

喙花姜块茎和根中挥发油成分分析及其 α -葡萄糖苷酶抑制活性

祁悦¹, 梅文莉², 王雅丽², 陈惠琴², 戴好富^{1,2*}, 黄圣卓^{1,2*}

(1. 海南大学 林学院, 海南海口 570228; 2. 中国热带农业科学院热带生物技术研究所, 海南热带农业资源研究院, 海南省黎药资源天然产物研究与利用重点实验室, 海南海口 571101)

摘要:通过气相色谱-质谱联用技术分析鉴定水蒸气蒸馏法提取的喙花姜块茎和根中挥发油的化学成分, 再对其主要化合物进行检索分析其安全性。通过 4-硝基苯基- β -D-吡喃半乳糖苷(4-nitrophenyl- β -D-galactoside, PNPG)法分析其 α -葡萄糖苷酶抑制活性。结果表明, 喙花姜块茎和根中挥发油的化学成分大致相似, 但仍有部分差异, 主要成分均为单萜和倍半萜类, 其中桉油精相对含量最高, 分别达到 48.81% 和 37.23%。其主要化学成分也具有较好的食用安全性。喙花姜块茎和根中挥发油 α -葡萄糖苷酶的抑制活性高于阳性对照阿卡波糖。

关键词:喙花姜; 挥发油; 气相色谱-质谱联用; 成分分析; α -葡萄糖苷酶抑制

Analysis of Volatile Oils from Tubers and Roots of *Rhynchanthus beesianus* and Their α -Glucosidase Inhibitory Activities

QI Yue¹, MEI Wen-li², WANG Ya-li², CHEN Hui-qin², DAI Hao-fu^{1,2*}, HUANG Sheng-zhuo^{1,2*}

(1. College of Forestry, Hainan University, Haikou 570228, Hainan, China; 2. Hainan Key Laboratory of Research and Development of Natural Product from Li Folk Medicine, Hainan Institute for Tropical Agricultural Resources, Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, Hainan, China)

Abstract: The chemical components of volatile oil from the tubers and roots of *Rhynchanthus beesianus* extracted by steam distillation were analyzed and identified by gas chromatography-mass spectrometry. The main compounds were evaluated concerning their safety. An assay using 4-nitrophenyl- β -D-galactoside as substrate analyzed α -glucosidase inhibitory activity. The chemical components of the volatile oil in the tuber and root of *R. beesianus* were similar, but some differences were evident. The main components were monoterpenes and sesquiterpenes. The relative content of Eucalyptus was the highest, reaching 48.81% and 37.23% respectively. The main chemical components were safe to consume. Effects of volatile oil from tubers and roots of *R. beesianus* on α -glucosidase inhibitory activity were higher than the acarbose positive control.

Key words: *Rhynchanthus beesianus*; volatile oil; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); composition analysis; α -glucosidase inhibition

引文格式:

祁悦, 梅文莉, 王雅丽, 等. 喙花姜块茎和根中挥发油成分分析及其 α -葡萄糖苷酶抑制活性[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 160-166.

QI Yue, MEI Wenli, WANG Yali, et al. Analysis of Volatile Oils from Tubers and Roots of *Rhynchanthus beesianus* and Their α -Glucosidase Inhibitory Activities[J]. Food Research and Development, 2022, 43(8): 160-166.

基金项目: 2019 年海南省重点研发计划项目“黎族药用新增项目蔬菜收集、评价、示范与推广”(ZDYF2019029); 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-21)

