

玉米须化学成分研究 (II)

武二岩¹, 赵明^{1,2,3*}, 时志春^{1,2,3}, 李军^{1,2,3}, 孙立秋^{1,2,3}, 王丹^{1,2,3}, 赵英楠^{1,2,3}

1. 齐齐哈尔大学化学与化学工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006

2. 黑龙江省工业大麻加工技术创新中心, 黑龙江 齐齐哈尔 161006

3. 国家市场监督管理总局技术创新中心(工业大麻), 黑龙江 齐齐哈尔 161006

摘要: 目的 研究玉米 *Zea mays* 须醋酸乙酯部位的化学成分。方法 采用硅胶柱色谱, 半制备高效液相色谱等技术进行分离纯化, 综合应用 MS、NMR 等现代波谱技术并结合现有文献资料, 对得到的单体化合物进行结构鉴定。结果 从玉米须醋酸乙酯部位中分离得到 20 个化合物, 分别鉴定为 (2'R)-4-O-(2'-吡咯烷酮)丁酸甲酯(1)、1,3-二羟基-2,4 己烯酸丙酯(2)、ryecyanatine A(3)、邻羟基肉桂酸(4)、4-羟基-2 丁酮(5)、6,7-二甲氧基-2-苯并噁唑啉酮(6)、吲哚-3-甲醛(7)、阿魏酸(8)、丁二酸单乙酯(9)、玉米烯 F(10)、香草酸(11)、对羟基肉桂酸(12)、zeanol B(13)、山梨酸甘油酯(14)、(2R)-2,3-二羟基丙基己酸酯(15)、(2S)-2,3-二羟基丙基己酸酯(16)、对羟基苯甲酸(17)、N-顺式对羟基肉桂酰对羟基苯乙胺(18)、N-反式对羟基肉桂酰对羟基苯乙胺(19)、壬二酸(20)。结论 化合物 1 和 2 为新化合物, 分别命名为玉米酰胺 A 和玉米酯 A。化合物 14 首次作为天然产物分离得到, 化合物 3、5~7、9、15~16 为首次从该植物中分离得到。

关键词: 玉米须; 玉米酰胺 A; 玉米酯 A; 山梨酸甘油酯; 1,3-二羟基-2,4 己烯酸丙酯; (2'R)-4-O-(2'-吡咯烷酮)丁酸甲酯
中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2024)22-7583-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.22.002

Chemical constituents from styles and stigmas of *Zea mays* (II)

WU Eryan¹, ZHAO Ming^{1,2,3}, SHI Zhichun^{1,2,3}, LI Jun^{1,2,3}, SUN Liqiu^{1,2,3}, WANG Dan^{1,2,3}, ZHAO Yingnan^{1,2,3}

1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China

2. Heilongjiang Industrial Hemp Processing Technology Innovation Center, Qiqihar 161006, China

3. Technology Innovation Center of Industrial Hemp, State Administration for Market Regulation, Qiqihar 161006, China

Abstract: Objective To study the chemical constituents of the ethyl acetate fraction from styles and stigmas of *Zea mays*. **Methods** The compounds were isolated using silica gel column chromatography and subsequently subjected to semi-preparative high-performance liquid chromatography (HPLC) for further purification. Structural elucidation of the isolated compounds was achieved by mass spectrometry (MS) and nuclear magnetic resonance (NMR) spectrometry, corroborated with data from relevant literature. **Results** A total of twenty compounds were successfully isolated from the ethyl acetate fraction of the styles and stigmas of *Zea mays*, and their structures were identified as follows: (2'R)-4-O-(2'-pyrrolidinone) methyl butyrate (1), 1,3-dihydroxyl-2,4 propylene hexenyl (2), ryecyanatine A (3), *o*-hydroxy-cinnamic acid (4), 4-hydroxy-2-butanone (5), 6,7-dimethoxybenzoxazolin-2-one (6), indole-3-carboxaldehyde (7), ferulic acid (8), ethyl succinate (9), zeane F (10), vanillic acid (11), *p*-hydroxy-cinnamic acid (12), zeanol B (13), glycerides sorbitate (14), (2R)-2,3-dihydroxypropyl hexanoate (15), (2S)-2,3-dihydroxypropyl hexanoate (16), *p*-hydroxybenzaldehyde (17), *N*-(*cis-p*-coumaroyl) tyramine (18), *N*-(*trans-p*-coumaroyl) tyramine (19), azelaic acid (20). **Conclusion** Compounds 1 and 2 were identified as new compounds and were named zeamide A and zealide A, respectively. Compound 14 was first isolated as a natural product. Compounds 3, 5–7, 9, 15 and 16 were isolated from this plant for the first time.

Key words: styles and stigmas of *Zea mays*; zeamide A; zealide A; glycerides sorbitate; 1,3-dihydroxyl-2,4 propylene hexenyl; (2'R)-4-O-(2'-pyrrolidinone) methyl butyrate

收稿日期: 2024-09-18

基金项目: 中央支持地方高校改革发展资金人才培养项目 (HeiCaiJiao [2021]-137)。

作者简介: 武二岩 (2000—), 女, 黑龙江人, 硕士研究生, 主要从事天然产物方面的研究。E-mail: 1106393955@qq.com

*通信作者: 赵明 (1974—), 男, 黑龙江人, 博士, 主要从事天然产物方面的研究。E-mail: qqhrzhaoming@163.com

玉米 *Zea mays* Linn. 原产于中、南美洲, 后传至全球, 是重要的粮食经济作物^[1]。玉米的花柱和柱头被称作玉米须, 常被用做民间用药, 在我国最早被记录于《本草纲目》中, 1977 年, 玉米须被正式收录于《中国药典》, 其味甘、淡, 性平, 归膀胱、肝、胆经, 具有利尿消肿、清肝利胆、清热降火的功效^[2-5]。现代药理学研究表明, 玉米须具有多种生物活性, 如抗肿瘤、抗氧化、降血糖、抗炎等^[6-11]。由于目前对玉米须的化学成分研究还不够透彻, 对其药用成分组成分析尚不全面, 导致玉米须通常被视为农业废物丢弃, 造成了严重的植物资源浪费^[12]。本课题组前期对玉米须化学成分进行了研究^[8], 从甲醇浸提液醋酸乙酯萃取物中分离得到 4 个化合物, 并对其进行了细胞毒、葡萄糖消耗活性测定。

