

GC-Q-TOF/MS 分析银杏果正己烷提取液中化学成分

魏小华, 张军毅, 张虎军* (江苏省无锡环境监测中心, 江苏无锡 214000)

摘要 以新鲜采摘的银杏果为试验材料, 采用正己烷萃取银杏果中的目标物, 利用气相色谱-飞行时间质谱(GC-Q-TOF/MS)分析银杏果中的化学成分, 通过谱图结果分析出多种化合物, 利用归一法确定各组分的相对含量。结果表明, 银杏正己烷提取液组分中含有 83.91% 的烷烃、不饱和烯烃和酯类, 单萜类、倍半萜、萜内酯、萜苷和甾醇的含量占比为 9.22%。GC-Q-TOF/MS 定性分析分辨率高、背景干扰少、灵敏度高, 适于分析基质复杂样品中的化学成分。

关键词 银杏果; GC-Q-TOF/MS; 正己烷; 化学成分

中图分类号 R284 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)23-0179-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.23.045

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Chemical Constituents in n-hexane Extract of *Ginkgo biloba* Seeds by GC-Q-TOF/MS

WEI Xiao-hua, ZHANG Jun-yi, ZHANG Hu-jun (Jiangsu Province Wuxi Environmental Monitoring Central, Wuxi, Jiangsu 214000)

Abstract Taking freshly picked *Ginkgo biloba* seeds as the test material, n-hexane was used to extract the target substance in *Ginkgo biloba* seeds, the gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry (GC-Q-TOF/MS) was used to analyze the chemical components in *Ginkgo biloba* seeds. A variety of compounds were analyzed from the spectral results, and the relative content of each component was determined by the normalization method. The results showed that the n-hexane extract of *Ginkgo biloba* contained 83.91% alkanes, unsaturated olefins and esters, and the content of monoterpenes, sesquiterpenes, terpene lactones, terpene glycosides and sterols accounted for 9.22%. GC-Q-TOF/MS qualitative analysis had high resolution, low background interference and high sensitivity, and was suitable for analyzing chemical components in samples with complex matrices.

Key words *Ginkgo biloba* seeds; GC-Q-TOF/MS; N-hexane; Chemical constituents

银杏果为银杏科植物银杏(*Ginkgo biloba* L.)的成熟种子, 其味甘、苦、涩, 性平, 有毒, 归肺经, 具有敛肺定喘、止带缩尿之功效; 银杏属于银杏科 Ginkgoaceae, 现存仅 1 属 1 种, 为新生代第四纪冰川时期的孑遗植物, 素有活化石之称^[1]。银杏是我国特产, 我国栽培种植银杏的数量占世界首位, 约占全世界总量的 75%^[2]。银杏作为药用已有 600 多年的历史, 其功效最早记载于《神农本草经》。各部位均有不同程度的药用价值^[3], 是传统中药。

现有研究显示, 银杏果有广泛的药理活性。银杏所含化学成分具有抗氧化、清除自由基、改善凝血功能、改善血流动力学作用, 以及抗炎、改善心肌、脑缺血再灌注损伤作用^[4-5]。以银杏及其有效成分开发的制剂有片剂、胶囊剂、颗粒剂、口服液、注射剂、滴丸、糖浆、酞剂等, 在日常生活中被广泛应用^[6-7]。该研究以银杏果为试验对象, 通过溶剂萃取法提取银杏果中的化学成分, 并用气相色谱-飞行时间质谱(GC-Q-TOF/MS)分析银杏果中的化学成分, 为科学合理地利用银杏果提供参考依据。

1 材料与与方法

1.1 试验材料 新鲜银杏的果实, 采摘于无锡市惠山区惠山古寺的古银杏树。Agilent 7890 B/7200 Q-TOF/MS 四级杆飞行时间质谱仪(Gerstel MPS 2XL 多功能进样平台); DB-5MSUI 毛细管色谱柱(30.0 m×0.25 mm, 0.25 μm); TegetHei-VAP/LR12 型旋转蒸发器; DC12H 型氮吹浓缩仪。正己烷、

甲醇等均为农残级; 试验用水为去离子水; 无水硫酸钠 450 °C 烘干 4 h 后使用。

1.2 仪器条件

1.2.1 色谱条件。 进样口温度 220 °C, 不分流, 色谱柱为 DB-5MSUI 柱(30.0 m×0.25 mm, 0.25 μm); 柱箱初始温度 50 °C(3 min), 以 8 °C/min 升至 150 °C(2 min), 以 5 °C/min 升至 230 °C(5 min), 以 10 °C/min 升至 280 °C(15 min)。