作者简介: 祁悦(1997—), 女(汉), 硕士, 研究方向: 热带植物园林应用与评价。

* 通信作者: 戴好富, 男(汉), 研究员, 研究方向: 天然产物; 黄圣卓, 男(汉), 副研究员, 研究方向: 天然产物。

全世界有记载的姜科(zingiberaceae)植物约有52属,1300多种,主要分布于热带、亚热带和非洲地区,我国有21属,230多种,主要产于我国华南及西南等热带和亚热带地区^[1]。姜科植物富含挥发油和二苯基庚烷类成分,其中大多数具有药用和食用价值,许多种类具有悠久的药用历史^[2]。目前2020年版《中华人民共和国药典》收录的姜科植物有姜黄、莪术、郁金和益智等12种^[3],收入《中国药用植物志》的姜科植物有15属,95种之多^[4]。民间食用和药用的姜科植物草药则更多。其中喙花姜(*Rhynchanthus beesianus* W.W.Smith)又名滇高良姜、喙姜花、岩姜,是姜科喙花姜属(*Rhynchanthus*)植物,株高0.5 m~1.5 m,花型独特,是药用、观赏、食用植物,其块茎部分有芳香气味^[5-6]。该属植物在中国仅分布喙花姜一种,产于云南省,在缅甸亦有分布,生长于海拔1500 m~1900 m的疏林、灌丛或草地上,目前人工栽培较少。其在中国云南西双版纳和瑞丽等部分地区,替代高良姜和姜作为食用调料,食用部分为植物块茎和根,具有除臭矫味,遮盖牛羊肉的异味,形成菜肴独特风格等效果。有学者研究发现,喙花姜块茎的精油具有良好的抑菌和杀菌活性^[7],具有作为食品、香料以及医用的开发利用价值^[8-9]。但其芳香物质基础的研究仍少有报道,其香味化学性质和安全性缺乏科学证据,限制了喙花姜的开发利用。为了了解喙花姜的香味物质基础,研究其化学成分安全性,本研究采用气相色谱-质谱联用技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析了喙花姜块茎和根中挥发油的化学成分,检索分析其主要成分的哺乳动物消化道吸收能力和毒性,验证其作为功能性食品的开发潜力。在此基础上,对喙花姜块茎和根的挥发油进行 α -葡萄糖苷酶抑制活性试验,以期了解此植物的降血糖活性,为喙花姜的开发与利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

喙花姜植物样品于2018年被引种到海口,经海南省黎药资源天然产物研究与利用重点实验室黄圣卓博士鉴定为喙花姜(*Rhynchanthus beesianus* W.W.Smith),经过驯化栽培,2020年8月15日取样,喙花姜标本(HUANG00054)保存于中国热带农业科学院热带生物技术研究所天然产物化学研究室。

4-硝基苯基- β -D-吡喃半乳糖苷(4-nitrophenyl- β -D-galactoside, PNPG)、 α -葡萄糖苷酶:西格玛公司;二甲基亚砜(dimethyl sulfoxide, DMSO):天津富宇精细化工有限公司;磷酸盐缓冲液(phosphate buffered

saline, PBS):北京欣经科公司。

1.2 仪器与设备

EN2062电子秤:上海民侨精密科学仪器有限公司;98-1-B电热套:天津泰斯特仪器有限公司;7820A-5977E型气相色谱-质谱联用仪:美国安捷伦公司;CO₂恒温培养箱:英国RS Biotech公司;ELX-800型酶标仪:美国宝特公司。

1.3 试验方法

1.3.1 挥发油提取流程

将植物样品喙花姜块茎和根分别切碎,称取新鲜切碎的块茎488 g,根222 g,分别放入2 L圆底烧瓶中并加入1 L蒸馏水,然后用水蒸气蒸馏法提取10 h,直到挥发油量不再增加,之后分别收集喙花姜块茎和根中挥发油。得到块茎和根中的挥发油分别为0.54 g和0.31 g,根据下式计算提取率,分别为0.11%和0.14%。分别取提取好的喙花姜块茎和根挥发油2.6 mg和3.8 mg,置于离心管内,为后续 α -葡萄糖苷酶抑制活性试验备用。

$$\text{提取率}/\% = \frac{\text{挥发油质量}(\text{g})}{\text{样品鲜重}(\text{g})} \times 100$$

1.3.2 GC-MS分析条件

1.3.2.1 GC条件

色谱柱:HP-5MS 5% Phenyl Methyl Siloxane(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m)弹性石英毛细管柱;载气条件:高纯氦气(99.999%);升温程序:柱温50 $^{\circ}\text{C}$,以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至310 $^{\circ}\text{C}$,保持10 min;载气流量:1.0 mL/min;柱前压为43 kPa;进样量为1 μL ;不分流进样,溶剂延迟时间4.0 min。

1.3.2.2 MS条件

电子轰击离子源;电子能量为70 eV;发射电流为34.6 μA ;离子源温度为230 $^{\circ}\text{C}$;四极杆温度为150 $^{\circ}\text{C}$;倍增器电压为1718 kV;接口温度为250 $^{\circ}\text{C}$;质量范围是40 m/z ~ 800 m/z。

