

芦根亲水性化学成分研究

李文博¹, 赵伟伊¹, 庞美俊², 苏艳芳^{1*}

1. 天津大学药物科学与技术学院, 天津 300072

2. 天津大学医学工程与转化医学研究院, 天津 300072

摘要: **目的** 研究芦根(芦苇 *Phragmites communis* 的根茎)的亲水性化学成分, 并对分离的化合物进行初步的美白活性研究。**方法** 芦根乙醇提取物经有机溶剂萃取后的水部分采用 D101 大孔吸附树脂、硅胶、Sephadex LH-20 凝胶、ODS 及 HILIC 色谱柱等进行分离纯化, 根据理化性质及核磁共振波谱数据对所得化合物进行结构鉴定。以熊果苷为阳性对照, 采用斑马鱼对获得的化合物进行美白活性研究。**结果** 共分离鉴定了 9 个化合物, 分别为 (1'*R*,2'*S*)-丁香酚基甘油 3'-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷 (1)、(7*R*,7'*R*,7''*R*,8*S*,8'*S*,8''*S*)-丁香酚基甘油-β-丁香树脂酚醚 4,4''-双-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷 (2)、(1'*R*,2'*S*)-愈创木基甘油 3'-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷 (3)、(1'*S*,2'*S*)-愈创木基甘油 3'-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷 (4)、(1'*R*,2'*R*)-愈创木基甘油 3'-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷 (5)、(1'*S*,2'*R*)-愈创木基甘油 3'-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷 (6)、(1'*R*,2'*R*)-丁香酚基甘油 3'-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷 (7)、(1'*S*,2'*S*)-丁香酚基甘油 3'-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷 (8)、(1'*S*,2'*R*)-丁香酚基甘油 3'-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷 (9)。化合物 5、7、8 可抑制斑马鱼胚胎黑色素的生成。**结论** 化合物 1、2 为新化合物, 分别命名为芦根苷 C、芦根苷 D; 化合物 3~9 均为首次从芦根中分离得到; 化合物 5、7、8 表现强的美白活性。

关键词: 芦根; 亲水性成分; 苯丙素苷; 美白活性; 芦根苷 C; 芦根苷 D; (1'*R*,2'*R*)-愈创木基甘油 3'-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷; (1'*R*,2'*R*)-丁香酚基甘油 3'-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷

中图分类号: R284.1

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2024)01-0051-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.01.007

Hydrophilic constituents from rhizomes of *Phragmites communis*

LI Wenbo¹, ZHAO Weiyi¹, PANG Meijun², SU Yanfang¹

1. School of Pharmaceutical Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2. Academy of Medical Engineering and Translational Medicine, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: Objective To study the hydrophilic components of rhizomes of *Phragmites communis*, and preliminary explore the whitening activity of the isolated compounds. **Methods** The compounds were isolated and purified by D101 macroporous adsorption resin, silica gel, Sephadex LH-20 column chromatography, ODS and HILIC, and their structures were identified by physicochemical properties and spectral data. Zebrafish model was used to study the whitening activity of compounds isolated from rhizomes of *P. communis* using arbutin as positive control. **Results** Nine compounds were isolated and identified as (1'*R*,2'*S*)-syringyl glycerol 3'-*O*-β-*D*-glucopyranoside (1), (7*R*,7'*R*,7''*R*,8*S*,8'*S*,8''*S*)-syringyl glycerol-β-syringaresinol ether 4,4'' di-*O*-β-*D*-glucopyranoside (2), (1'*R*,2'*S*)-guaiacyl glycerol 3'-*O*-β-*D*-glucopyranoside (3), (1'*S*,2'*S*)-guaiacyl glycerol 3'-*O*-β-*D*-glucopyranoside (4), (1'*R*,2'*R*)-guaiacyl glycerol 3'-*O*-β-*D*-glucopyranoside (5), (1'*S*,2'*R*)-guaiacyl glycerol 3'-*O*-β-*D*-glucopyranoside (6), (1'*R*,2'*R*)-syringyl glycerol 3'-*O*-β-*D*-glucopyranoside (7), (1'*S*,2'*S*)-syringyl glycerol 3'-*O*-β-*D*-glucopyranoside (8), (1'*S*,2'*R*)-syringyl glycerol 3'-*O*-β-*D*-glucopyranoside (9). Compounds 5, 7, 8 could inhibit the production of melanin in zebrafish embryos. **Conclusion** Compounds 1 and 2 are new compounds, and named as phragcomsides C and D. Compounds 3~9 were isolated from the rhizomes of *P. communis* for the first time. Compounds 5, 7, 8 showed promising whitening activity.