1.2.2 质谱条件。 溶剂延迟 3.0 min, 70 eV, 传输线 280 °C, EI 源 250 °C, 扫描质量范围 40~600 amu。

1.3 提取和分离 采摘的银杏果去掉外层果肉, 保留内部果核, 洗净, 通风处室温晾置 24 h 去掉壳外水分, 即得银杏果。取 50 颗银杏果, 去掉坚硬的白色果壳, 果仁称重为 79.82 g, 备用。

提取装置由双颈烧瓶+恒压滴液漏斗+蛇形冷凝管组成, 恒压滴液漏斗为收集器。捣碎果仁, 装入 1 000 mL 双颈烧瓶, 加入 500 mL 正己烷, 装好温度计和冷凝管, 62 °C 正己烷沸腾回流 2 h, 回流液冷却至常温用旋转蒸发器减压(30 °C, 150 Pa)浓缩至 10 mL 左右。浓缩液过无水硫酸钠, 氮吹浓缩至约 2 mL, 过 0.22 μm 针式滤头后收集于进样小瓶中, 定容至 5 mL, 混匀, 取 1 mL 上机分析。

2 结果与分析

通过对银杏果提取液的 GC-Q-TOF/MS 分析, 其色谱图见图 1。利用 Qualitative Analysis B.6.00 软件和 NIST MS Search 2.0 程序检索 NIST 11 数据库并结合有关文献的检索最终确定银杏果提取液中的化学组分, 去掉匹配度低的化合物, 从中共解析出 216 种化合物, 采用峰面积归一法确定了各组分的百分比含量, 216 种化合物占提取物组分的 93.13%, 匹配度均大于 80%。其中大部分为烷烃、不饱和烯

基金项目 无锡市科学技术局社会发展项目(N20201017); 2021 年度江苏省环境监测科研基金项目(2118)。

作者简介 魏小华(1984—), 男, 回族, 湖北洪湖人, 工程师, 硕士, 从事环境监测分析研究。* 通信作者, 高级工程师, 从事环境监测的管理与研究工作。

收稿日期 2022-04-07; **修回日期** 2022-05-19

烃、酯类等,这些结构相对简单的化合物共有 134 种,占组分的 83.91%。剩下的 82 种化合物为结构相对复杂的单帖、倍

半萜、甾醇类等化合物,占组分的 9.22%,82 种相对复杂的化合物其分子式等信息见表 1。

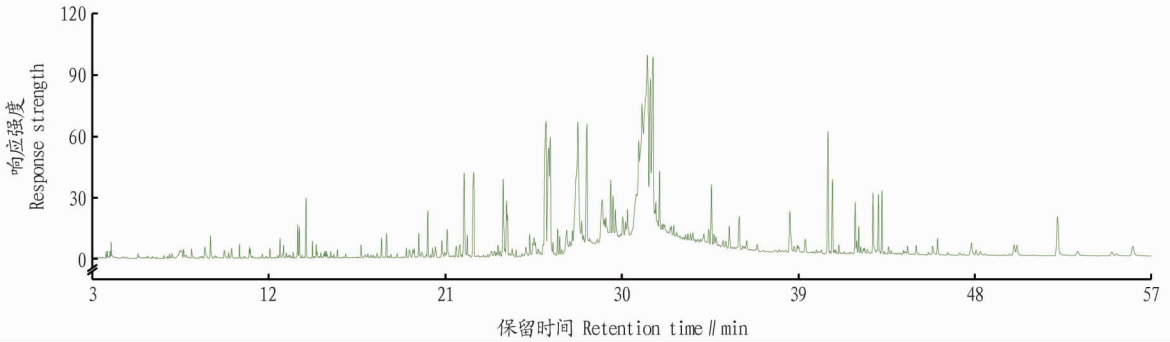


图 1 银杏果提取液 GC-Q-TOF/MS 色谱图

Fig.1 GC-Q-TOF/MS chromatogram of extracting solution *Ginkgo biloba* seeds

表 1 银杏果提取液 GC-Q-TOF/MS 分析结果

Table 1 Analysis results of GC-Q-TOF/MS of extracting solution *Ginkgo biloba* seeds