1.3.3 主要化合物的安全性分析

通过化学成分毒性检索网站(<https://www.chemsrc.com/>),分析喙花姜块茎和根的挥发油中相对含量超过1%的21个化合物的安全性。主要参考其logP的数值(部分未检索到试验数据,通过chemoffice软件模拟)和经大鼠口服的LD₅₀数值。

1.3.4 α -葡萄糖苷酶抑制活性测试

配制PBS溶液(0.1 mol/L, pH6.8), α -葡萄糖苷酶溶液(0.2 U/L),配制阳性对照阿卡波糖溶液(用DMSO溶解为终浓度1.06 mg/mL),梯度稀释6个浓度备用。配制PNPG(0.752 5 mg/mL)和配制待测样品,分别取

喙花姜块茎精油 2.6 mg, 喙花姜根精油 3.8 mg 用 DMSO 溶解成 3 mg/mL。取 450 μ L 配制好的 α -葡萄糖苷酶溶液用 pH6.8 的 PBS 溶液稀释于 EP 管中, 取 45 μ L 待测样品加至 EP 管中, 摇匀, 分别取 4 次 110 μ L 混合均匀的待测溶液于 96 孔板中。(阴性组与空白组: 取 450 μ L 配制好的 α -葡萄糖苷酶溶液于 EP 管中, 再取 45 μ L 的 DMSO 溶液加至 EP 管中, 摇匀, 分别取 4 次 110 μ L 混合均匀的待测溶液于 96 孔板中)

将 96 孔板放入 37 $^{\circ}$ C 的恒温箱反应 15 min, 然后各组均加入 40 μ L 的底物 PNPG, 空白: 加入 40 μ L PBS 溶液。将 96 孔板于 37 $^{\circ}$ C 放置 15 min 后取出。将酶标仪调至 405 nm 波长, 使用酶标仪测量每孔的 OD

值。测定各孔吸光度并计算抑制率, 计算公式如下。

$$\text{抑制率}/\% = \frac{OD_{\text{阴性组}} - OD_{\text{试验组}}}{OD_{\text{阴性组}} - OD_{\text{空白组}}} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 喙花姜块茎和根中挥发油成分分析

在 Data Analysis 化学工作站对总离子流图中的各色谱峰进行 MS 扫描后, 检索与比对图谱库 NIST2014 和 Wiley275, 鉴定喙花姜块茎和根中挥发油的化学成分。运用峰面积归一化法计算各化学成分的相对含量。喙花姜块茎和根中挥发油成分总离子流图如图 1 和图 2 所示, 鉴定的化学成分如表 1 所示。

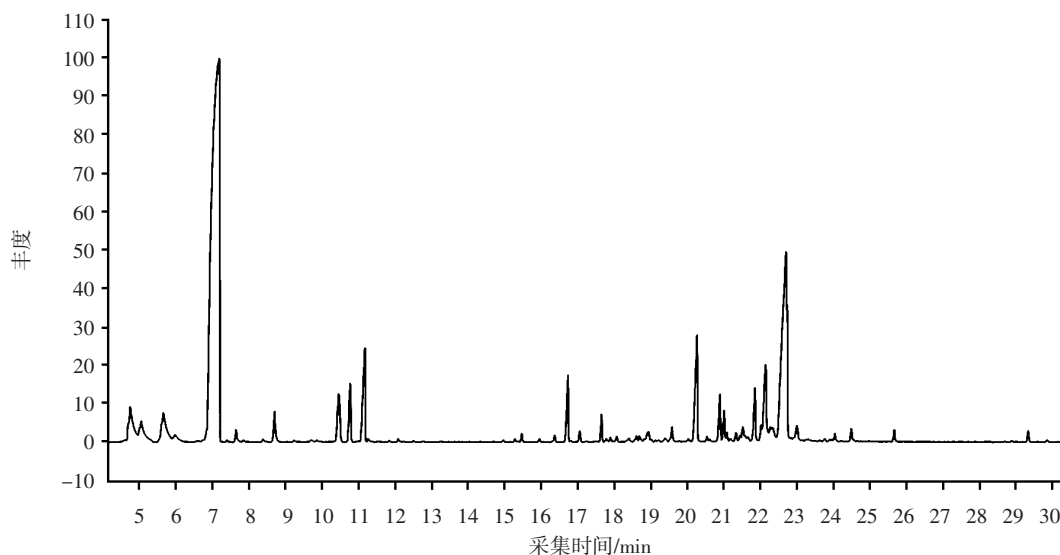


图 1 喙花姜块茎挥发油的 GC-MS 总离子流图

Fig.1 GC-MS total ion chromatogram of volatile oil from *Rhynchanthus beesianus* tubers