Key words: rhizomes of *Phragmites communis*; hydrophilic components; phenylpropanoid glycosides; whitening activity; phragcomsides C; phragcomsides D; (1'*R*,2'*R*)-guaiacyl glycerol 3'-*O*-β-*D*-glucopyranoside; (1'*R*,2'*R*)-syringyl glycerol 3'-*O*-β-*D*-glucopyranoside

收稿日期: 2023-11-12

基金项目: 天津市科技计划项目 (20ZXGBSY00050)

作者简介: 李文博, 女, 硕士研究生。研究方向为天然药物化学。E-mail: lwb_lee@163.com

*通信作者: 苏艳芳, 教授, 主要从事天然药物化学研究。E-mail: suyanfang@tju.edu.cn

芦根为禾本科植物芦苇 *Phragmites communis* Trin. 的新鲜或干燥根茎^[1], 味甘性寒, 归肺、胃经, 具有清热泻火、生津止渴、除烦润燥等作用。现代药理学研究发现, 芦根具有降压、解热、消炎、镇痛、提高免疫力、抗氧化等作用^[2-3]。本课题组前期对芦根的研究表明其含有黄酮类、木脂素类、苯丙素类等化学成分^[4-5]。为进一步明确其物质基础, 对芦根乙醇提取物经有机溶剂萃取后的水部分的化学成分进行了研究, 共分离鉴定了 9 个化合物, 分别为 (1'R,2'S)-丁香酚基甘油 3'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 [(1'R,2'S)-syringyl glycerol 3'-O-β-D-glucopyranoside, **1**]、(7R,7'R,7''R, 8S,8'S,8''S)-丁香酚基甘油-β-丁香树脂酚醚 4,4''双-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 [(7R,7'R,7''R, 8S,8'S,8''S)-syringyl glycerol-β-syringaresinol ether 4,4'' di-O-β-D-glucopyranoside, **2**]、(1'R,2'S)-愈创木基甘油 3'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 [(1'R,2'S)-guaiacyl glycerol 3'-O-β-D-glucopyranoside, **3**]、(1'S,2'S)-愈创木基甘油 3'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 [(1'S,2'S)-

guaiacyl glycerol 3'-O-β-D-glucopyranoside **4**]、(1'R,2'R)-愈创木基甘油 3'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 [(1'R,2'R)-guaiacyl glycerol 3'-O-β-D-glucopyranoside, **5**]、(1'S,2'R)-愈创木基甘油 3'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 [(1'S,2'R)-guaiacyl glycerol 3'-O-β-D-glucopyranoside, **6**]、(1'R,2'R)-丁香酚基甘油 3'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 [(1'R,2'R)-syringyl glycerol 3'-O-β-D-glucopyranoside, **7**]、(1'S,2'S)-丁香酚基甘油 3'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 [(1'S,2'S)-syringyl glycerol 3'-O-β-D-glucopyranoside, **8**]、(1'S,2'R)-丁香酚基甘油 3'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 [(1'S,2'R)-syringyl glycerol 3'-O-β-D-glucopyranoside **9**]。其中化合物 **1** 和 **2** 为新的苯丙素苷类化合物, 分别命名为芦根苷 C、芦根苷 D, 结构见图 1。并以熊果苷作为阳性对照, 采用斑马鱼对获得的部分化合物进行了美白活性研究。