为了进一步开发利用玉米须植物资源, 本研究在前期研究的基础上, 对玉米须 95%乙醇提取液醋酸乙酯萃取物的化学成分进行了深入研究, 共分离得到 20 个化合物, 分别鉴定为 (2'R)-4-O-(2'-吡咯烷酮)丁酸甲酯 [(2'R)-4-O-(2'-pyrrolidinone) methyl butyrate, **1**]、1,3-二羟基-2,4-己烯酸丙酯 (1,3-dihydroxyl-2,4 propylene hexenyl, **2**)、ryecyanatine A (**3**)、邻羟基肉桂酸 (*o*-hydroxycinnamic acid, **4**)、4-羟基-2-丁酮 (4-hydroxy-2-butanone, **5**)、6,7-二甲氧基-2-苯并噁唑啉酮 (6,7-dimethoxybenzoxazolin-2-one, **6**)、吲哚-3-甲醛 (indole-3-carboxaldehyde, **7**)、阿魏酸 (ferulic acid, **8**)、丁二酸单乙酯 (ethyl succinate, **9**)、玉米烯 F (zeaene F, **10**)、香草酸 (vanillic acid, **11**)、对羟基肉桂酸 (*p*-hydroxycinnamic acid, **12**)、zeanol B (**13**)、山梨酸甘油酯 (glycerides sorbitate, **14**)、(2R)-2,3-二羟基丙基己酸酯 [(2R)-2,3-dihydroxypropyl hexanoate, **15**]、(2S)-2,3-二羟基丙基己酸酯 [(2S)-2,3-dihydroxypropyl hexanoate, **16**]、对羟基苯甲酸 (*p*-hydroxybenzaldehyde, **17**)、*N*-顺式对羟基肉桂酰对羟基苯乙胺 [*N*-(*cis-p*-coumaroyl) tyramine, **18**]、*N*-反式对羟基肉桂酰对羟基苯乙胺 [*N*-(*trans-p*-coumaroyl) tyramine, **19**]、壬二酸 (azelaic acid, **20**)。其中化合物 **1** 和 **2** 为新化合物, 分别命名为玉米酰胺 A 和玉米酯 A。化合物 **14** 为新天然产物, 化合物 **3**、**5**~**7**、**9**、**15**~**16** 为首次从该植物中分离得到。

1 仪器与材料

FW177 型中草药粉碎机 (天津泰斯特仪器有限

公司); X-6 型显微熔点测定仪 (北京泰克仪器有限公司); AUTOPOL V 型旋光仪 (鲁道夫公司, 美国); Xevo Q-TOF 型质谱仪 (Waters 公司, 美国); J-1500 CD 圆二色谱仪 (分光株式会社, 日本); Bruker AV-600 核磁共振波谱仪 (Bruker 公司, 德国); 半制备高压液相色谱仪 (岛津公司, 日本); LC-6AD 泵, RID-20A 视差折光检测器, Agilent PREP-SIL (250 mm×9.4 mm, 5 μm) 及 PREP-ODS (250 mm×9.4 mm, 5 μm) 不锈钢色谱柱; 柱色谱硅胶 (200~300 目, 青岛海洋化工厂); 薄层色谱 (TLC) 硅胶板 (烟台化工厂); ZA220R4 型电子天平 (上海赞维衡器有限公司); 有机溶剂 (安徽泽升科技有限公司), 半制备高效液相所用试剂为色谱纯, 其他试剂均为分析纯。

玉米须样品采于黑龙江省齐齐哈尔市依安县, 经齐齐哈尔大学张树军教授鉴定为玉米 *Z. mays* Linn. 的花柱和柱头, 标本 (20221025) 存放于齐齐哈尔大学天然产物研究室。

2 提取与分离

取干燥的玉米须 17.0 kg, 粉碎, 用 29.0 L 95%乙醇室温浸泡提取 3 d 后滤过, 重复 3 次, 合并浸提液, 浓缩至小体积后加水混悬, 用醋酸乙酯萃取 3 次, 合并萃取液, 减压浓缩至恒定质量, 得玉米须醋酸乙酯萃取物 28.5 g。采用硅胶柱色谱分离, 使用二氯甲烷-甲醇 (95:5~0:100) 溶剂体系进行洗脱, 经薄层硅胶板 (TLC) 检测合并相似流分, 得到 6 个组分 (Fr. 1~6)。

Fr. 1 (2.7 g) 采用硅胶柱色谱分离, 使用正己烷-醋酸乙酯 (8:2~0:1) 溶剂体系洗脱, 经 TLC 检测后, 将相似组分进行合并和浓缩, 得到 4 个组分 (Fr. 1.1~1.4)。Fr. 1.2 (293.8 mg) 经正相高效液相色谱纯化 [正己烷-醋酸乙酯 (8:2), 4.0 mL/min] 得到化合物 **3** (8.1 mg, $t_R=17.5$ min)、**4** (2.4 mg, $t_R=22.0$ min)。Fr. 1.3 (321.6 mg) 经正相高效液相色谱纯化 [正己烷-醋酸乙酯 (7:3), 4.0 mL/min] 得到化合物 **5** (8.2 mg, $t_R=18.0$ min)、**6** (2.1 mg, $t_R=22.5$ min)、**7** (1.5 mg, $t_R=30.0$ min)。Fr. 1.4 (79.2 mg) 经正相高效液相色谱纯化 [正己烷-醋酸乙酯 (5.5:4.5), 4.0 mL/min] 得化合物 **8** (5.7 mg, $t_R=7.5$ min)。

Fr. 2 (3.3 g) 采用硅胶柱色谱分离, 使用正己烷-醋酸乙酯 (8:2~0:1) 溶剂体系洗脱, 经 TLC 检测后, 将相似组分进行合并和浓缩, 得到 3 个组

分 (Fr. 2.1~2.3)。Fr. 2.1 (189.4 mg) 经正相高效液相色谱纯化 [正己烷-醋酸乙酯 (6.5:3.5), 4.0 mL/min] 得化合物 **9** (2.5 mg, t_R =11.5 min)、**10** (7.9 mg, t_R =14.0 min)、**11** (3.1 mg, t_R =17.0 min)、**12** (9.1 mg, t_R =18.5 min)。Fr. 2.2 (339.4 mg) 经反相高效液相色谱纯化 [甲醇-水 (4:6), 4.0 mL/min] 得化合物 **13** (2.5 mg, t_R =6.0 min)、**14** (4.0 mg, t_R =10.0 min)、**15** (1.6 mg, t_R =16.5 min)、**16** (1.3 mg, t_R =20.0 min)。