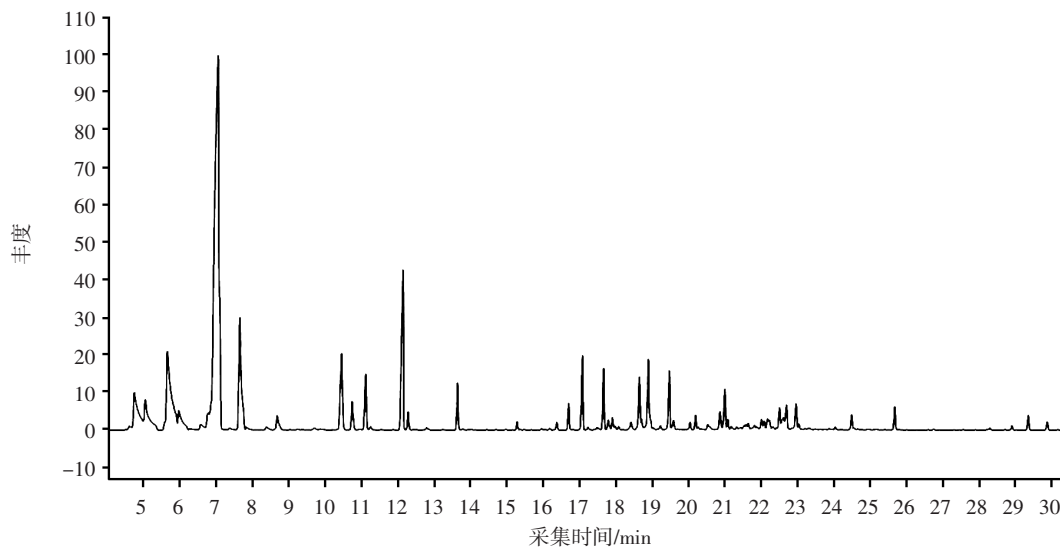


图 2 喙花姜根挥发油的 GC-MS 总离子流图

Fig.2 GC-MS total ion chromatogram of volatile oil from *R. beesianus* roots

通过图1、图2中喙花姜块茎和根中挥发油总离子流图对比发现,在保留时间0~10 min内的离子流和峰面积差异不明显,在保留时间10 min~20 min内,根挥发油的离子流强度和峰面积均较大,在保留时间20 min~30 min内,块茎挥发油的离子流峰强度和面积均较大;峰最高强度和峰面积最大值均出现在保留

时间7 min左右,其化学成分为桉油精。保留时间在4 min~17 min的化合物主要为单萜类成分,保留时间在17 min~30 min的化合物主要为倍半萜类成分。两种挥发油中鉴定出的化合物的总相对含量分别达到了98.92%和96.98%,较为充分地实现了分析两种挥发油的目的。

表1 喙花姜块茎和根中挥发油化学成分及其相对含量

Table 1 Chemical constituents and relative content of the volatile oil from the tubers and roots of *R. beesianus*