1 仪器与材料

Quiksep 高效液相色谱仪 (北京慧德易科技有限责任公司); ODS 柱色谱硅胶 (20~45 μm, 日本

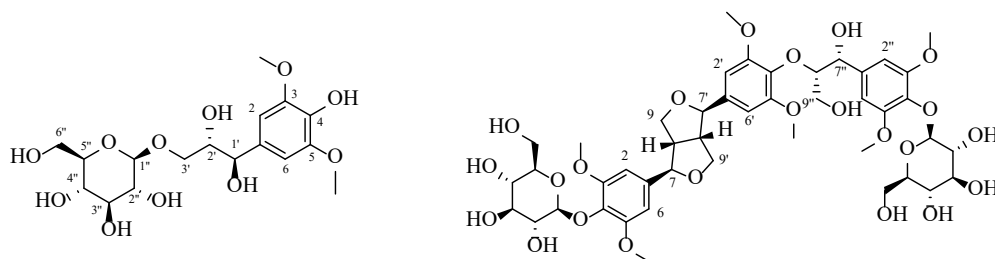


图 1 化合物 1~2 的化学结构

Fig. 1 Structures of compounds 1—2

Fuji Silysia 公司); D101 大孔吸附树脂 (天津市海光化工有限公司); 薄层色谱硅胶 (GF₂₅₄, 10~40 μm) 和柱色谱硅胶 (100~200、200~300 目, 青岛海洋化工厂); Zorbax SB-C₁₈ 分析柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm, 美国 Agilent 公司); Zorbax SB-C₁₈ 制备柱 (250 mm×21.2 mm, 7 μm, 美国 Agilent 公司); Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶 (瑞典 Amersham Pharmacia 公司); HILIC 亲水相互作用色谱柱 (COSMOSIL HILIC, 250 mm×20.0 mm); Bio-Logic SAS MOS-500 圆二色光谱仪 (法国 Bio-Logic 公司); Autopol II 型旋光仪 (美国 Rudolph 公司); Bruker Avance III 核磁共振谱仪 (600 MHz, 瑞士 Bruker 公司); Cary 60 紫外可见分光光度计 (美国 Agilent 公司); Agilent TOF LC/MS 质谱仪 (美国 Agilent 公司); Bruker Tensor 27 红外光谱仪 (瑞士 Bruker 公司); Nikon SMZ800N 体视显微镜 (日本

Nikon 公司); 野生型斑马鱼 (天津大学庞美俊课题组提供); E3 培养液 (5 mmol/L NaCl、0.17 mmol/L KCl、0.33 mmol/L CaCl₂、0.33 mmol/L MgSO₄)。

芦根 2018 年 4 月在河北省保定市白洋淀采集, 经天津中医药大学李天祥教授鉴定为禾本科芦苇属芦苇 *P. communis* Trin. 的干燥根茎, 标本 (201804001) 保存在天津大学药物科学与技术学院天然药物化学实验室。

2 提取与分离

将干燥的芦根 (27.1 kg) 用 95%乙醇在室温下浸泡 2 周, 滤过, 药渣再依次用 95%、60%乙醇回流提取 2 次 (每次 2 h), 合并所有滤液, 得到浸膏 4.1 kg, 浸膏加适量蒸馏水混悬, 然后依次用油醚、醋酸乙酯、正丁醇萃取, 萃取后的水层经减压浓缩得到水层部分的浓缩物 (RPH) 约 1.8 kg, 水层浓缩物通过 D101 大孔吸附树脂柱, 依次用水、95%

乙醇进行洗脱, 得到水洗脱部分以及 95%乙醇洗脱部分 (79.8 g)。将 95%乙醇洗脱部分用甲醇溶解, 过滤得到沉淀 (23.5 g) 和甲醇溶解部分 (RPH95, 48.5 g)。取 RPH95 约 47 g 经硅胶柱分离, 以醋酸乙酯-甲醇 (90:10~80:20) 作为洗脱剂梯度洗脱, 得到 120 个流分。通过薄层色谱检查将 Frs.15-87 合并为 6 个流分, 分别为 F₁ (Fr.15~18, 400 mg)、F₂ (Fr. 19~24, 1.0 g)、F₃ (Fr. 25~27, 500 mg)、F₄ (Fr. 28~31, 800 mg)、F₅ (Fr. 32~37, 1.0 g) 和 F₆ (Fr. 51~87, 5.6 g)。

