

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.05.013

胡伯凯, 税会霞, 张东亚. 不同产地三叶木通籽油脂肪酸指纹图谱的构建[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(5): 101-107.

HU B K, SHUI H X, ZHANG D Y. Construction of fatty acid fingerprint of *Akebia trifoliata* seed oil from different origins[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(5): 101-107.

# 不同产地三叶木通籽油 脂肪酸指纹图谱的构建

胡伯凯<sup>1</sup>, 税会霞<sup>2</sup>, 张东亚<sup>3</sup>✉

- 贵州省林业科学研究院 贵州省核桃研究所  
贵州省核桃工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550005;
- 贵阳信息科技学院, 贵州 贵阳 550025;
- 贵州轻工职业技术学院, 贵州 安顺 561113)

**摘要:** 为构建三叶木通籽油脂肪酸指纹图谱, 探索不同地区三叶木通籽油的脂肪酸差异特征指标, 采用索氏抽提法提取来自不同产地共计 18 批次样品, 分析其脂肪酸组成和含量, 通过“中药色谱指纹图谱相似度评价系统”建立三叶木通籽油脂肪酸指纹图谱, 结合主成分和 PLS-DA 初步分析具差异特征指标。结果表明, 三叶木通籽油的主要脂肪酸是油酸、亚油酸和棕榈酸, 其相对含量均超过 19%, 建立了三叶木通籽油气相色谱标准指纹图谱, 样品与标准指纹图谱的相似度在 0.994 以上, 准确性和可靠度较高。以油酸、亚油酸和棕榈酸作为差异标志物可对产地归属初步判别, 但仍需要结合更加多元的特征结果进行分析和判定。

**关键词:** 三叶木通籽油; 脂肪酸; 指纹图谱; 相似度

中图分类号: TS225.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)05-0101-07

网络首发时间: 2024-08-29 16:43:41

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240829.1130.002>

## Construction of Fatty Acid Fingerprint of *Akebia trifoliata* Seed Oil from Different Origins

HU Bo-kai<sup>1</sup>, SHUI Hui-xia<sup>2</sup>, ZHANG Dong-ya<sup>3</sup>✉

- Guizhou Academy of Forestry, Guizhou Institute of Walnut, Engineering Technology Research Center for Walnut of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550005, China;
- Guiyang Institute of Information Science and Technology, Guiyang, Guizhou 550025, China;
- Guizhou Institute of Light Industry, Guiyang, Guizhou 561113, China)

**Abstract:** In order to establish a fatty acid fingerprint of the seed oil from *Akebia trifoliata* and explore the differential characteristic indicators of fatty acid composition in the seed oil from different regions, a total of

收稿日期: 2024-01-30

基金项目: 贵州省林业科研项目(黔林科合J字[2024]09号); 贵州省科技计划定向重点项目(黔科合支撑[2022]重点014号)

Supported by: Guizhou Forestry Research Project (No. J [2024] 09); Guizhou Key Projects in Science and Technology Plan (No. [2022]014)

作者简介: 胡伯凯, 男, 1990 年出生, 硕士, 助理研究员, 研究方向为木本油料资源利用与开发, E-mail: 493085995@qq.com

通信作者: 张东亚, 女, 1994 年出生, 硕士, 工程师, 研究方向为经济林资源利用与开发, E-mail: 1689774145@qq.com

18 batches of *Akebia trifoliata* seed oil from different regions were extracted using Soxhlet extraction method. The fatty acid composition and content were analyzed, and the *Akebia trifoliata* seed oil fatty acid fingerprint was established using the "Chinese medicine chromatographic fingerprint similarity evaluation system". Principal component analysis (PCA) and partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) were performed to analyze the differential characteristic indicators of *Akebia trifoliata* seed oil. The results indicated that, the main fatty acids in *Akebia trifoliata* seed oil were oleic acid, linoleic acid, and palmitic acid, with their relative contents exceeding 19%. The fatty acid fingerprint of *Akebia trifoliata* seed oil was established, the similarity between the samples and the standard fingerprint was above 0.994, indicating the high accuracy and reliability. Oleic acid, linoleic acid, and palmitic acid can be used as differential markers for preliminary discrimination of geographical origin. However, further analysis and determination should be done by considering more diverse characteristic results.