序号 No.	保留时间 Retention time//min	名称 Name	分子式 Molecular formula	CAS 编号 CAS number	匹配度 Matching degree//%	相对含量 Relative content//%	特征离子 Characteristic ion
1	3.925	Cyclopentanol, 2-methyl-, cis-	C ₆ H ₁₂ O	25144-05-2	86.21	0.17	56.061 4
2	5.833	+/-,-trans-2-Cyclohexene-1,4-diol	C ₆ H ₁₀ O ₂	41513-32-0	86.89	0.02	70.076 9
3	7.064	Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	100-52-7	86.85	0.07	105.033 3
4	7.671	Furan, 2-pentyl-	C ₉ H ₁₄ O	3777-69-3	89.07	0.14	81.033 8
5	8.481	Cyclopentanecarboxaldehyde, 2-methyl-3-methylen-	C ₈ H ₁₂ O	1000154-24-0	87.74	0.01	67.053 4
6	8.521	Benzyl alcohol	C ₇ H ₈ O	100-51-6	80.34	0.02	79.053 5
7	8.756	Benzeneacetaldehyde	C ₈ H ₈ O	122-78-1	90.32	0.27	91.059 6
8	9.018	Cycloheptanol, 2-methylene	C ₈ H ₁₄ O	16240-38-3	83.76	0.35	83.048 5
9	9.340	2,5-Pyrrolidinedione, 1-(benzoyloxy)-	C ₁₁ H ₉ NO ₄	23405-15-4	81.37	0.03	105.032 7
10	9.715	Cyclohexanol, 3,5-dimethyl-	C ₈ H ₁₆ O	5441-52-1	85.28	0.12	71.018 7
11	9.781	Cyclopentanecarboxylic acid, 2-tetrahydrofurylmethylester	C ₁₁ H ₁₈ O ₃	1000282-42-9	86.9	0.03	71.011 9
12	10.130	Phenylethyl Alcohol	C ₈ H ₁₀ O	60-12-8	88.43	0.18	91.054 2
13	10.262	1,3-Benzenediol, 4-ethyl-	C ₈ H ₁₀ O ₂	2896-60-8	80.45	0.01	123.043 7
14	10.372	Benzene, (2-methylpropyl)-	C ₁₀ H ₁₄	538-93-2	81.61	0.01	91.053 5
15	10.617	2,2,3,3-Tetramethylcyclopropanecarboxylic acid, 4-methyl-phenyl ester	C ₁₅ H ₂₀ O ₂	1000221-98-5	82.96	0.01	125.095 6
16	11.082	Acetic acid, phenylmethyl ester	C ₉ H ₁₀ O ₂	140-11-4	87.77	0.12	108.056 4
17	12.173	Bicyclo[3.1.0]hexane-6-methanol, 2-hydroxy-1,4,4-trimethyl-	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	58795-41-8	85.28	0.01	67.053 3
18	12.409	2-Cyclohexylpiperidine	C ₁₁ H ₂₁ N	56528-77-9	85.05	0.01	84.019 5
19	12.595	2-Isopropyl-5-methyl-6-oxabicyclo[3.1.0]hexane-1-carboxaldehyde	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	1000186-21-3	86.85	0.21	125.095 3
20	12.704	Bicyclo[3.2.0]heptan-2-one, 6-hydroxy-5-methyl-6-vinyl-	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	1000154-96-8	86.77	0.03	97.027 7
21	12.757	Acetic acid, chloro-, 2-phenylethyl ester	C ₁₀ H ₁₁ ClO ₂	7476-91-7	90.24	0.14	104.065 5
22	12.880	Bicyclo[3.1.1]heptan-3-ol, 2,6,6-trimethyl-, (1.alpha., 2.beta., 3.alpha., 5.alpha.)-	C ₁₀ H ₁₈ O	27779-29-9	83.02	0.06	70.040 3
23	13.009	2-Cyclohexen-1-ol, 1-butyl-	C ₁₀ H ₁₈ O	88116-46-5	85.22	0.03	97.027 9
24	13.042	Benzeneacetaldehyde, .alpha.-ethylidene-	C ₁₀ H ₁₀ O	4411-89-6	84.32	0.02	115.053 7
25	13.076	p-Menth-4(8)-en-9-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	15714-11-1	83.11	0.04	79.053 4
26	13.238	Bicyclo[3.3.0]oct-2-en-7-one, 6-methyl-	C ₉ H ₁₂ O	1000150-43-7	83.01	0.05	79.053 5
27	13.676	3-Cyclopentylpropionic acid, 1-(cyclopentyl) ethyl ester	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	1000293-36-9	83.21	0.03	125.095 4
28	13.869	Tetrahydrofuran-2-ol, 3,4-di[1-butenyl]-	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	1000131-84-0	83.7	0.87	81.053 0
29	14.217	4,4,6-Trimethyl-cyclohex-2-en-1-ol	C ₉ H ₁₆ O	1000144-64-7	80.42	0.16	84.019 9
30	14.333	Bicyclo[2.2.2]octane, 1,2,3,6-tetramethyl-	C ₁₂ H ₂₂	62338-45-8	86.34	0.02	81.082 7
31	14.463	Eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	97-53-0	92.95	0.05	164.083 2
32	14.861	Ylangene	C ₁₅ H ₂₄	14912-44-8	90.66	0.07	105.069 5
33	14.964	α-Copaene	C ₁₅ H ₂₄	3856-25-5	92.08	0.04	105.069 2