Fr. 3 (4.3 g) 采用硅胶柱色谱分离, 使用二氯甲烷-甲醇 (97:3~0:100) 溶剂体系洗脱, 经 TLC 检测后, 将相似组分进行合并和浓缩, 得到 4 个组分 (Fr. 3.1~3.4)。Fr. 3.1 (73.8 mg) 经反相高效液相色谱纯化 [甲醇-水 (3:7), 4.0 mL/min] 得化合物 **1** (3.5 mg, t_R =8.0 min)。Fr. 3.3 (938.2 mg) 采用硅胶柱色谱分离, 使用二氯甲烷-甲醇 (98:2~0:100) 梯度洗脱, 经 TLC 检测后, 将相似组分进行合并和浓缩, 得到 3 个组分 (Fr. 3.3.1~3.3.3)。Fr. 3.3.1 (97.6 mg) 经反相高效液相色谱纯化 [甲醇-水 (3.5:6.5), 4.0 mL/min] 得化合物 **17** (3.7 mg, t_R =6.5 min)。Fr. 3.3.3 (309.3 mg) 经反相高效液相色谱纯化 [甲醇-水 (4:6), 4.0 mL/min] 得化合物 **2** (1.7 mg, t_R =8.0 min)、**18** (4.8 mg, t_R =12.5 min)、**19** (9.8 mg, t_R =23.5 min)、**20** (4.4 mg, t_R =27.5 min)。

3 结构鉴定

化合物 **1**: 无色酯状物, $[\alpha]_D^{25} +25.5^\circ$ (c 0.05, CH₃OH), HR-ESI-MS m/z : 224.089 0 [$M+Na$]⁺ (计算值 224.089 3), 推测分子式为 C₉H₁₅NO₄, 具有 3 个不饱和度。IR 谱图显示该化合物存在氨基 (3 423 cm⁻¹) 和羰基 (1 735 cm⁻¹) 等特征吸收峰。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆, 表 1) 中, 在 δ 8.62 (1H, s) 给出 1 个可能为氨基上的质子信号; δ 4.84 (1H, d, J = 6.2 Hz, H-2') 给出 1 个连氧次甲基信号, 在 δ 3.59 (3H, s, 1-OCH₃) 给出 1 个甲氧基的质子信号, δ 3.44 (2H, m, H-4) 给出 1 个连氧亚甲基信号, δ 2.34 (2H, t, J = 7.4 Hz H-2), 2.18 (1H, m, H-3'), 1.83 (1H, m, H-3'), 2.25 (1H, m, H-4'), 2.03 (1H, m, H-4') 和 1.75 (2H, m, H-3) 给出 4 个饱和亚甲基信号。¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆, 表 1) 给出 9 个碳, 其中在 δ 177.8 给出 1 个酮羰基信号, δ 173.6 给出 1 个酯羰基信号, δ 85.6 给出 1 个与杂原子相连的碳, δ 65.6 给出 1 个连氧碳, δ 51.7 给出 1 个甲氧基碳, δ 30.7, 25.1, 28.5, 28.1 处给出 4 个亚甲基碳。

表 1 化合物 **1** 的 ¹H-NMR 和 ¹³C-NMR 数据 (600/150 MHz, DMSO-*d*₆)

碳位	δ_H	δ_C
1		173.6
2	2.34 (2H, t, J = 7.4 Hz)	30.7
3	1.75 (2H, m)	25.1
4	3.44 (2H, m)	65.6
1'	8.62 (1H, s)	
2'	4.84 (1H, d, J = 6.2 Hz)	85.6
3'	2.18 (1H, m), 1.83 (1H, m)	28.5
4'	2.25 (1H, m), 2.03 (1H, m)	28.1
5'		177.9
-OCH ₃	3.59 (3H, s)	51.7

由 HMBC 谱可知, H-2 (δ 2.34) 与 C-1 (δ 173.6)/C-3 (δ 25.1)/C-4 (δ 65.6) 相关, H-3 (δ 1.75) 与 C-1 (δ 173.6)/C-2 (δ 30.7)/C-4 (δ 65.6) 相关, H-4 (δ 3.44) 与 C-2 (δ 30.7)/C-3 (δ 25.1)/C-2' (δ 85.6) 相关, H-1' (δ 8.62) 与 C-2' (δ 85.6)/C-3' (δ 28.5)/C-4' (δ 28.1)/C-5' (δ 177.9) 相关, H-2' (δ 4.84) 与 C-4 (δ 65.6)/C-3' (δ 28.5)/C-4' (δ 28.1)/C-5' (δ 177.9) 相关, H-3' (δ 2.18, 1.83) 与 C-2' (δ 85.6)/C-4' (δ 28.1)/C-5' (δ 177.9) 相关, H-4' (δ 2.25, 2.03) 与 C-2' (δ 85.6)/C-3' (δ 28.5)/C-5' (δ 177.9) 相关, -OCH₃ (δ 3.59) 与 C-1 (δ 173.6) 相关。由 ¹H-¹H COSY 谱可知, H-2 (δ 2.34) 与 H-3 (δ 1.75) 相关, H-3 (δ 1.75) 与 H-4 (δ 3.44) 相关, H-1' (δ 8.62) 与 H-2' (δ 4.84) 相关, H-2' (δ 4.84) 与 H-3' (δ 2.18, 1.83) 相关, H-3' (δ 2.18, 1.83) 与 H-4' (δ 2.25, 2.03) 相关。由此推得化合物 **1** 的平面结构, 通过分析实验和计算的圆二色性 (ECD) 光谱, 确定了化合物 **1** 的绝对构型为 *R* 构型, 其结构为 (2'*R*)-4-*O*-(2'-吡咯烷酮)丁酸甲酯, 经 Sci-Finder 检索, 未发现相关报道, 确定化合物 **1** 为新化合物, 并将其命名为玉米酰胺 A (zeamide A)。其 NMR 数据见表 1, 化学结构及主要 2D NMR 相关信号见图 1, 计算和测量的 ECD 光谱见图 2。