F₅ 采用中压 ODS 色谱柱分离, 用甲醇-水 (6:94) 洗脱, 获得 23 个亚流分 (F₅₋₁~F₅₋₂₃), 从 F₅₋₁₇ 得到纯化合物 **7** (28.4 mg); 从 F₅₋₁₃ 得到化合物 **1** 和 **9** 约 1:2 的混合物 (30 mg)。F₅₋₁₁ (30 mg) 采用亲水相互作用色谱 (HILIC) 柱进行制备, 乙腈-水 (95:5) 作为洗脱剂, 得到化合物 **3** (5.8 mg, $t_R=97.7$ min, 8 mL/min) 和 **6** (17.6 mg, $t_R=101.3$ min, 8 mL/min)。F₅₋₁₄、F₅₋₁₅ 和 F₅₋₁₆ 分别用制备 HPLC (Agilent Zorbax SB-C₁₈ 制备柱 250 mm×21.2 mm, 7 μ m) 柱, 甲醇-水 (6:94) 作为洗脱液, 分别得到化合物 **4** (25.8 mg, $t_R=20.3$ min, 10 mL/min)、化合物 **5** (48.7 mg, $t_R=22.4$ min, 10 mL/min) 和 **8** (14.5 mg, $t_R=23.8$ min, 10 mL/min)。

F₆ (5.6 g) 采用硅胶柱分离, 二氯甲烷-甲醇 (82:18~75:25) 作为洗脱剂, 得到 110 个流分。合并流分 30~38 (200 mg), 以乙腈-水作为洗脱剂 (洗脱比例分别为 85:15、90:10), 经 2 次 HILIC 柱分离纯化得到化合物 **2** (3 mg, $t_R=64.1$ min, 8 mL/min)。

3 结构鉴定

化合物 **1**: 与化合物 **9** 以约 1:2 的不可分的混合物分离得到, 为白色无定形粉末。UV $\lambda_{\max}^{\text{MeOH}}$ (nm): 195.0 (3.62), 215.0 (3.68), 230.0 (2.66), 270.0 (0.53); $[\alpha]_D^{25}-15.2$ (c 0.1, MeOH); IR $\nu_{\max}^{\text{KBr}}$ (cm⁻¹): 3 416, 2 924, 1 614, 1 520, 1 113; ECD (MeOH) $\lambda_{\max}(\delta_{\epsilon})$: 199 (15.19), 220 (11.11), 235 (12.85), 243 (10.35), 276 (-10.95)。根据 HR-ESI-MS (m/z 429.137 12 [$M+Na$]⁺, 理论值 429.136 73) 并结合 NMR 数据, 确定其分子式为 C₁₇H₂₆O₁₁。化合物 **1** 的氢谱中出现了 δ_H 3.85 (6H, s) 的信号, 表明存在 2 个化学等价的甲氧基。在 δ_H 6.71 (2H, s) 处出现信号, 可推测为 1,2,3,5-四取代对称苯环。 δ_H 4.28 (1H, d, $J=7.8$ Hz) 为糖端基氢信号, 且有 6 个 ¹³C 信号在 δ_C 104.6, 77.92, 77.89, 75.09,