**Key words:** *Akebia trifoliata* seed oil; fatty acid; fingerprint; similarity

三叶木通 (*Akebia trifoliata*) 又名八月瓜、金肾果, 是木通科木通属落叶木质藤本植物, 主要分布于我国的长江、黄河流域附近海拔 250~2 500 m 的地区<sup>[1]</sup>。具有高度适应自然环境的能力, 可以在山沟、丘陵灌丛及岩石缝隙等环境中生长<sup>[2]</sup>, 其果实产量高 (26.67 kg/ha)、种子数量多 (800 颗) 且含油率高 (47.62%)<sup>[3]</sup>, 具有广阔的市场前景。三叶木通果实富含钙、铁和锰等微量元素, 还具有显著的药用价值和保健功效<sup>[4-5]</sup>, 亦被称为“保健果王”<sup>[6]</sup>。

三叶木通的籽肉分离技术已日臻完善, 果肉加工应用十分广泛<sup>[7-9]</sup>, 剩余的籽可用于提取生物柴油和高端食用油, 三叶木通籽油富含油酸和亚油酸, 且具有广谱抑菌活性、细胞相容性和清除 DPPH 自由基的能力<sup>[6,10-11]</sup>, 前人围绕三叶木通籽油的制取分析、品质鉴定做了许多基础性工作, 以超临界 CO<sub>2</sub> 萃取的三叶木通籽油有其固有气味, 得率、总黄酮含量分别可达 36.87% 和 137.3 mg/kg<sup>[12-13]</sup>, 炒籽 30 min 后再压榨可获得风味浓郁的三叶木通籽油。

然而未见其脂肪酸图谱构建研究, Su 等<sup>[14]</sup>揭示了三叶木通籽脂肪酸组成与农业气候特征的重要关联模式, 周娜娜<sup>[15]</sup>发现了三个产地的三叶木通籽理化性质和脂肪酸组成有差异, 建议增加产地来源以构建脂肪酸指纹图谱, 因此有必要对三叶木通籽的脂肪酸组成进行详尽分析和比较, 建立指纹图谱并寻找差异标志物, 为三叶木

通籽油的品质评价和质量控制标准制定提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

三叶木通籽: 购自正规网络销售平台和本地商超, 等待自然炸口成熟, 人工剥离果肉后晾晒至水分 8% 以下, 经石油醚提取后, 回收溶剂, 待测油样置于 4 °C 冰箱中避光贮藏。

### 1.2 仪器与设备

MS 104 TS 万分之一电子天平: 梅特勒-托利多仪器有限公司; CP-Sil 88 毛细管柱 (100 mm×0.25 mm, 0.20 μm): 美国安捷伦有限公司; GC 9720 福立气相色谱仪, 配备氢火焰离子化检测器 (Flame ionization detector, FID): 浙江福立分析仪器股份有限公司。

异辛烷 (色谱纯): 重庆川东化工集团有限公司; 碘化钾、酚酞指示剂、淀粉指示剂、硫代硫酸钠、石油醚 (沸程 30~60 °C)、三氯甲烷、冰乙酸、氢氧化钾、乙醚、甲醇、硫酸氢钠均为分析纯: 国药集团化学试剂有限公司; 37 种脂肪酸甲酯混合标准溶液 (10 mg/mL): 上海安谱实验科技股份有限公司。37 种脂肪酸组分简写见图 1 备注。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 理化指标的测定

酸值、过氧化值的测定分别参照 GB 5009.229—

2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》和 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》。

### 1.3.2 气相色谱条件及待测样品的制备

参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》中第三法,对比待测样与 37 种混合脂肪酸标准溶液的出峰时间以确定其脂肪酸种类,以峰面积归一化法进行定量。

待测样品制备:称取 60 mg 油脂样品,以 4.0 mL 异辛烷溶解,先后加入 200  $\mu$ L CH<sub>3</sub>OH-KOH(2 mol/L) 和 1.0 g NaHSO<sub>4</sub>,混合均匀,以 0.22  $\mu$ m 微滤膜过滤后置于自动进样器盘中待测。