化合物 **2**: 无色酯状物, $[\alpha]_D^{25} +61.5^\circ$ (c 0.05, CH₃OH), HR-ESI-MS m/z : 209.078 4 [$M+Na$]⁺ (计算值 209.079 0), 推测分子式为 C₉H₁₄O₄, 具有 3 个不饱和度。IR 光谱图显示该化合物存在烷基 (2 935, 2 829 cm⁻¹)、羟基 (3 362 cm⁻¹)、双键 (1 668 cm⁻¹) 等特征吸收峰。¹H-NMR 谱 (表 2) 中显示, 在 δ

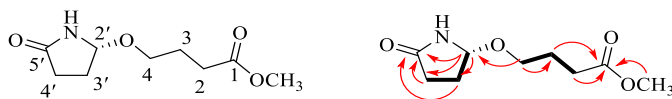
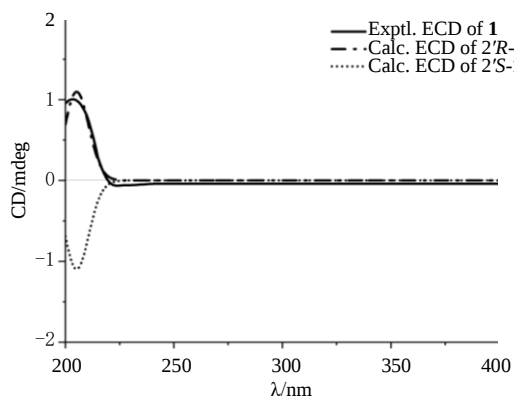
图 1 化合物 1 的结构及关键 HMBC (→) 和 ¹H-¹H COSY (—) 相关图谱Fig. 1 Chemical structure, key HMBC (H→C) and ¹H-¹H COSY (—) correlations of compound 1

图 2 化合物 1 的 ECD 图

Fig. 2 ECD spectra of compound 1

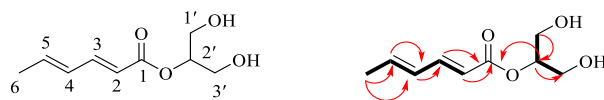
表 2 化合物 2 的 ¹H-NMR 和 ¹³C-NMR 数据 (600/150 MHz, DMSO-d₆)Table 2 ¹H-NMR and ¹³C-NMR data of compound 2 (600/150 MHz, DMSO-d₆)

碳位	δ _H	δ _C
1		166.8
2	5.87 (1H, m)	119.6
3	7.23 (1H, m)	145.3
4	6.30 (1H, m)	130.1
5	6.24 (1H, m)	140.1
6	1.83 (3H, d, J = 5.8 Hz)	18.9
1'	3.51 (2H, m)	60.3
2'	4.77 (1H, m)	75.9
3'	3.51 (2H, m)	60.3
1'-OH	3.33 (1H, s)	
3'-OH	3.33 (1H, s)	

7.23 (1H, m, H-3), 6.30 (1H, m, H-4), 6.24 (1H, m, H-5), 5.87 (1H, m, H-2) 给出 4 个可能不饱和碳上的质子信号; 在 δ 4.77 (1H, m, H-2') 给出 1 个可能为次甲基上的质子信号; 在 δ 3.51 (4H, m, H-1', 3') 给出 2 个可能为连氧亚甲基碳上的质子信号; 在 δ 1.83 (3H, d, J = 5.8 Hz, H-6) 给出 1 个甲基质子信号。¹³C-NMR 谱给出 9 个碳, 其中在 δ 166.7 处给出 1 个可能为酯羰基的碳信号, 在 δ 145.3, 140.1, 130.1,

119.6 处给出 4 个不饱和碳, 预示存在 2 个双键, 在 δ 60.3 处给出 2 个可能为连氧碳的碳信号。

由 HMBC 谱可知, H-2 (δ 5.87) 与 C-1 (δ 166.8)/C-3 (δ 145.3)/C-4 (δ 130.1) 相关, H-3 (δ 7.23) 与 C-1 (δ 166.8)/C-2 (δ 119.6)/C-4 (δ 130.1)/C-5 (δ 140.1) 相关, H-4 (δ 6.30) 与 C-2 (δ 119.6)/C-3 (δ 145.3)/C-5 (δ 140.1)/C-6 (δ 18.9) 相关, H-5 (δ 6.24) 与 C-3 (δ 145.3)/C-4 (δ 130.1)/C-6 (δ 18.9) 相关, H-6 (δ 1.83) 与 C-4 (δ 130.1)/C-5 (δ 140.1) 相关, H-1' (δ 3.51) 与 C-2' (δ 75.9)/C-3' (δ 60.3) 相关, H-2' (δ 4.77) 与 C-1 (δ 166.8)/C-1' (δ 60.3)/C-3' (δ 60.3) 相关, H-3' (δ 3.51) 与 C-1' (δ 60.3)/C-2' (δ 75.9) 相关。由 ¹H-¹H COSY 谱可知, H-2 (δ 5.87) 与 H-3 (δ 7.23) 相关, H-3 (δ 7.23) 与 H-4 (δ 6.30) 相关, H-4 (δ 6.30) 与 H-5 (δ 6.24) 相关, H-5 (δ 6.24) 与 H-6 (δ 1.83) 相关, H-1' (δ 3.51) 与 H-2' (δ 4.77) 相关, H-2' (δ 4.77) 与 H-3' (δ 3.51) 相关。由此推测化合物 2 的结构为 1,3-二羟基-2,4-己烯酸丙酯, 经 Sci-Finder 检索, 未发现相关报道, 确定化合物 2 为新化合物, 并将其命名为玉米酯 A (zealide A)。其 NMR 数据见表 2, 化学结构及主要 2D NMR 相关信号见图 3。

图 3 化合物 2 的结构及关键 HMBC (→) 和 ¹H-¹H COSY (—) 相关图谱Fig. 3 Chemical structure, key HMBC (H→C) and ¹H-¹H COSY (—) correlations of compound 2