接下表

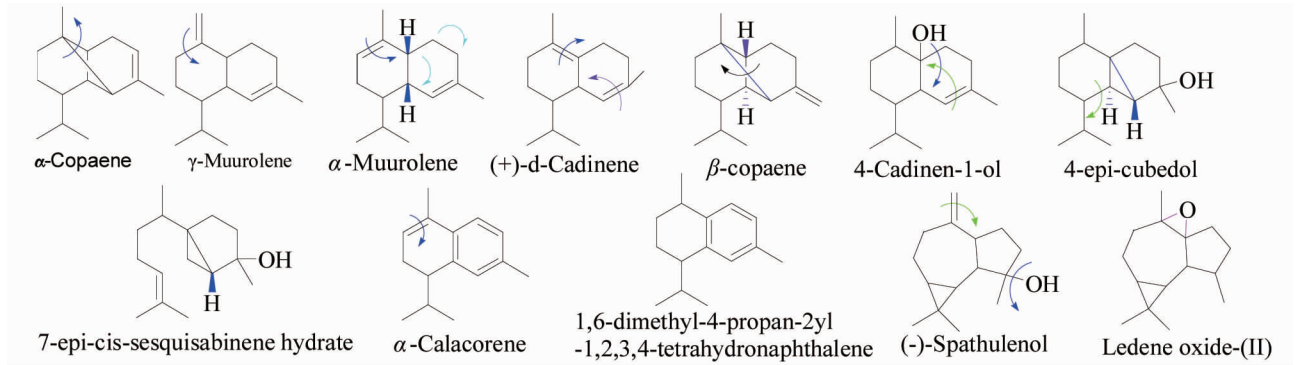
续表 1

序号 No.	保留时间 Retention time // min	名称 Name	分子式 Molecular formula	CAS 编号 CAS number	匹配度 Matching degree // %	相对含量 Relative content // %	特征离子 Characteristic ion
34	15.083	2-Isopropyl-5,5-dimethylcyclohex-2-enone	C ₁₁ H ₁₈ O	1000191-19-3	86.63	0.01	67.053 5
35	15.216	Vanillin	C ₈ H ₈ O ₃	121-33-5	88.08	0.02	151.038 7
36	15.511	γ-Muurolene	C ₁₅ H ₂₄	30021-74-0	91.65	0.13	161.132 5
37	15.783	3-Buten-2-one,4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-yl)-	C ₁₃ H ₂₀ O	6901-97-9	87.9	0.01	121.064 3
38	15.923	Ethanone,1,1'-(1,3-phenylene)bis-	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	6781-42-6	84.93	0.05	147.044 4
39	16.049	β-copaene	C ₁₅ H ₂₄	1000374-18-9	84.29	0.01	161.131 9
40	16.380	7-epi-cis-sesquisabinene hydrate	C ₁₅ H ₂₆ O	58319-05-4	80.56	0.01	69.068 7
41	17.027	3-Buten-2-one,4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-	C ₁₃ H ₂₀ O	14901-07-6	85.13	0.06	177.127 4
42	17.130	2,2,6-Trimethyl-1-(3-methylbuta-1,3-dienyl)-7-oxabi- cyclo[4.1.0]heptan-3-ol	C ₁₄ H ₂₂ O ₂	1000191-85-4	81.28	0.01	123.080 0
43	17.216	4-Quinolinecarboxaldehyde	C ₁₀ H ₇ NO	4363-93-3	86.24	0.04	157.051 8
44	17.561	α-Muurolene	C ₁₅ H ₂₄	10208-80-7	88.58	0.06	105.069 0
45	17.989	(+)-d-Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	483-76-1	92.98	0.35	161.137 1
46	18.079	1,6-dimethyl-4-propan-2yl-1,2,3,4-tetrahydronaphtha- lene	C ₁₅ H ₂₂	483-77-2	90.37	0.03	159.116 7
47	18.351	trans-1,2,3,4,6,7,8,8a-Octahydronaphthalene-6,7-diol, 5,8a-dimethyl-3-isopropenyl-,cyclic carbonate	C ₁₆ H ₂₂ O ₃	1000196-33-3	86.76	0.01	119.085 2
48	18.550	α-Calacorene	C ₁₅ H ₂₀	21391-99-1	80.93	0.06	157.101 3
49	19.768	6-epi-shyobunol	C ₁₅ H ₂₆ O	1000374-18-3	83.23	0.05	79.053 3
50	20.020	1-Oxaspiro[2.5]octane,2,4,4-trimethyl-8-methylene-	C ₁₁ H ₁₈ O	54345-62-9	81.18	0.03	151.111 4
51	20.259	Isolongifolene,4,5,9,10-dehydro-	C ₁₅ H ₂₀	156747-45-4	80.41	0.03	185.132 4
52	20.352	3,9-Epoxy-p-mentha-1,8(10)-diene	C ₁₀ H ₁₄ O	1000111-14-8	83.13	0.13	122.108 3
53	20.547	4-Cadinen-1-ol	C ₁₅ H ₂₆ O	21284-22-0	86.86	0.24	119.085 0
54	20.713	Tricyclo[4.2.2.0(1,5)]decan-7-ol	C ₁₀ H ₁₆ O	1000191-38-6	87.29	0.01	108.056 3
55	20.833	2-Butanone,4-(2,6,6-trimethyl-1,3-cyclohexadien-1-yl)-	C ₁₃ H ₂₀ O	20483-36-7	87.86	0.27	119.088 4
56	20.882	4-epi-cubedol	C ₁₅ H ₂₆ O	1000374-16-0	86.17	0.04	161.131 9
57	20.959	2-(2-Isopropenyl-5-methylcyclopentylmethoxy)tetrahydro- pyran	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	1000194-46-9	88.95	0.08	137.131 6