71.6, 62.6, 表明化合物 **1** 中含有 1 个葡萄糖片段, 葡萄糖的 β 构型由端基氢的偶合常数 ($J=7.8$ Hz) 确定, 结合生源途径鉴定化合物 **1** 中的葡萄糖为 β -D 构型^[6]。剩余的氢信号范围从 δ_H 3.71 到 4.61, 通常为连氧碳上的氢 (¹H-NMR 和 ¹³C-NMR 谱数据见表 1)。HSQC 谱中, C-3' 与 2 个氢信号 [δ_H 4.01 (1H, dd, $J=10.6, 5.7$ Hz, H-3'a), δ_H 3.71 (1H, dd, $J=10.6, 3.5$ Hz, H-3'b)] 相关; COSY 谱中, 氢信号 [δ_H 3.87 (1H, m, H-2')] 与另外 2 个氢信号 [δ_H 4.61 (1H, d, $J=6.5$ Hz, H-1'), δ_H 4.01 (H-3'a)] 相关, 表明存在 -CH-CH-CH₂-片段。通过 H-2、H-6/C-1' 和 H-3'/C-1' 的 HMBC 相关信号, 可知苯环 1 位与由 C-1'、C-2' 和 C-3' 组成的脂肪侧链连接。在 HMBC 谱 (图 2) 中 H-1'' 信号与 C-3' (δ_C 72.0) 相关峰, 说明葡萄糖

表 1 化合物 **1** 的 ¹H-NMR 和 ¹³C-NMR 数据 (400/100MHz, CD₃OD)

碳位	δ_H	δ_C
1		133.80
2, 6	6.71 (2H, s)	105.70
3		149.00
4		136.00
5		149.00
1'	4.61 (1H, d, $J=6.5$ Hz)	75.40
2'	3.87 (1H, m)	75.12
3'a	4.01 (1H, dd, $J=10.6, 5.7$ Hz)	72.00
3'b	3.71 (1H, dd, $J=10.6, 3.5$ Hz)	
1''	4.28 (1H, d, $J=7.8$ Hz)	104.60
2''	3.23 (1H, overlapped)	75.09
3''	3.36 (1H, overlapped)	77.89
4''	3.27 (1H, overlapped)	71.60
5''	3.26 (1H, overlapped)	77.92
6''a	3.87 (1H, m)	62.60
6''b	3.67 (1H, m)	
-OCH ₃	3.85 (6H, s)	56.80

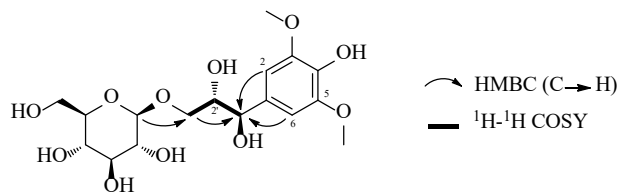


图 2 化合物 **1** 的主要 HMBC 和 ¹H-¹H COSY 信号

Fig. 2 Key HMBC and ¹H-¹H COSY correlations of compound **1**

连接在 C-3' 上, 因此推测化合物 **1** 为丁香酚基甘油 3'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷; 进一步将化合物 **1** 和化合物 **7**~**9** 的 H-3'a 和 H-3'b 进行对比 (表 2), 通过对比化合物 **1** H-3' 的偶合常数即 $J_{2',3'a} = 5.7$ Hz,

$J_{2',3'b} = 3.5$ Hz 和化合物 **8** (1'S, 2'S) H-3' 的偶合常数即 $J_{2',3'a} = 5.6$ Hz, $J_{2',3'b} = 3.8$ Hz 确定其构型有部分相同之处, 对比化合物 **1** 的化学位移即 H-3'a (δ_H 4.01) 和 H-3'b (δ_H 3.71) 与化合物 **8** 的化学位

表 2 化合物 **1** 与其他立体异构体的 ¹H-NMR 数据 (400 MHz, CD₃OD)

化合物	H-1'	H-2'	H-3'a	H-3'b
1'R,2'S (化合物 1)	4.61 (d, $J = 6.5$ Hz)	3.87 (m)	4.01 (dd, $J = 10.6, 5.7$ Hz)	3.71 (dd, $J = 10.6, 3.5$ Hz)
1'S,2'R (化合物 9)	4.58 (d, $J = 6.3$ Hz)	3.91 (ddd, $J = 6.7, 6.7, 2.7$ Hz)	4.05 (dd, $J = 10.6, 2.8$ Hz)	3.63 (dd, $J = 10.5, 7.1$ Hz)
1'S,2'S (化合物 8)	4.62 (d, $J = 6.3$ Hz)	3.81 (m)	3.72 (dd, $J = 10.5, 5.6$ Hz)	3.55 (dd, $J = 10.5, 3.8$ Hz)
1'R,2'R (化合物 7)	4.60 (d, $J = 6.1$ Hz)	3.82 (m)	3.86 (m)	3.34 (m)