实验条件:以 1 mL/min 高纯氮为载气,以 1:10 的分流比注入 1.0  $\mu$ L 样品;设置柱箱程序升温:初始温度为 100  $^{\circ}$ C,保持 13 min,升高至 180  $^{\circ}$ C (10  $^{\circ}$ C/min,保持 6 min),然后升高至 200  $^{\circ}$ C (1  $^{\circ}$ C/min,保持 20 min),最后升高至 230  $^{\circ}$ C (4  $^{\circ}$ C/min,保持 10.5 min),设置进样温度 270  $^{\circ}$ C,检测器温度 280  $^{\circ}$ C。

### 1.3.3 三叶木通籽油指纹图谱的相似度评价

采用中国药典委员会推荐的“中药色谱指纹图谱相似度评价系统(2012.130723 版)”对三叶木通籽油的气相色谱图进行分析,计算样品共有模式之间的相似度,确定三叶木通籽油的特征峰,并建立脂肪酸标准指纹图谱。

## 1.4 数据处理

每个实验重复 3 次,数据以平均值 $\pm$ 标准偏差表示;用 Origin 2019 对实验数据进行绘图;数据的统计分析采用 SPSS 26.0 软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 三叶木通籽油理化指标分析

酸价和过氧化值是反应油脂氧化酸败程度的重要指标<sup>[16]</sup>,不同产地三叶木通籽油的理化结果如表 1 所示,其酸价在 2.14~4.77 mg/g,过氧化值在 0.05~0.15 g/100 g,符合植物油国家标准要求。

### 2.2 三叶木通籽油脂肪酸分析

脂肪酸甲酯标准品的气相色谱图如图 1 所示,各脂肪酸甲酯在实验条件下分离良好,根据

表 1 三叶木通籽油产地信息及理化指标

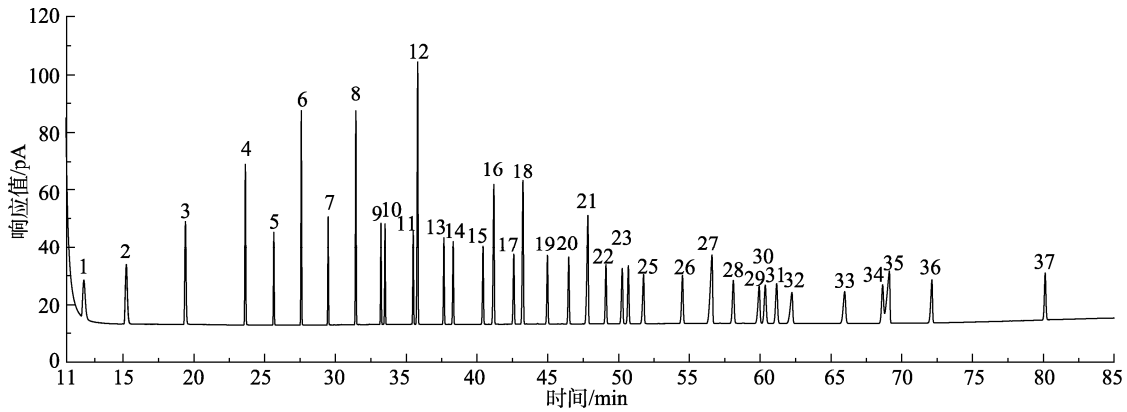
Table 1 Information and physical and chemical indicators of *Akebia trifoliata* seed oil