化合物 3: 白色粉末, mp 146~148 °C; HR-ESI-MS *m/z*: 188.031 1 [M + Na]⁺ (计算值 188.031 8), 分子式为 C₈H₇NO₃。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ: 8.86 (1H, s, 4-OH) 6.97 (1H, d, J = 8.5 Hz, H-6), 6.84 (1H, d, J = 2.3 Hz, H-3), 6.72 (1H, dd, J = 8.5, 2.3 Hz, H-5), 3.81 (3H, s, 3-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ: 144.6 (C-1), 156.2 (C-2), 97.6 (C-3), 156.0 (C-4), 109.7 (C-5), 110.0 (C-6), 122.7

(1-OCN), 56.0 (3-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[13], 故鉴定化合物 **3** 为 ryecyanatine A。

化合物 **4**: 白色粉末, mp 217~218 °C; HR-ESI-MS m/z : 163.038 3 [M-H]⁻ (计算值 163.038 9), 分子式为 C₉H₈O₃。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.17 (1H, brs, -COOH), 10.20 (1H, brs, Ar-OH), 7.80 (1H, d, *J* = 15.6 Hz, H-7), 7.56 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-6), 7.21 (1H, t, *J* = 8.4 Hz, H-4), 6.90 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-3), 6.82 (1H, t, *J* = 8.4 Hz, H-5), 6.51 (1H, d, *J* = 15.6 Hz, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 121.4 (C-1), 157.1 (C-2), 116.6 (C-3), 131.9 (C-4), 119.8 (C-5), 129.1 (C-6), 140.0 (C-7), 118.8 (C-8), 168.6 (C-9)。以上数据与文献报道基本一致^[14], 故鉴定化合物 **4** 为邻羟基肉桂酸。

化合物 **5**: 无色油状物; HR-ESI-MS m/z : 89.059 1 [M+H]⁺ (计算值 89.059 7), 分子式为 C₄H₈O₂。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ: 5.82 (1H, s, 4-OH), 4.38 (2H, t, *J* = 6.0 Hz, H-4), 2.38 (2H, t, *J* = 6.0 Hz, H-3), 2.01 (3H, s, H-1); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ: 29.7 (C-1), 208.9 (C-2), 45.0 (C-3), 57.1 (C-4)。以上数据与文献报道基本一致^[15], 故鉴定化合物 **5** 为 4-羟基-2-丁酮。

化合物 **6**: 白色粉末, mp 180~182 °C; HR-ESI-MS m/z : 196.059 8 [M+H]⁺ (计算值 196.060 4), 分子式为 C₉H₉NO₄。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ: 8.22 (1H, brs, -NH), 6.70 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-4), 6.61 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-5), 4.16 (3H, s, 6-OCH₃), 3.86 (3H, s, 7-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ: 134.4 (C-1), 154.7 (C-2), 124.4 (C-3), 108.3 (C-4), 101.7 (C-5), 147.5 (C-6), 134.5 (C-7), 57.2 (6-OCH₃), 60.6 (7-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[16], 故鉴定化合物 **6** 为 6,7-二甲氧基-2-苯并噁唑啉酮。

化合物 **7**: 白色粉末, mp 196~198 °C; HR-ESI-MS m/z : 144.044 2 [M-H]⁻ (计算值 144.044 9), 分子式为 C₉H₇NO。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 9.93 (1H, s, -CHO), 8.28 (1H, s, H-2), 8.09 (1H, d, *J* = 7.8 Hz, H-4), 7.51 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-7), 7.27~7.20 (2H, m, H-5, 6); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 139.4 (C-2), 118.7 (C-3), 122.6 (C-4), 121.3 (C-5), 123.9 (C-6), 112.9 (C-7), 124.6 (C-8), 138.8 (C-9), 185.4 (3-CHO)。以上数据与文献报道基本一致^[17], 故鉴定化合物 **7** 为吡啶-3-甲醛。

化合物 **8**: 白色粉末, mp 170~173 °C; HR-ESI-

MS m/z : 195.064 7 [M+H]⁺ (计算值 195.065 2), 分子式为 C₁₀H₁₀O₄。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.08 (1H, brs, -COOH), 9.56 (1H, s, Ar-OH), 7.48 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-7), 7.28 (1H, d, *J* = 1.8 Hz, H-2), 7.08 (1H, dd, *J* = 8.1, 1.8 Hz, H-6), 6.79 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-5), 6.37 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-8), 3.82 (3H, s, -OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 126.4 (C-1), 111.8 (C-2), 149.7 (C-3), 148.5 (C-4), 116.3 (C-5), 123.5 (C-6), 145.1 (C-7), 116.1 (C-8), 168.6 (C-9), 56.3 (3-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[18], 故鉴定化合物 **8** 为阿魏酸。

化合物 **9**: 无色油状物; HR-ESI-MS m/z : 145.049 0 [M-H]⁻ (计算值 145.049 5), 分子式为 C₆H₁₀O₄。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.26 (1H, s, -COOH), 4.05 (2H, q, *J* = 7.2 Hz, H-1'), 2.48 (2H, dd, *J* = 1.8, 6.0 Hz, H-2), 2.45 (2H, dd, *J* = 1.8, 6.0 Hz, H-3), 1.17 (3H, t, *J* = 7.2 Hz, H-2'); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 173.9 (C-1), 29.2 (C-2), 29.2 (C-3), 172.6 (C-4), 60.4 (C-1'), 14.5 (C-2')。以上数据与文献报道基本一致^[19], 故鉴定化合物 **9** 为丁二酸单乙酯。

化合物 **10**: 白色粉末, [α]_D²⁵ -83.5° (c 0.065, CHCl₃); HR-ESI-MS m/z : 269.114 3 [M+Na]⁺ (计算值 269.114 8), 分子式为 C₁₅H₁₈O₃。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ: 8.05 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-3, 5), 7.59 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-2, 6), 6.27 (1H, t, *J* = 3.7 Hz, H-12), 4.08 (1H, s, H-8), 2.27 (2H, m, H-11), 1.69 (1H, m, H-10), 1.38 (1H, m, H-10), 1.10 (3H, s, H-13), 0.95 (3H, s, H-14); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ: 137.8 (C-1), 126.0 (C-2), 130.3 (C-3), 129.8 (C-4), 130.3 (C-5), 126.0 (C-6), 146.3 (C-7), 74.0 (C-8), 33.9 (C-9), 29.3 (C-10), 24.1 (C-11), 127.5 (C-12), 25.3 (C-13), 23.8 (C-14), 170.8 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致^[20], 故鉴定化合物 **10** 为玉米烯 F。

