凝胶色谱等)和光谱学数据分析,对其乙醇提取物的乙酸乙酯萃取部位进行了成分分离和鉴定,一共获得了10个化合物,包括咖啡因(**1**)和9种茶多酚类物质(**2**~**10**),其中咖啡因的含量较高,占茶毫干质量的0.64%。咖啡碱类物质的苦味与其他成分交杂,形成了滇红茶独特的“浓醇鲜爽”滋味(雷绵森等,2023)。天然高含量的茶多酚类物质如表儿茶素、表儿茶素没食子酸酯等在预防癌症、糖尿病、心血管和神经系统疾病等方面均能发挥作用(Bakun et al., 2023; Hong et al., 2022; Khan et al., 2018)。针对滇红茶茶毫的化学成分研究显示,相较于滇红茶汤中非挥发性组分的研究(谢佳灵等,2024),茶毫中鉴定出的化合物种类相对较少,这可能源于两者在样品前处理及检测方法上的不同所致。尽管种类数量存在差异,但茶毫中生物碱类成分(如咖啡因)的含量显著高于其他化合物,且与滇红茶整体化学组成中的生物碱比例趋势一致。这一共性表明,茶毫作为茶叶的活性物质富集部位,其生物碱的贡献对滇红茶的整体品质(如滋味、生理活性)具有重要影响。总之,该研究不仅初探了滇红茶茶毫化学成分的组成特点,还可能为开发滇红茶茶毫高附加值功能性产品提供科学依据。

参考文献:

陈屏,杨峻山,2008. 蒲葵籽化学成分的研究[J]. 中国药学杂志,43(21):1669-1670.

陈秋铃,范春林,敖运林,等,2022. 普约狗牙花枝叶的生物碱类成分研究[J]. 中草药,53(6):1680-1687.

胡江苗,陈纪军,赵友兴,等,2006. 山竺果壳的化学成分[J]. 云南植物研究,28(3):319-322.

雷绵森,刘学艳,杨坚,2023. 滇红茶研究进展及展望[J]. 茶叶通讯,50(2):159-165.

梅文莉,杨勇,倪伟,等,2000. 小叶红光树中的黄酮类化合物[J]. 云南植物研究,22(3):358-360.

宋亚康,张群峰,张洁,等,2017. 茶毫氨基酸组成及矿质元素分析[J]. 茶叶科学,37(4):339-346.

王鹏,陈娅,彭兰淳,等,2024. 尖尾芋石油醚部位化学成分及其乳腺癌细胞毒活性研究[J]. 天然产物研究与开发,36(1):72-77.

谢佳灵,陈佳瑜,袁海波,等,2024. 基于电子舌和代谢组学评价不同等级滇红茶汤非挥发性差异组分[J]. 中国食品学报,24(6):354-368.

易博,陈涛,冯世秀,等,2013. 钩枝藤化学成分研究[J]. 广西植物,33(4):564-567.

尹鹏,刘威,王广铭,等,2016. 茶树芽叶茸毛及茶毫研究进展[J]. 河南农业,(27):44-46.

BAKUN P, MLYNARCZYK D T, KOCZOROWSKI T, et al,

2023. Tea-break with epigallocatechin gallate derivatives — Powerful polyphenols of great potential for medicine[J]. Eur J Med Chem, 261:115820.

CHEN Y Q, SU J, SHEN Y H, et al, 2009. Flavonoids from *Daphne holosericea* [J]. Chem Nat Compd, 45 (4) : 542-544.

HONG M, YU J, WANG X, et al, 2022. Tea polyphenols as prospective natural attenuators of brain aging [J]. Nutrients, 14(15):3012.

KHALID S A, YAGI S M, KHRISTOVA P, et al, 1989. (+)-Catechin-5-galloyl ester as a novel natural polyphenol from the bark of *Acacia nilotica* of sudanese origin [J]. Planta Med, 55(6):556-558.

KHAN N, MUKHTAR H, 2018. Tea polyphenols in promotion of human health [J]. Nutrients, 11(1):39.

LI P, XU Y, ZHANG Y, et al, 2020. Metabolite profiling and transcriptome analysis revealed the chemical contributions of tea trichomes to tea flavors and tea plant defenses [J]. J Agric Food Chem, 68(41):11389-11401.

MENG X H, ZHU H T, YAN H, et al, 2018. C-8 *N*-Ethyl-2-pyrrolidinone-substituted flavan-3-ols from the leaves of *Camellia sinensis* var. *pubilimba* [J]. J Agric Food Chem, 66(27):7150-7155.

(责任编辑 张 冰)