序号	保留时间/min	化合物	分子式	分子量	相对含量/%	
					块茎	根
1	4.734	α -蒎烯*	C ₁₀ H ₁₆	136	2.74	3.95
2	5.037	莰烯*	C ₁₀ H ₁₆	136	1.76	3.12
3	5.642	β -蒎烯*	C ₁₀ H ₁₆	136	2.46	8.35
4	5.963	β -香叶烯*	C ₁₀ H ₁₆	136	0.58	1.53
5	6.574	α -松油烯*	C ₁₀ H ₁₆	136		0.42
6	6.770	对伞花烃*	C ₁₀ H ₁₄	134		0.88
7	7.179	桉油精*	C ₁₀ H ₁₈ O	154	48.81	37.23
8	7.636	γ -松油烯*	C ₁₀ H ₁₆	136	0.36	6.26
9	8.693	芳樟醇*	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.98	0.79
10	10.449	(+)-龙脑*	C ₁₀ H ₁₈ O	154	2.09	3.85
11	10.764	4-萜烯醇*	C ₁₀ H ₁₈ O	154	1.73	1.14
12	11.168	α -松油醇*	C ₁₀ H ₁₈ O	154	3.52	2.14
13	12.141	甲酸龙脑酯*	C ₁₁ H ₁₈ O ₂	182		7.05
14	12.278	麝香草酚甲醚*	C ₁₁ H ₁₆ O	164		0.58
15	13.643	左旋乙酸龙脑酯*	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196		1.45
16	16.729	甲基丁香酚▲	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	178	1.86	0.79
17	17.056	β -石竹烯#	C ₁₅ H ₂₄	204	0.27	2.52
18	17.649	(-)-(1S,4R,5R)-愈创木-3,9-二烯#	C ₁₅ H ₂₄	204	0.64	2.02
19	17.785	α -古芸烯#	C ₁₅ H ₂₄	204		0.39
20	17.904	α -石竹烯#	C ₁₅ H ₂₄	204		0.39
21	18.646	2-异丙烯基-4a,8-二甲基-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢萘#	C ₁₅ H ₂₄	204		1.82
22	18.889	巴伦西亚橘烯#	C ₁₅ H ₂₄	204		2.62
23	18.943	二环大根香叶烯#	C ₁₅ H ₂₄	204	0.42	
24	19.584	δ -毕澄茄烯#	C ₁₅ H ₂₄	204	0.43	
25	20.267	榄香醇#	C ₁₅ H ₂₆ O	222	4.08	0.45
26	20.896	桉油烯醇#	C ₁₅ H ₂₄ O	220	1.38	0.68
27	21.008	石竹素#	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.79	1.44
28	21.335	愈创醇#	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.25	
29	21.525	7-表- α -桉叶油醇#	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.47	
30	21.857	γ -桉叶油醇#	C ₁₅ H ₂₆ O	222	5.04	
31	22.279	香橙烯氧化物-(II)#	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.50	
32	22.605	新臭根子草醇#	C ₁₅ H ₂₆ O	222		0.66
33	22.694	臭根醇#	C ₁₅ H ₂₆ O	222		0.97
34	22.706	β -桉叶油醇#	C ₁₅ H ₂₆ O	222	16.00	0.8
35	22.964	别香橙烯氧化物-(I)#	C ₁₅ H ₂₄ O	220		0.98
36	23.003	长叶烯醛#	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.82	
37	24.498	α -环氧雪松烯#	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.35	0.49
38	25.674	龙涎酮#	C ₁₆ H ₂₆ O	234	0.32	0.76
39	29.342	15,16-二去甲-8(17),11-赖百当二烯-13-酮●	C ₁₈ H ₂₈ O	260	0.27	0.46
40		单萜类化合物			65.03	78.74
41		倍半萜类化合物			31.76	16.99
42		其他			2.13	1.25
43		总计			98.92	96.98

注:*为单萜,#为倍半萜,▲为苯丙素,●为降二萜。

由表1可知,从喙花姜块茎和根的挥发油中分别鉴定出27个和32个化学成分,其相对含量总和占比分别为98.92%和96.98%,保留时间在4 min~17 min的化合物主要为单萜类成分,保留时间在17 min~30 min的化合物主要为倍半萜类成分,其中桉油精为两种挥发油的主要成分,相对含量分别为48.81%和37.23%。在喙花姜块茎的挥发油中,相对含量超过1%的化学成分有12个,主要为单萜和倍半萜类;相对含量超过5%的化学成分有3个,分别为桉油精(48.81%)、 β -桉叶油醇(16.00%)和 γ -桉叶油醇(5.04%)。在喙花姜根的挥发油中,相对含量超过1%的化学成分有16个,主要为单萜和倍半萜类;相对含量超过5%的成分有4个,分别为桉油精(37.23%)、 β -蒎烯(8.35%)、甲酸龙脑酯(7.05%)和 γ -松油烯(6.26%)。两种挥发油中有20个相同的化学成分,只在块茎中含有的化学成分有二环大根香叶烯和 δ -毕澄茄烯、愈创醇等7个;只在根中含有的化学成分有 α -松油烯、对伞花烺和甲酸龙脑酯等12个。通过GC-MS分析可知,喙花姜块茎和根的挥发油中成分均主要为单萜和倍半萜,块茎中单萜类总相对含量为65.03%,倍半萜类总相对含量为31.76%;根中单萜类总相对含量为78.74%,倍半萜类总相对含量为16.99%;桉油精在两种挥发油中的相对含量均最高(48.81%和37.23%);单萜均为其块茎和根中挥发油的主要成分类型。