58	21.002	Caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	1139-30-6	89.03	0.04	121.100 0
59	21.105	2-Butanone,4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-yl)-	C ₁₃ H ₂₂ O	31499-72-6	81.16	0.49	121.103 7
60	21.450	Ledene oxide-(II)	C ₁₅ H ₂₄ O	1000159-36-7	89.65	0.03	159.115 9
61	21.845	(-)-Spathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	77171-55-2	87.67	0.02	159.116 3
62	22.949	Cyclohexanone,5-ethenyl-5-methyl-4-(1-methylethenyl)- 2-(1-methylethylidene)-,cis-	C ₁₅ H ₂₂ O	32663-57-3	83.22	0.02	107.084 9
63	23.039	2-Butyloxycarbonyloxy-1,1,10-trimethyl-6,9-epidioxy- decalin	C ₁₈ H ₃₀ O ₅	108533-24-0	88.75	0.01	138.103 2
64	23.152	cis-Z-.alpha.-Bisabolene epoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	1000131-71-2	82.39	0.03	67.053 4
65	23.268	1-Oxaspiro[2.5]octane,5,5-dimethyl-4-(3-methyl-1,3- butadienyl)-	C ₁₄ H ₂₂ O	1000195-92-1	82.26	0.01	79.053 3
66	23.683	2-Butanone,4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-	C ₁₃ H ₂₂ O	17283-81-7	89.79	0.18	119.091 1
67	23.772	Benzenesulfonamide,N-butyl-	C ₁₀ H ₁₅ NO ₂ S	3622-84-2	84.36	0.08	141.000 4
68	24.472	Bicyclo[4.4.0]dec-2-ene-4-ol,2-methyl-9-(prop-1-en- 3-ol-2-yl)-	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	1000196-79-7	83.52	0.01	91.053 4
69	24.902	3H-Cyclodeca[b]furan-2-one,4,9-dihydroxy-6-methyl- 3,10-dimethylene-3a,4,7,8,9,10,11,11a-octahydro-	C ₁₅ H ₂₀ O ₄	1000310-90-7	82.45	0.04	119.084 6
70	25.116	Cyclopentadecanone,2-hydroxy-	C ₁₅ H ₂₈ O ₂	4727-18-8	84.82	0.16	69.069 1
71	26.197	(7R,8S)-cis-anti-cis-7,8-Epoxytricyclo[7.3.0.0(2,6)] dodecane	C ₁₂ H ₁₈ O	73285-35-5	86.02	0.43	108.093 0
72	26.549	2-Methylene-5α-cholestan-3β-ol	C ₂₈ H ₄₈ O	22599-96-8	85.82	0.04	69.069 1
73	28.765	l-(+)-Ascorbic acid 2,6-dihexadecanoate	C ₃₈ H ₆₈ O ₈	28474-90-0	86.02	0.05	129.090 5
74	29.083	Estra-1,3,5(10)-trien-17.β.-ol	C ₁₈ H ₂₄ O	2529-64-8	80.16	0.06	129.090 1
75	29.970	Bicyclo[3.1.0]hexane-2-undecanoic acid,methyl ester	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	10152-73-5	86.73	0.03	129.090 5
76	37.796	β-D-Mannofuranoside,farnesyl-	C ₂₁ H ₃₆ O ₆	1000155-15-5	82.76	0.05	81.069 2
77	47.235	Stigmastan-3,5-diene	C ₂₉ H ₄₈	79897-80-6	85.86	0.06	396.376 4
78	48.061	dl-.alpha.-Tocopherol	C ₂₉ H ₅₀ O ₂	10191-41-0	88.42	0.09	430.383 1
79	48.274	(+)-.gamma.-Tocopherol,O-methyl-	C ₂₉ H ₅₀ O ₂	1000374-72-2	85.22	0.11	430.382 5
80	50.015	Campesterol	C ₂₈ H ₄₈ O	474-62-4	94.01	0.32	400.371 6
81	52.185	β-Sitosterol	C ₂₉ H ₅₀ O	83-46-5	90.86	1.39	414.387 7
82	56.070	Stigmast-4-en-3-one	C ₂₉ H ₄₈ O	1058-61-3	80.51	0.50	412.371 6