化合物 **11**: 白色针状晶体 (甲醇), mp 208~210 °C; HR-ESI-MS m/z : 167.033 4 [M-H]⁻ (计算值 167.033 9), 分子式为 C₈H₈O₄。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 12.44 (1H, s, -COOH), 9.84 (1H, s, Ar-OH), 7.44 (1H, d, *J* = 7.8 Hz, H-6), 7.43 (1H, s, H-2), 6.84 (1H, d, *J* = 7.8 Hz, H-5), 3.81 (3H, s, 3-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 122.1 (C-1), 113.2 (C-2), 147.7 (C-3), 151.5 (C-4), 115.5

(C-5), 123.9 (C-6), 167.7 (C-7), 56.0 (3-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[21], 故鉴定化合物 **11** 为香草酸。

化合物 **12**: 白色粉末, mp 211~213 °C; HR-ESI-MS m/z : 165.054 1 [M+H]⁺ (计算值 165.054 6), 分子式为 C₉H₈O₃。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 12.10 (1H, brs, -COOH), 9.96 (1H, brs, Ar-OH), 7.51 (2H, d, J = 8.4 Hz, H-2, 6), 7.48 (1H, d, J = 15.6 Hz, H-7), 6.78 (2H, d, J = 8.4 Hz, H-3, 5), 6.28 (1H, d, J = 15.6 Hz, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 125.7 (C-1), 130.6 (C-2), 116.2 (C-3), 160.1 (C-4), 116.2 (C-5), 130.6 (C-6), 144.6 (C-7), 115.8 (C-8), 168.4 (C-9)。以上数据与文献报道基本一致^[22], 故鉴定化合物 **12** 为对羟基肉桂酸。

化合物 **13**: 白色粉末, $[\alpha]_D^{25}$ -20° (c 0.3, CH₃OH); HR-ESI-MS m/z : 275.127 1 [M+Na]⁺ (计算值 275.125 9), 分子式为 C₁₄H₂₀O₄。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 5.38 (1H, s, 1-OH), 4.08 (1H, d, J = 4.8 Hz, 4-OH), 2.03 (1H, m, H-2) 1.40 (1H, m, H-2), 1.68 (1H, m, H-3) 1.52 (1H, m, H-3), 3.82 (1H, m, H-4), 1.92 (1H, m, H-5) 1.68 (1H, m, H-5), 3.69 (1H, s, H-6), 4.63 (1H, d, J = 2.4 Hz, H-8), 2.32 (1H, d, J = 16.8 Hz, H-10), 2.06 (1H, m, H-10), 5.79 (1H, s, H-12), 1.06 (3H, s, H-13), 0.82 (3H, s, H-14); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 74.7 (C-1), 26.4 (C-2), 27.3 (C-3), 63.2 (C-4), 31.6 (C-5), 79.4 (C-6), 172.3 (C-7), 81.8 (C-8), 40.9 (C-9), 50.2 (C-10), 198.2 (C-11), 118.0 (C-12), 28.0 (C-13), 19.1 (C-14)。以上数据与文献报道基本一致^[23], 故鉴定化合物 **13** 为 zeal B。

化合物 **14**: 无色酯状物, $[\alpha]_D^{25}$ +65.5° (c 0.05, CH₃OH), HR-ESI-MS m/z : 209.077 7 [M+Na]⁺ (计算值 209.079 0); ¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 7.23 (1H, dd, J = 15.6, 9.9 Hz, H-3), 6.28 (2H, m, H-4, 5), 5.86 (1H, d, J = 15.6 Hz, H-2), 4.90 (1H, d, J = 5.4 Hz, 2'-OH), 4.65 (1H, t, J = 5.4 Hz, 3'-OH), 4.11 (1H, dd, J = 11.2, 6.6 Hz, H-3'), 3.96 (1H, dd, J = 11.2, 6.6 Hz, H-3'), 3.65 (1H, m, H-2'), 3.36 (2H, m, H-1'), 1.82 (3H, d, J = 5.7 Hz, H-6); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 166.8 (C-1), 119.2 (C-2), 145.4 (C-3), 130.1 (C-4), 140.3 (C-5), 18.9 (C-6), 66.1 (C-1'), 69.8 (C-2'), 63.1 (C-3')。以上数据与文献报道基本一致^[24], 故鉴定化合物 **14** 为山梨酸甘油酯。

经系统查阅文献, 目前仅发现该化合物通过人工合成的方式被制备, 尚未在植物的次级代谢过程中发现其存在。

化合物 **15**: 无色酯状物, $[\alpha]_D^{25}$ -21.6° (c 0.05, DMSO); HR-ESI-MS m/z : 213.109 3 [M+Na]⁺ (计算值 213.109 7), 分子式为 C₉H₁₈O₄。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 4.86 (1H, d, J = 5.4 Hz, 2'-OH), 4.63 (1H, t, J = 5.4 Hz, 3'-OH), 3.95 (2H, dd, J = 4.2, 11.2 Hz, H-1'), 3.62 (1H, m, H-2'), 3.45 (2H, m, H-3'), 2.27 (2H, t J = 7.2 Hz, H-2), 1.52 (2H, m, H-3), 1.25 (4H, m, H-4, 5), 0.86 (3H, t, J = 6.9 Hz, H-6); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 173.4 (C-1), 33.9 (C-2), 31.1 (C-3), 24.6 (C-4), 22.3 (C-5), 14.3 (C-6), 65.9 (C-1'), 69.8 (C-2'), 63.1 (C-3')。以上数据与文献报道基本一致^[25], 故鉴定化合物 **15** 为 (2R)-2,3-二羟基丙基己酸酯。

化合物 **16**: 无色酯状物, $[\alpha]_D^{25}$ +21.6° (c 0.05, DMSO); HR-ESI-MS m/z : 213.109 3 [M+Na]⁺ (计算值 213.109 7), 分子式为 C₉H₁₈O₄。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 4.86 (1H, d, J = 5.4 Hz, 2'-OH), 4.63 (1H, t, J = 5.4 Hz, 3'-OH), 3.95 (2H, dd, J = 4.2, 11.2 Hz, H-1'), 3.62 (1H, m, H-2'), 3.45 (2H, m, H-3'), 2.27 (2H, t J = 7.2 Hz, H-2), 1.52 (2H, m, H-3), 1.25 (4H, m, H-4, 5), 0.86 (3H, t, J = 6.9 Hz, H-6); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 173.4 (C-1), 33.9 (C-2), 31.1 (C-3), 24.6 (C-4), 22.3 (C-5), 14.3 (C-6), 65.9 (C-1'), 69.8 (C-2'), 63.1 (C-3')。以上数据与文献报道基本一致^[25], 故鉴定化合物 **16** 为 (2S)-2,3-二羟基丙基己酸酯。