2.2 主要化合物的安全性

对21个主要化合物的化学成分进行毒性检索,主要参考其logP的数值和经大鼠口服的LD₅₀数值,分析喙花姜块茎和根中主要化合物的安全性。

有机化合物的脂水分配系数(P)通常是指化合物在正辛醇和水两相间的分配系数,以其对数值来表示其大小,标记为logP,用于研究有机化合物在生物体内以及环境中的迁移行为^[10]。一般情况下,小于0代表强亲水性药物,吸收不好;0到3,吸收好;大于3代表强亲脂性药物,吸收不好;大于5会有严重吸收问题,需要考虑增加药物溶解性能来增加吸收。部分化合物安全性分析见表2。

由表2可知,桉油精的logP为2.82,(+)-龙脑、4-萜烯醇、 α -松油醇、左旋乙酸龙脑酯、甲基丁香酚、约在logP值为2左右,其余15个化合物logP>3。说明表2中大多数化合物并不能被人体很好的吸收,因此安全性较好。通过检索化合物口服LD₅₀发现,大多数主要成分能够查到相关试验结果,且均超过800 mg/kg,远超正常摄入量,可见安全性均较好。

通过对喙花姜块茎和根中挥发油的主要化学成

表2 主要化学成分安全性分析

Table 2 Safety analysis of main chemical compounds

序号	化合物	相对含量/%		大鼠 LD ₅₀ (mg/kg)	logP
		块茎	根		
1	α -蒎烯	2.74	3.95	3 700	4.37
2	蒎烯	1.76	3.12	-	4.37
3	β -蒎烯	2.46	8.35	-	4.37
4	β -香叶烯		1.53	>11 390	4.58
5	桉油精	48.81	37.23	2 480	2.82
6	γ -萜品烯		6.26	3 650	4.36
7	(+)-龙脑	2.09	3.85	-	2.19
8	4-萜烯醇	1.73	1.14	-	2.23*
9	α -松油醇	3.52	2.14	-	2.1*
10	甲酸龙脑酯		7.05	-	3.01
11	左旋乙酸龙脑酯		1.45	-	2.66*
12	甲基丁香酚	1.86		810	2.97
13	β -石竹烯		2.52	-	4.73
14	(-)-(1S,4R,5R)-愈创木-3,9-二烯		2.02	-	4.29*
15	2-异丙烯基-4a,8-二甲基-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢萘		1.82	-	4.87
16	巴伦西亚橘烯		2.62	-	4.48*
17	榄香醇	4.08		-	3.94
18	桉油烯醇	1.38		-	3.01*
19	石竹素		1.44	> 5 000	4.57
20	γ -桉叶油醇	5.04		-	3.67*
21	β -桉叶油醇	16		>2 000	4.68

注:-暂无数据资料;*通过 Chemoffice 模拟 logP 数值。

分进行检索分析,发现其主要化学成分均为常见的香料成分,通过分析其人体吸收能力和毒性可以初步判断其生物安全性和初步证实其作为食品或香料的安全性。桉油精、 α -蒎烯、 β -石竹烯和蒎烯等化合物是精油中的主要成分,是安全无毒的香味物质,常被应用于日化产品的生产^[11]。主要成分桉油精主要用作药草型香精,用于配制精油、牙粉牙膏、口腔清凉剂和药皂等,也较多用于医药,具有解热、消炎、抗菌、防腐、平喘及镇痛作用^[12]。高良姜(*Alpinia officinarum* Hance.)为姜科山姜属的一种重要药食两用中药,其干燥根茎可用作治疗胃痛、缓解感冒、促进循环系统、治疗呕吐和消肿,还因具有抗菌、抗病毒等功效而被广泛研究^[13-14],也是一种深受人们喜爱的调味品,高良姜挥发油中主要成分也同样为桉油精,相对含量较高的化合物有桉油精、 δ -毕澄茄烯、 α -松油醇、 β -蒎烯、 α -蒎烯、蒎烯等^[15-17];喙花姜块茎和根中挥发油化学成分与高良姜具有很好的相似性,验证了其替代高良姜使用的合理性,两者均可成为食品或日化用香料香精产品的一