2.1 单萜、倍半萜类化合物 从解析出的化合物中,有数量众多的单萜、倍半萜类化合物。倍半萜类化合物因其骨架类型丰富,化学结构复杂多样,是萜类化合物中数目最多的一类,且具有抗炎、抗肿瘤、免疫调节等生物活性^[8],广泛应用于医药、食品、保健品等领域^[9]。该试验的倍半萜主要有杜松烷型倍半萜^[10-11]和愈创木烷结构^[12]的喇叭烯氧化物、桉

油烯醇。

从图2可看出,杜松烷型倍半萜和愈创木烷型倍半萜通过双键的加成和消去,能形成多种醇、环烯烜等衍生结构,此类化合物含有多个手性原子,这也是其具有较强生物活性的原因之一。



注:箭头表示烯键及官能团的开合方向

Note: Arrows indicate the opening and closing directions of olefinic bonds and functional groups

图2 银杏果正己烷提取液中杜松烷型倍半萜和愈创木烷型倍半萜的化学结构

Fig.2 Chemical structures of cadinane sesquiterpenes and guaiane-type sesquiterpenoid in n-hexane extract of *Ginkgo biloba*

2.2 萜内酯和萜苷 从解析出的化合物中,还含有倍半萜内酯和萜苷(图3)。倍半萜内酯是一类广泛分布于植物中的天然产物,含有15个碳骨架和1个或者多个内酯环。倍半萜内酯和萜苷具有显著的抗炎、抗肿瘤等作用^[13-14]。另外,

还有一个类青蒿素的化合物 2-Butyloxycarbonyloxy-1,1,10-trimethyl-6,9-epidioxydecalin,这类化合物均具有优良的生物活性^[15-17]。

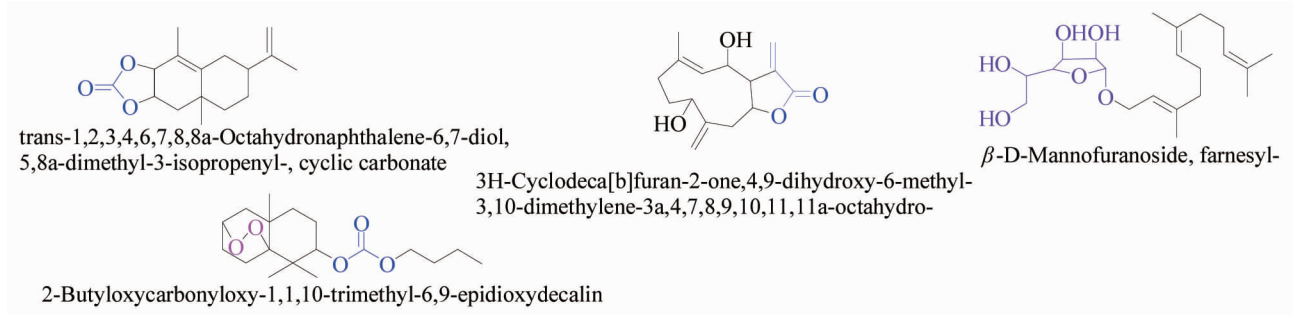


图3 银杏果正己烷提取液中萜内酯和萜苷的化学结构

Fig.3 Chemical structures of the sesquiterpene lactones and sesquiterpene glycoside in n-hexane extract of *Ginkgo biloba*