移即 H-3'a (δ_H 3.72) 和 H-3'b (δ_H 3.55) 之间的不同, 可确定其 1' 位为 *R* 构型, 2' 位为 *S* 构型^[7]。最终确定化合物 **1** 为 (1'R,2'S)-丁香酚基甘油 3'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷。经 Sci-Finder 检索, 确定化合物 **1** 为新化合物, 命名为芦根苷。

化合物 **2**: 白色无定形粉末。UV $\lambda_{\max}^{\text{MeOH}}$ (nm): 200.0 (3.53), 215.0 (3.59), 230.0 (2.70), 270.0 (0.44); $[\alpha]_{\text{D}}^{25} -15.2$ (c 0.1, MeOH); IR $\nu_{\max}^{\text{KBr}}$ (cm⁻¹): 3 424, 2 924, 1 595, 1 125; 根据 HR-ESI-MS (m/z 991.341 8 $[M+Na]^+$, 计算值 991.341 7) 并结合 NMR 数据 (表 3), 确定其分子式为 C₄₅H₆₀O₂₃。化合物 **2** 的氢谱中, 在 δ_H 3.85、3.83、3.82 处的信号为 6 个芳香甲氧基, δ_H 6.77、6.71、6.66 处为 3 个苯环上的 6 个氢。2

个端基氢 (δ_H 4.85) 和 12 个碳信号 (δ_C 105.6, 105.4, 78.4×2, 77.9×2, 75.80, 75.77, 71.4×2, 62.7×2) 表明存在 2 个葡萄糖片段。葡萄糖的 β 构型由端基氢的偶合常数 ($J = 7.6$ Hz) 确定, 结合生源途径鉴定化合物 **2** 中的葡萄糖为 β-D 构型^[6]。核磁数据与 erythro-syringylglycerol-β-O-4'-(+)-isoeucommin A 4''-O-β-D-glucopyranoside^[8]相似, 区别在于增加了甲氧基信号 [δ_H 3.85 (3H, s, OMe-5')]. 通过 C-5'' (δ_C 154.3) 与 H-3'' (δ_H 3.85) 的 HMBC 相关确定甲氧基连在 C-5'' 上。

综合以上信息, 确定了化合物 **2** 的平面结构。7、7'、7''、8、8'、8'' 位的绝对构型通过对比实测 ECD 和计算 ECD 确定 (图 3), 最终鉴定化合物 **2** 为

表 3 化合物 **2** 的 ¹H-NMR 和 ¹³C-NMR 数据 (600/150MHz, CD₃OD)

碳位	δ_H	δ_C	碳位	δ_H	δ_C
1,1',1''		153.8	9''a	3.44 (1H, m)	62.0
2,6	6.77 (2H, s)	105.8	9''b	3.80 (1H, m)	
2',6'	6.66 (2H, s)	105.0	Glc-1	4.85 (2H, d, $J = 7.6$ Hz)	105.6, 105.4
2'',6''	6.71 (2H, s)	104.2	(Glc-2) × 2	3.61 (2H, m)	75.8
3,3',5,5'		154.5	(Glc-3) × 2	3.57 (2H, m)	77.9
4,4',4''		154.3	(Glc-4) × 2	3.57 (2H, m)	71.4
7	4.76 (1H, d, $J = 4.7$ Hz)	87.2	(Glc-5) × 2	3.20 (2H, m)	78.4
7'	4.74 (1H, m)	87.2	(Glc-6a) × 2	3.76 (2H, dd, $J = 12.0, 2.2$ Hz)	62.7
7''	4.99 (1H, d, $J = 5.3$ Hz)	74.0	(Glc-6b) × 2	3.65 (2H, dd, $J = 12.0, 5.2$ Hz)	
8,8'	3.10 (2H, m)	55.8	-OCH ₃	3.85 (6H, s)	57.2
8''	4.20 (1H, m)	87.9		3.83 (6H, s)	57.0
9a,9a'	3.93 (2H, dd, $J = 10.3, 4.1$ Hz)	73.0		3.82 (6H, s)	56.8
9b,9b'	4.28 (2H, m)				