化合物 **17**: 白色粉末, mp 213~217 °C; HR-ESI-MS m/z : 137.023 0 [M-H]⁻ (计算值 137.023 3), 分子式为 C₇H₆O₃。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 12.38 (1H, brs, -COOH), 10.24 (1H, brs, Ar-OH), 7.79 (2H, d, J = 9.0 Hz, H-3, 5), 6.82 (2H, d, J = 9.0 Hz, H-2, 6); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 121.8 (C-1), 132.0 (C-2), 115.6 (C-3), 162.1 (C-4), 115.6 (C-5), 132.0 (C-6), 167.6 (C-7)。以上数据与文献报道基本一致^[26], 故鉴定化合物 **17** 为对羟基苯甲酸。

化合物 **18**: 无色蜡状物; HR-ESI-MS m/z : 284.127 7 [M+H]⁺ (计算值 284.128 1), 分子式为 C₁₇H₁₇NO₃。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 9.83 (1H, brs, 7-OH), 9.20 (1H, brs, 6'-OH), 8.10 (1H, t, J = 5.5 Hz, -NH), 7.69 (2H, d, J = 8.8 Hz, H-5, 9),

7.10 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, H-6, 8), 7.00 (2H, d, $J = 7.8$ Hz, H-4', 8'), 6.71 (2H, d, $J = 7.8$ Hz, H-5', 7'), 6.48 (1H, d, $J = 12.9$ Hz, H-3), 5.76 (1H, d, $J = 12.9$ Hz, H-2), 3.26 (2H, d, $J = 7.8$ Hz, H-1'), 2.61 (2H, t, $J = 7.8$ Hz, H-2'); ^{13}C -NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 166.6 (C-1), 121.2 (C-2), 136.9 (C-3), 129.9 (C-4), 132.3 (C-5, 9), 115.3 (C-6, 8), 158.6 (C-7), 40.9 (C-1'), 34.7 (C-2'), 126.6 (C-3'), 129.9 (C-4', 8'), 115.6 (C-5', 7'), 156.2 (C-6'). 以上数据与文献报道基本一致^[27], 故鉴定化合物 **18** 为 *N*-顺式对羟基肉桂酸酰基-对羟基苯乙胺。

化合物 **19**: 白色粉末, mp 261~262 °C; HR-ESI-MS m/z : 284.127 9 [$\text{M} + \text{H}$] $^+$ (计算值 284.128 1), 分子式为 $\text{C}_{17}\text{H}_{17}\text{NO}_3$ 。 ^1H -NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 9.84 (1H, brs, 7-OH), 9.18 (1H, brs, 6'-OH), 8.02 (1H, t, $J = 5.6$ Hz, -NH), 7.38 (2H, d, $J = 8.6$ Hz, H-5, 9), 7.31 (1H, d, $J = 15.7$ Hz, H-3), 7.01 (2H, d, $J = 8.6$ Hz, H-6, 8), 6.77 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-4', 8'), 6.68 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-5', 7'), 6.40 (1H, d, $J = 15.7$ Hz, H-2), 3.30 (2H, m, H-1'), 2.64 (2H, t, $J = 7.2$ Hz, H-2'); ^{13}C -NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 165.7 (C-1), 130.1 (C-2), 139.1 (C-3), 126.2 (C-4), 129.8 (C-5, 9), 116.1 (C-6, 8), 159.2 (C-7), 41.3 (C-1'), 34.8 (C-2'), 119.3 (C-3'), 129.5 (C-4', 8'), 115.6 (C-5', 7'), 156.3 (C-6'). 以上数据与文献报道基本一致^[28], 故鉴定化合物 **19** 为 *N*-反式对羟基肉桂酸酰基-对羟基苯乙胺。

化合物 **20**: 白色针状结晶 (甲醇), mp 105~106 °C; HR-ESI-MS m/z : 187.096 1 [$\text{M} - \text{H}$] $^-$ (计算值 187.096 5), 分子式为 $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_4$ 。 ^1H -NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 11.21 (2H, s, 1, 9-COOH), 2.18 (4H, m, H-2, 8), 1.48 (4H, m, H-3, 7), 1.25 (6H, brs, H-4~6); ^{13}C -NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 177.8 (1, 9-COOH), 34.9 (C-2, 8), 29.9 (C-3, 7), 25.9 (C-4, 5, 6)。以上数据与文献报道基本一致^[29], 故鉴定化合物 **20** 为壬二酸。

4 讨论

玉米须的药用历史悠久, 具有利尿排湿、清热泄烦、降血糖和改善血液循环等功效, 其药用价值在中医和民间疗法中得到了广泛认可和应用。本研究从玉米须醋酸乙酯萃取物中分离纯化鉴定了 20 个化合物, 其中化合物 **1** 和 **2** 为新化合物, 化合物 **14** 为新天然产物, 化合物 **3**、**5**~**7**、**9**、**15**~**16** 为