2.3 甾醇类 银杏果正己烷提取液中还含有甾醇类物质,植物甾醇在多种植物中均含有,具有抑制胆固醇吸收、防治心

脑血管疾病、抗炎抑菌、抗肿瘤、抗癌等作用^[18-20],应用广泛。

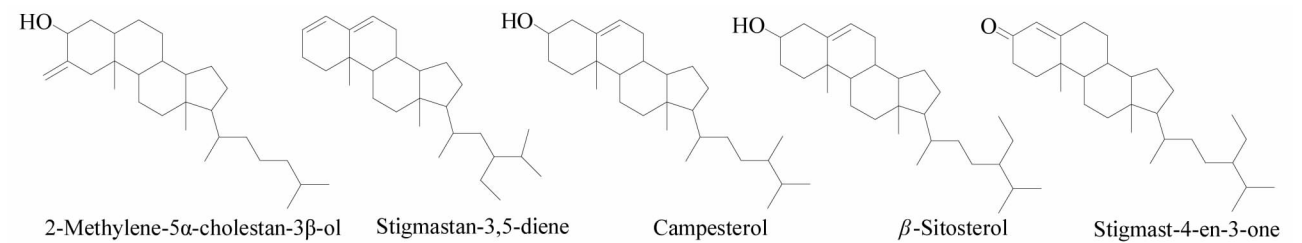


图4 银杏果正己烷提取液中甾醇类的化学结构

Fig.4 Chemical structures of the sterols in n-hexane extract of *Ginkgo biloba*

3 小结与讨论

银杏果在我国属于药食同源植物,具有很高的营养和药用价值。该试验利用气相色谱-飞行时间质谱(GC-Q-TOF/

MS)分析了银杏果正己烷提取液中的化学成分,其中含有多数单萜、倍半萜类、萜类内酯和萜苷、甾醇等物质,并重点分析了这部分化合物及其结构信息,这部分化合物虽然占比仅

为 9.22%,但是这类化合物均具有良好的生物活性和药理作用,也是化学分析研究重点关注的方向。该试验通过对银杏果正己烷提取液的解析,以期对银杏果这一资源的充分开发和利用提供科学参考,让银杏果为人类健康与发展作出更大的贡献。

参考文献

- [1] 郭晓霞,李鹭,李力更,等.天然药物化学史话:银杏内酯[J].中草药,2013,44(6):641-645.
- [2] 盖晓红,刘素香,任涛,等.银杏化学成分、制剂种类和不良反应的研究进展[J].药物评价研究,2017,40(6):742-751.
- [3] 杨慧萍,高睿.银杏药用成分及药理作用研究进展[J].动物医学进展,2017,38(8):96-99.
- [4] 北京脑血管病防治协会,银杏叶提取物注射液临床应用专家共识写作组.银杏叶提取物注射液临床应用中国专家共识(2019)[J].中华老年医学杂志,2019,38(11):1198-1204.
- [5] 张旭帆,胡金涛,贾守凯,等.银杏果药理、药效、毒性及安全食用述评[J].国医论坛,2020,35(1):64-67.
- [6] 陈柏林,邹敏敏,苏二正,等.银杏果食药物质基础及其加工利用现状[J].生物加工过程,2020,18(6):758-765,774.
- [7] 张宇心,杜萌勃,张薇,等.银杏果压片糖果的研制[J].农产品加工,2019(21):12-15,19.
- [8] 郭立敏,吕洁丽,张来宾.天然倍半萜类化合物抗炎作用机制的研究进展[J].中国中药杂志,2018,43(20):3989-3999.
- [9] 焦顺刚,张瑞飞,李俊俊,等.蛇麻烷型倍半萜及其药理活性研究进展[J].中国中药杂志,2018,43(22):4380-4390.
- [10] 姜龙瑜,温艳华,彭雨,等.杜松烷型倍半萜天然产物的研究进展[J].

生物工程学报,2021,37(6):1952-1967.