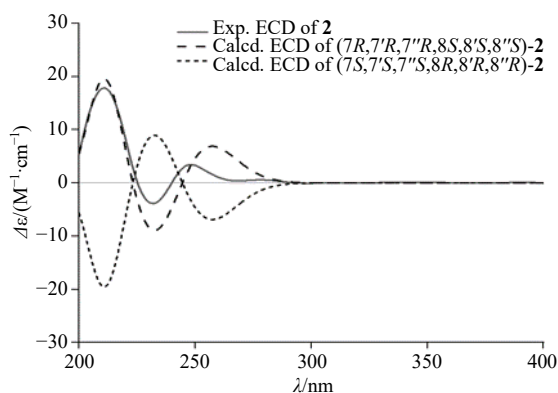


图 3 化合物 2 的实测和计算 ECD 谱图
Fig. 3 Experimental and calculated ECD spectra of compound 2

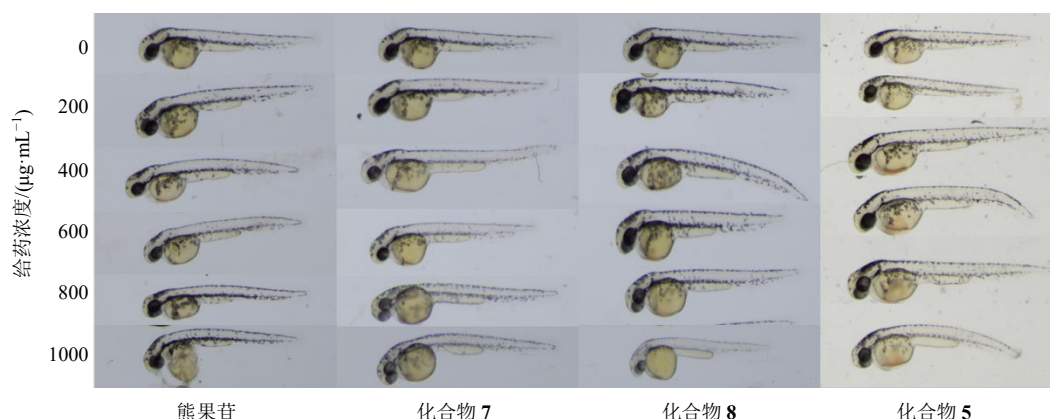


图 4 不同给药浓度的纯化合物对斑马鱼胚胎的美白效果
Fig. 4 Whitening effect of different concentrations of pure compounds on zebrafish embryos

800、1000 $\mu\text{g/mL}$ 的熊果苷培养液中。实验组胚胎分别置于含 200、400、600、800、1000 $\mu\text{g/mL}$ 的待测化合物培养基中。加药后的各组胚胎在 $(28 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 孵育 36 h，在显微镜下对受斑马鱼进行定性观察。通过显微镜可观察到，给药后斑马鱼体内的黑色素减少，化合物 5、7、8 对斑马鱼胚胎黑色素的抑制效果均强于同浓度的熊果苷，且黑色素减少程度随着化合物浓度的增加而增强，其中化合物 8 的美白效果最强。

因同等给药浓度下化合物 8 的美白效果最强，所以选择化合物 8 进行黑色素抑制率测定实验，将熊果苷和化合物 8 配制为 1 500 $\mu\text{g/mL}$ 的溶液，实验方法参考文献报道^[10]。