样品名	产地	酸价/(mg/g)	过氧化值/(g/100 g)
1	成都市都江堰区	4.13 $\pm$ 0.02	0.07 $\pm$ 0.01
2		4.09 $\pm$ 0.04	0.07 $\pm$ 0.02
3		3.89 $\pm$ 0.10	0.07 $\pm$ 0.04
4	桂林市七星区	3.00 $\pm$ 0.01	0.08 $\pm$ 0.03
5	贵阳市息烽县	3.27 $\pm$ 0.02	0.08 $\pm$ 0.03
6		3.18 $\pm$ 0.09	0.07 $\pm$ 0.00
7		2.14 $\pm$ 0.07	0.07 $\pm$ 0.04
8	张家界市桑植县	2.55 $\pm$ 0.06	0.08 $\pm$ 0.01
9	遵义市桐梓县	2.24 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.01
10		2.43 $\pm$ 0.10	0.08 $\pm$ 0.02
11		2.43 $\pm$ 0.11	0.05 $\pm$ 0.02
12	龙岩市长汀县	2.38 $\pm$ 0.09	0.05 $\pm$ 0.02
13	三明市大田县	2.52 $\pm$ 0.04	0.05 $\pm$ 0.00
14		2.43 $\pm$ 0.11	0.15 $\pm$ 0.08
15		4.69 $\pm$ 0.09	0.05 $\pm$ 0.00
16	三明市宁化县	4.77 $\pm$ 0.09	0.05 $\pm$ 0.01
17	黔东南州凯里市	2.53 $\pm$ 0.01	0.08 $\pm$ 0.02
18		2.53 $\pm$ 0.08	0.08 $\pm$ 0.03

保留时间对样品中的脂肪酸进行定性,18 批三叶木通籽油样品的脂肪酸含量见表 2,可确定三叶木通籽油中含量大于 1%的脂肪酸有 4 种,分别是油酸(C18:1n9c)、亚油酸(C18:2n6c)、棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0),这与 Zhong 等<sup>[17]</sup>的研究结论相符合。

### 2.3 三叶木通籽油聚类分析

聚类分析广泛应用于指纹图谱中<sup>[18-19]</sup>,是根据个性特征对样品进行分类的分析方法。为判定脂肪酸组成对三叶木通籽油的分类情况,采用 Origin 软件对 18 批三叶木通籽油样品进行系统聚类分析,其聚类分析结果见图 2,当样品分为三类时,3、4 号样品聚为一类,9~14 号样品聚为一类,其余 10 批样品聚为一类。13 个脂肪酸变量分别聚为三类,十七烷酸(C17:0)、硬脂酸(C18:0)、油酸(C18:1)、亚麻酸(C18:3)和花生酸(C20:0)为一类,棕榈酸(C16:0)、棕榈油酸(C16:1)、亚油酸(C18:2)和花生一烯酸(C20:1)为一类,丁酸(C4:0)、肉豆蔻酸(C14:0)、顺-10-十七烯酸(C17:1)和二十碳五烯酸(C20:5)为一类。结果表明,三叶



注：各编号所对应的脂肪酸简称分别为：1. C4 : 0; 2. C6 : 0; 3. C8 : 0; 4. C10 : 0; 5. C11 : 0; 6. C12 : 0; 7. C13 : 0; 8. C14 : 0; 9. C14 : 1; 10. C15 : 0; 11. C15 : 1; 12. C16 : 0; 13. C16 : 1; 14. C17 : 0; 15. C17 : 1; 16. C18 : 0; 17. C18 : 1n9t; 18. C18 : 1n9c; 19. C18 : 2n6t; 20. C18 : 2n6c; 21. C20 : 0; 22. C18 : 3n6; 23. C20 : 1; 24. C18 : 3n3; 25. C21 : 0; 26. C20 : 2; 27. C22 : 0; 28. C20 : 3n6; 29. C22 : 1n9; 30. C20 : 3n3; 31. C20 : 4n6; 32. C23 : 0; 33. C22 : 2; 34. C24 : 0; 35. C20 : 5n3; 36. C24 : 1; 37. C22 : 6n3。

Note: The fatty acids corresponding to each number are 1. C4 : 0; 2. C6 : 0; 3. C8 : 0; 4. C10 : 0; 5. C11 : 0; 6. C12 : 0; 7. C13 : 0; 8. C14 : 0; 9. C14 : 1; 10. C15 : 0; 11. C15 : 1; 12. C16 : 0; 13. C16 : 1; 14. C17 : 0; 15. C17 : 1; 16. C18 : 0; 17. C18 : 1n9t; 18. C18 : 1n9c; 19. C18 : 2n6t; 20. C18 : 2n6c; 21. C20 : 0; 22. C18 : 3n6; 23. C20 : 1; 24. C18 : 3n3; 25. C21 : 0; 26. C20 : 2; 27. C22 : 0; 28. C20 : 3n6; 29. C22 : 1n9; 30. C20 : 3n3; 31. C20 : 4n6; 32. C23 : 0; 33. C22 : 2; 34. C24 : 0; 35. C20 : 5n3; 36. C24 : 1; 37. C22 : 6n3, respectively.