- [11] XU S M, HUANG X J, WANG Y, et al. A new cadinane sesquiterpene from the rhizomes of *Alpinia officinarum* [J]. Chinese journal of natural medicines, 2012, 10(5): 374-377.
- [12] 黄露,马川,熊亮,等.广藿香油中 1 个新的愈创木烷型倍半萜[J].中草药,2021,52(5):1234-1239.
- [13] 林雨珊,吕秋月,陈四保.鹅不食草中倍半萜内酯成分及其抗肿瘤活性的研究[J].中南药学,2019,17(3):356-360.
- [14] 丁宁,李世洋,李彩虹,等.杏香兔耳风中 1 个新的愈创木烷型倍半萜四糖苷[J].中草药,2020,51(22):5669-5674.
- [15] WANG Q, YU C Y, ZHANG H Y, et al. China's foreign aid for global poverty alleviation: Artemisinin-based combination therapies against malaria in Togo [J]. Global health journal, 2021, 5(3): 144-148.
- [16] PACIOS-MICHELENA A, KASARAGOD V, SCHINDELIN H. Artemisinins and their impact on inhibitory neurotransmission [J]. Current opinion in pharmacology, 2021, 59: 19-25.
- [17] NAGY C, PESTI A, ANDRÁSI M, et al. Determination of artemisinin and its analogs in *Artemisia annua* extracts by capillary electrophoresis-Mass spectrometry [J/OL]. Journal of pharmaceutical and biomedical analysis, 2021, 202 [2021-11-05]. https://doi.org/10.1016/j.jpba.2021.114131
- [18] 孟然,薛志忠,鲁雪林,等.蒲公英的功效成分与药理作用研究进展[J].江苏农业科学,2021,49(9):36-43.
- [19] WANG Z Z, LI J, TANG X L, et al. Triterpenes and steroids from semi-mangrove plant *Hibiscus tiliaceus* [J]. Chinese journal of natural medicines, 2011, 9(3): 190-192.
- [20] LEAVER D J. Synthesis and biological activity of sterol 14 α -demethylase and sterol C24-methyltransferase inhibitors [J]. Molecules, 2018, 23(7): 1-24.

(上接第 134 页)

- [5] ZHANG H, MALLIK A, ZENG R S. Control of Panama disease of banana by rotating and intercropping with Chinese chive (*Allium tuberosum* Rottler): Role of plant volatiles [J]. Journal of chemical ecology, 2013, 39(2): 243-252.
- [6] MAHATTANATAWEE K, PEREZ-CACHO P R, DAVENPORT T, et al. Comparison of three lychee cultivar odor profiles using gas chromatography-olfactometry and gas chromatography-sulfur detection [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2007, 55(5): 1939-1944.
- [7] 王彤. 六种韭菜品种抑菌物质分析及其对香蕉枯萎病的抑制效果评价 [D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- [8] FERRY A, DUGRAVOT S, DELATTRE T, et al. Identification of a widespread monomolecular odor differentially attractive to several *Delia radicum* ground-dwelling predators in the field [J]. Journal of chemical ecology, 2007, 33(11): 2064-2077.
- [9] KANG S S, LIM D R, KYUNG K H. 3-(allyltrisulfanyl)-2-aminopropanoic acid, a novel nonvolatile water-soluble antimicrobial sulfur compound in heated garlic [J]. Journal of medicinal food, 2010, 13(5): 1247-1253.
- [10] CHUNG I, CHAE K Y, KYUNG K H. Thermal generation and antimicrobial activity of unusual heterocyclic sulfur compounds in garlic [J]. Food science and biotechnology, 2008, 17(5): 1032-1037.
- [11] WANG H X, NG T B. Ascalin, a new anti-fungal peptide with human im-

munodeficiency virus type 1 reverse transcriptase-inhibiting activity from shallot bulbs [J]. Peptides, 2002, 23(6): 1025-1029.

- [12] SANTAS J, ALMAJANO M P, CARBÓ R. Antimicrobial and antioxidant activity of crude onion (*Allium cepa*, L.) extracts [J]. International journal of food science & technology, 2010, 45(2): 403-409.
- [13] O'DONNELL G, POESCHL R, ZIMHONY O, et al. Bioactive pyridine-N-oxide disulfides from *Allium stipitatum* [J]. Journal of natural products, 2009, 72(3): 360-365.
- [14] KIM Y H, YEO W H, YUN B S, et al. Antiviral, antimicrobial, and cytotoxic properties of peptavirins A and B produced by *Apiocrea* sp. 14T [J]. The plant pathology journal, 2002, 18(1): 18-22.
- [15] 高全. 韭菜提取物杀虫活性及化学成分研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2018.
- [16] 张伟, 廖静静, 朱贵李, 等. 8 种植物挥发物和浸提液对三七根腐病菌的抑制活性研究 [J]. 中国农学通报, 2013, 29(30): 197-201.
- [17] 李莎莉. 韭菜有效成分的提取及生物活性研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- [18] 葛丽. 韭菜四种活性初步研究和体外抗凝血物质分析 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
- [19] 赵宁, 冯丹, 冯桑梓, 等. 月季与韭菜混栽对月季长管蚜发生及其叶片挥发性物质的影响 [J]. 西部林业科学, 2012, 41(3): 89-92.
- [20] 江冰冰, 张或, 郭存武, 等. 韭菜和辣椒间作对辣椒疫病的防治效果及其化感机理 [J]. 植物保护学报, 2017, 44(1): 145-151.