首次从该植物中分离得到。结构类型主要涉及生物碱、酚酸、倍半萜类, 其中生物碱类成分可能与玉米须的调节血脂活性有关; 酚酸类成分可能与玉米须的降血糖活性有关; 倍半萜类成分可能与玉米须的神经细胞保护活性有关^[30-32]。本研究进一步揭示了玉米须化学成分组成, 为玉米须药用资源的进一步开发利用奠定了基础。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 何海涛, 孙睿, 姜文超, 等. 玉米种植密度对大豆玉米带状复合种植体系干物质养分积累与转运的影响 [J]. 核农学报, 2024, 38(7): 1365-1374.
- [2] 李宗锴, 张金玲, 郭丽娜, 等. 玉米须化学成分研究进展 [J]. 化工时刊, 2022, 36(7): 23-31.
- [3] 赵媛媛, 董文婷, 孙国东, 等. 玉米须对糖尿病肾病大鼠肾组织和尿液代谢组学研究 [J]. 中国药理学通报, 2023, 39(8): 1566-1576.
- [4] 杨小倩, 郅慧, 张辉, 等. 玉米不同部位化学成分、药理作用、利用现状研究进展 [J]. 吉林中医药, 2019, 39(6): 837-840.
- [5] 卢丹, 周冬平, 黄霞. 八正散加减联合玉米须代茶饮治疗尿路感染临床疗效观察 [J]. 药品评价, 2022, 19(16): 987-989.
- [6] Zhu Y W, Li Y P, Li X, et al. Activities of polysaccharide fractions from corn silk: Hemostatic, immune, and anti-lung cancer potentials [J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 262(Pt 2): 130156.
- [7] 王庆颖, 张志锋, 吕露阳, 等. 花类药食同源中药安全性评价的研究进展 [J]. 中草药, 2021, 52(3): 864-872.
- [8] 李晓雪, 赵明, 马耀玲, 等. 玉米须化学成分研究 [J]. 中草药, 2021, 52(12): 3480-3484.
- [9] 律广富, 仇志凯, 常诗卓, 等. 玉米须总黄酮抗炎镇痛及对急性痛风性关节炎的改善作用研究 [J]. 药物评价研究, 2018, 41(2): 206-209.
- [10] 金丹莉, 段文慧, 朱郑裕, 等. 玉米须水提物的抗氧化及降尿酸活性 [J]. 现代食品科技, 2023, 39(7): 16-23.
- [11] 张晓玉, 潘宇翔, 王佳, 等. 玉米须中正丁醇萃取物的活性成分分析及其降血糖作用 [J]. 食品研究与开发, 2022, 43(14): 52-61.
- [12] Zheng G L, Chen Q X, Zhou F, et al. Retention properties and mechanism of agricultural waste maize whisker on atmospheric mercury [J]. *Bioresour Bioprocess*, 2023, 10(1): 67.
- [13] Cimmino A, Fernández-Aparicio M, Avolio F, et al. Ryecyanatines A and B and ryecarbonitriles A and B, substituted cyanatophenol, cyanatobenzo[1,3]dioxole, and benzo[1,3]dioxolecarbonitriles from rye (*Secale cereale*

- L.) root exudates: Novel metabolites with allelopathic activity on *Orobanch* seed germination and radicle growth [J]. *Phytochemistry*, 2015, 109: 57-65.
- [14] 王丹, 吴喜民, 张东东, 等. 桂枝中羧酸及其衍生物的化学成分研究 [J]. 中草药, 2019, 50(1): 8-12.
- [15] Možina Š, Iskra J. Aerobic oxidation of secondary alcohols with nitric acid and iron(III) chloride as catalysts in fluorinated alcohol [J]. *J Org Chem*, 2019, 84(22): 14579-14586.
- [16] Kosemura S, Emori H, Yamamura S, *et al.* Isolation and characterization of 4-chloro-6,7-dimethoxybenzoxazolin-2-one, a new auxin-inhibiting benzoxazolinone from *Zea mays* [J]. *Chem Lett*, 1995, 24(11): 1053-1054.
- [17] 高奇, 杨柳, 李齐激, 等. 民族药毛大丁草化学成分研究 [J]. 中药材, 2023, 46(7): 1688-1692.
- [18] 贾云鹏, 杨晓军, 王超, 等. 北柴胡根部的化学成分研究 [J]. 中草药, 2024, 55(2): 402-408.
- [19] 罗建蓉, 车逸豪, 苏锦松, 等. 彝药琵琶甲石油醚部位化学成分研究 [J]. 中药材, 2020, 43(12): 2924-2927.
- [20] Suzuki R, Iijima M, Okada Y, *et al.* Chemical constituents of the style of *Zea mays* L. with glycation inhibitory activity [J]. *Chem Pharm Bull*, 2007, 55(1): 153-155.
- [21] 冯卫生, 王建超, 何玉环, 等. 辛夷化学成分的研究 [J]. 中国药理学杂志, 2015, 50(24): 2103-2106.
- [22] 刘晓艳, 徐鬼, 杨秀伟, 等. 鸡血藤非黄酮类化学成分的研究 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(5): 1120-1127.
- [23] Shi Z C, Zhao M, Li X X, *et al.* Two new macrocarpene-type sesquiterpenes from the styles and stigmas of *Zea mays* [J]. *Phytochem Lett*, 2023, 55: 152-155.
- [24] Zappaterra F, Summa D, Semeraro B, *et al.* Enzymatic esterification as potential strategy to enhance the sorbic acid behavior as food and beverage preservative [J]. *Fermentation*, 2020, 6(4): 96.
- [25] Chen C Y, Han W B, Chen H J, *et al.* Optically active monoacylglycerols: Synthesis and assessment of purity [J]. *Eur J Org Chem*, 2013, 2013(20): 4311-4318.
- [26] 陈景新, 张丽媛, 倪林, 等. 圆齿野鸦椿中 1 个新的内酯类化合物 [J]. 中草药, 2020, 51(18): 4605-4609.
- [27] 杨伊妮, 刘博, 王兰金, 等. 玉米须中的酰胺类化合物 [J]. 齐齐哈尔大学学报 (自然科学版), 2022, 38(3): 67-69.
- [28] 郭志琴, 郭强, 朱枝祥, 等. 藏药多刺绿绒蒿的化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(7): 1152-1156.
- [29] 郭丽娜, 江黎明, 吴立军, 等. 无梗五加茎叶化学成分的研究 [J]. 沈阳药科大学学报, 2002, 19(3): 180-182.
- [30] 周昶, 黄蓉, 蔡园, 等. 天然产物中生物碱类成分调血脂作用机制研究进展 [J]. 中草药, 2024, 55(5): 1717-1727.
- [31] 蒋思绒, 王路雅, 贾雯靖, 等. 唐古特白刺果实酚酸类化学成分及 α -葡萄糖苷酶抑制活性研究 [J]. 中草药, 2023, 54(6): 1719-1727.
- [32] Qi X, Zhao P, Zhang Y, *et al.* Sesquiterpenes from stigma maydis (*Zea mays*) as a crop by-product and their potential neuroprotection and inhibitory activities of A β aggregation[J]. *Ind Crop Prod*, 2018, 121: 411-417.

[责任编辑 王文倩]