个重要来源。

2.3 α -葡萄糖苷酶抑制活性结果与分析

α -葡萄糖苷酶抑制活性测定结果见表3所示。

表3 α -葡萄糖苷酶抑制活性测定结果

Table 3 Results of α -glucosidase inhibitory activity test

名称	抑制率/%	IC ₅₀ 值/(μ g/mL)
喙花姜块茎挥发油	73.5 $\pm$ 1.3	127.5 $\pm$ 3.1
喙花姜根挥发油	89.1 $\pm$ 1.9	73.4 $\pm$ 3.4
阿卡波糖	68.3 $\pm$ 0.35	456.6 $\pm$ 3.7

由表3可以看出,初筛时发现喙花姜块茎和根中挥发油表现出较好的 α -葡萄糖苷酶的抑制活性,其抑制率分别达到73.5%和89.1%,效果优于阳性对照。后检测其IC₅₀值,分别为127.5 μ g/mL和73.4 μ g/mL,低于阳性对照阿卡波糖456.6 μ g/mL。表明喙花姜块茎和根中一些成分具有一定的降血糖活性。 α -葡萄糖苷酶主要存在于小肠黏膜细胞,其功能为水解低聚糖以便于人体吸收利用。而其抑制剂通过抑制其活性,降低低聚糖水解速率从而降低血糖水平,防止饭后出现高血糖的现象^[18],这对于治疗和缓解糖尿病及并发症有重要作用。

3 结论

通过GC-MS分析可知,喙花姜块茎和根中挥发油中成分均主要为单萜和倍半萜,其含量最高的化合物为桉油精,是常见的香料成分。通过对主要成分的logP和LD₅₀值检索,分析了其作为食品的安全性。此外,利用PNPG法对喙花姜块茎和根中挥发油进行 α -葡萄糖苷酶抑制活性的测试。目前用于临床医学应用较多的抑制剂有阿卡波糖、伏格列波糖等,对人体有一定的毒副作用^[19]。从植物中提取能够抑制 α -葡萄糖苷酶的物质,对寻找安全有效的降血糖药物至关重要。结果表明,喙花姜块茎和根中挥发油表现出一定的降血糖活性,在一定程度上证明了喙花姜降血糖方面的价值,证明喙花姜在降血糖活性应用方面与高良姜(*Alpinia officinarum*)类似^[20],未来亦可以作为降血糖药物或保健食品进行开发与利用。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志-第四十六卷[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 108.
Editorial Committee of Flora of China, Chinese academy of sciences. Flora of China-Volume 46[M]. Beijing: Science Press, 1981: 108.
- [2] 吴德邻. 中国姜科植物资源[M]. 武汉: 华中科技大学出版社,

2016.

WU Delin. The zingiberaceous resources in China[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2016.

- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.
- [4] 艾铁民, 戴凯伦. 中国药用植物志: 第十二卷[M]. 北京: 北京医学出版社, 2013.
AI Tiemin, DAI Kailun. Medicinal flora of China: The twelfth volume [M]. Beijing: Beijing Medical Press, 2013.
- [5] ZHAO X G, CHEN Q, LU T Y, et al. Chemical composition, antibacterial, anti-inflammatory, and enzyme inhibitory activities of essential oil from *Rhynchanthus beesianus* rhizome[J]. Molecules, 2020, 26(1): 167.
- [6] CHEN Q, ZHAO X G, LU T Y, et al. Chemical composition, antibacterial, and anti-inflammatory activities of essential oils from flower, leaf, and stem of *Rhynchanthus beesianus*[J]. BioMed Research International, 2021, 2021: 5562461.
- [7] 艾薇, 侯洪波, 夏天兰, 等. 喙花姜精油体外抑菌活性及其稳定性的研究[J]. 中国食品添加剂, 2019, 30(11): 49-54.
AI Wei, HOU Hongbo, XIA Tianlan, et al. Study on antibacterial activity and stability of edible *Rhynchanthus beesianus* essential oil in vitro[J]. Food Additives in China, 2019, 30(11): 49-54.
- [8] 杨麒, 周月倾, 王洪云, 等. 民族民间药食两用植物资源开发思路探索[J]. 现代商贸工业, 2020, 41(18): 85-86.
YANG Qi, ZHOU Yueqing, WANG Hongyun, et al. Exploration on the development ideas of medicinal and edible plant resources in national folk[J]. Modern Business Trade Industry, 2020, 41(18): 85-86.
- [9] 叶丽琴, 孙萌, 张忠爽, 等. 药用芳香植物资源开发与利用[J]. 辽宁中医药大学学报, 2017, 19(5): 127-130.
YE Liqin, SUN Meng, ZHANG Zhongshuang, et al. Development and utilization of medicinal aromatic plants resources[J]. Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2017, 19(5): 127-130.
- [10] 王艳玲, 李捷, 王任小. 有机化合物脂水分配系数和溶解度的计算方法[J]. 物理化学学报, 2010, 26(7): 1742-1754.
WANG Yanling, LI Jie, WANG Renxiao. Computational approaches to estimating octanol-water partition coefficient and water solubility of organic compounds[J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2010, 26(7): 1742-1754.
- [11] 孙宝国, 郑福平, 谢建春, 等. 香精配方手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 3-78.
SUN Baoguo, ZHENG Fuping, XIE Jianchun, et al. Essence recipe manual[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 3-78.
- [12] 王印国. 常见单萜类化合物及其在植物中的分布[J]. 现代农业科技, 2012(16): 185-186.
WANG Yinguo. Common monoterpenes and their distribution in