研究结果（表 4）显示，化合物 5、7、8 具有较明显的美白效果，其中化合物 8 的美白效果最强，且通过黑色素抑制率的测定更为直观的展现了化合

(7R,7'R,7''R,8S,8'S,8''S)-丁香基甘油- β -丁香树脂醚 4,4''二-O- β -D-吡喃葡萄糖苷。经 Sci-Finder 检索，确定化合物 2 为新化合物，命名为芦根苷 D。

4 美白活性研究

据相关文献报道，芦根粗提物具有美白活性^[9]，以具有美白活性的天然化合物熊果苷作为阳性对照，采用斑马鱼对提取出的部分化合物进行了美白活性的初步研究（图 4）。在体视显微镜（Nikon SMZ800N）下，将受精 12 h 后健康的斑马鱼胚胎随机分为空白对照组、阳性对照组（熊果苷）和实验组。胚胎置于 24 孔板中，每孔 5 个，溶液体系 1 mL，每组设置 2 个复孔。空白对照组胚胎置于 E3 培养基中。阳性对照组将胚胎置于含 200、400、600、

表 4 不同实验组的黑色素合成抑制率 ($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Inhibitory rate of melanin synthesis in different groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	黑色素合成的抑制率/%
空白对照	0.00 $\pm$ 0.00
熊果苷	34.07 $\pm$ 18.46*
化合物 8	42.29 $\pm$ 24.79*

与空白对照组比较，* $P < 0.05$ 。

* $P < 0.05$ vs blank control group.

物 8 的美白效果强于同浓度的熊果苷。

5 讨论

对芦根乙醇提取物经有机溶剂萃取后的水部分的化学研究，共分离鉴定了 9 个高极性的苯丙素苷类化合物，其中 2 个为新化合物；同时，对部分苯丙素苷类化合物美白活性的初步研究，结果表明化合物 5、7、8 具有较强美白活性，且均强于同浓度

的熊果苷, 根据实验结果可推测苯丙素苷类的美白效果与 1'位和 2'位碳原子的构型和苯环上的取代基有关。以上研究结果为寻找具有美白活性的天然化合物以及芦根的进一步研究开发提供了科学依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 171.
- [2] 吕选民, 常钰曼. 柴草瓜果篇 第 67 讲 芦根 [J]. 中国乡村医药, 2021, 28(3): 58-59.
- [3] Ren Y, Cui G D, He L S, *et al.* Traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicology of *Rhizoma Phragmitis*: A narrative review [J]. *Chin J Integr Med*, 2022, 28(12): 1127-1136.
- [4] 秦涛, 高祉婧, 苏艳芳, 等. 芦根化学成分及其抗氧化和 α -葡萄糖苷酶抑制活性 [J]. 中成药, 2022, 44(3): 798-806.
- [5] 赵伟伊, 苏艳芳, 秦涛, 等. 芦根中 2 个新的苯丙素苷类化合物 [J]. 中草药, 2022, 53(19): 5955-5958.
- [6] Yang F, Su Y F, Bi Y P, *et al.* Three new kaempferol glycosides from *Cardamine leucantha* [J]. *Helv Chim Acta*, 2010, 93(3): 536-541.
- [7] Takara K, Otsuka K, Wada K, *et al.* 1, 1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging activity and tyrosinase inhibitory effects of constituents of sugarcane molasses [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2007, 71(1): 183-191.
- [8] Katagiri S, Watanabe Y, Yaoita Y, *et al.* Two new phenolic glycosides from *Viburnum plicatum* var. *plicatum* f. *plicatum* [J]. *Nat Prod Commun*, 2011, 6(12): 1901-1904.
- [9] Koo H J, Ha C W, Kim S H, *et al.* Evaluation of whitening, anti-wrinkle, and moisturizing effects of *Phragmitis Rhizoma* [J]. *J Korea Acad Ind Coop Soc*, 2021, 22(11): 277-286.
- [10] 万庆家, 于晓霞, 张浩, 等. 库拉索芦荟花的美白功效研究 [J]. 香料香精化妆品, 2020(5): 46-48.

[责任编辑 王文倩]