- plants[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(16): 185-186.
- [13] 陆廷亚, 陈琪, 赵晓歌, 等. 大高良姜地下根茎挥发油化学成分及体外药理活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(11): 1866-1875.
- LU Tingya, CHEN Qi, ZHAO Xiaoge, et al. Chemical constituents and *in vitro* pharmacological activities of essential oil from rhizome of *Alpinia galanga* (L.) Willd[J]. Natural Product Research and Development, 2020, 32(11): 1866-1875.
- [14] ZHANG L Y, PAN C X, OU Z R, et al. Chemical profiling and bioactivity of essential oils from *Alpinia officinarum* Hance from ten localities in China[J]. Industrial Crops and Products, 2020, 153: 112583.
- [15] 翟红莉, 王辉, 曾艳波, 等. 两种不同产地高良姜挥发油成分的GC-MS分析[J]. 热带作物学报, 2013, 34(12): 2475-2478.
- ZHAI Hongli, WANG Hui, ZENG Yanbo, et al. GC-MS analysis of volatile oil from *Alpinia officinarum* hance in two different producing areas[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(12): 2475-2478.
- [16] 王辉, 翟红莉, 梅文莉, 等. 12批海南高良姜挥发油的GC-MS分析[J]. 热带生物学报, 2014, 5(2): 182-187.
- WANG Hui, ZHAI Hongli, MEI Wenli, et al. GC-MS analysis of volatile oil extracted from *Alpinia officinarum* growing in Hainan[J]. Journal of Tropical Biology, 2014, 5(2): 182-187.
- [17] 王辉, 翟红莉, 梅文莉, 等. 海南高良姜挥发油GC-MS指纹图谱分析[J]. 热带生物学报, 2014, 5(1): 84-91.
- WANG Hui, ZHAI Hongli, MEI Wenli, et al. GC-MS fingerprinting analysis of volatile oil from rhizome of *Alpinia officinarum* in Hainan[J]. Journal of Tropical Biology, 2014, 5(1): 84-91.
- [18] 宋菲, 陈开健, 唐敏敏, 等. 槟榔多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制动力学研究[J]. 热带作物学报, 2021, 42(5): 1455-1461.
- SONG Fei, CHEN Kaijian, TANG Minmin, et al. Inhibition kinetics of polyphenol extracts from *Areca nut* on α -glucosidase activity[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(5): 1455-1461.
- [19] 朱月霞, 邵仲柏, 吴小小, 等. 海洋天然产物中 α -葡萄糖苷酶抑制剂研究进展[J]. 南京中医药大学学报, 2021, 37(2): 311-320.
- ZHU Yuexia, SHAO Zhongbai, WU Xiaoxiao, et al. Research progress of α -glucosidase inhibitors from marine natural products [J]. Journal of Nanjing University of Traditional Chinese Medicine, 2021, 37(2): 311-320.
- [20] 王辉, 翟红莉, 梅文莉, 等. 高良姜提取物的降血糖活性[J]. 热带生物学报, 2014, 5(2): 179-181.
- WANG Hui, ZHAI Hongli, MEI Wenli, et al. Hypoglycemic activity of extract of *Alpinia officinarum*[J]. Journal of Tropical Biology, 2014, 5(2): 179-181.

加工编辑:张楠

收稿日期:2021-06-02