图 1 37 种脂肪酸混合标准溶液的色谱图

Fig.1 Chromatography of standard solutions of 37 kinds of mixed fatty acids

表 2 不同三叶木通籽油样品的脂肪酸含量

Table 2 Fatty acid content of different *Akebia trifoliata* seed oil samples

序号	脂肪酸含量												%
	C4 : 0	C14 : 0	C16 : 0	C16 : 1	C17 : 0	C17 : 1	C18 : 0	C18 : 1	C18 : 2	C20 : 0	C20 : 1	C18 : 3	
1	0.06±0.01	0.06±0.00	20.39±0.14	0.31±0.02	ND	ND	2.88±0.13	49.21±0.80	26.53±0.58	0.08±0.00	0.36±0.01	0.11±0.01	ND
2	0.08±0.00	0.07±0.00	20.22±0.37	0.29±0.02	0.05±0.01	ND	2.83±0.15	48.01±0.34	27.97±0.84	0.08±0.00	0.35±0.01	0.05±0.00	ND
3	0.07±0.00	0.07±0.00	22.63±0.42	0.31±0.02	ND	ND	2.47±0.09	42.91±0.56	30.61±0.53	0.06±0.01	0.44±0.00	0.05±0.02	0.34±0.05
4	0.06±0.00	0.07±0.00	22.14±0.38	0.27±0.01	ND	ND	2.57±0.01	43.52±0.62	30.61±0.85	0.05±0.00	0.41±0.01	0.05±0.01	0.24±0.04
5	0.05±0.00	0.09±0.00	20.99±0.53	0.30±0.01	0.06±0.00	0.05±0.00	3.31±0.04	49.22±0.78	25.44±0.26	0.07±0.00	0.37±0.01	0.05±0.00	ND
6	0.05±0.00	0.09±0.00	19.83±0.41	0.28±0.01	0.06±0.00	0.05±0.00	3.25±0.14	50.58±0.50	25.26±0.13	0.09±0.00	0.39±0.01	0.06±0.01	ND
7	0.07±0.00	0.08±0.00	20.10±0.19	0.21±0.01	0.06±0.01	0.04±0.00	3.37±0.11	46.61±0.78	28.53±0.79	0.09±0.01	0.33±0.02	0.08±0.02	0.43±0.01
8	0.07±0.00	0.07±0.01	20.05±0.29	0.18±0.01	0.08±0.01	0.03±0.00	3.46±0.09	47.19±0.44	28.14±0.13	0.03±0.00	0.37±0.01	0.05±0.01	0.27±0.01
9	0.12±0.00	0.10±0.00	21.93±0.43	0.24±0.01	0.07±0.00	0.04±0.01	3.10±0.06	44.91±1.10	28.27±0.87	0.05±0.01	0.41±0.02	0.06±0.02	0.71±0.01
10	0.12±0.00	0.10±0.00	20.43±0.93	0.27±0.01	ND	0.06±0.02	3.13±0.07	47.05±1.15	27.52±0.31	0.04±0.01	0.44±0.01	0.03±0.00	0.80±0.02
11	0.14±0.00	0.10±0.00	21.43±0.17	0.28±0.01	ND	0.05±0.00	2.96±0.13	47.03±0.77	27.11±0.17	0.04±0.00	0.36±0.01	0.05±0.01	0.46±0.01
12	0.13±0.00	0.09±0.00	21.54±0.59	0.28±0.01	ND	0.05±0.00	2.88±0.03	48.10±0.26	25.99±0.32	0.04±0.00	0.35±0.01	0.07±0.02	0.47±0.01
13	0.12±0.00	0.13±0.01	22.59±0.11	0.34±0.00	ND	0.05±0.00	2.62±0.01	44.91±0.35	28.20±0.20	0.05±0.00	0.35±0.04	ND	0.65±0.01
14	0.13±0.00	0.12±0.01	23.23±0.54	0.33±0.01	ND	0.05±0.00	2.84±0.01	45.04±0.36	27.68±0.45	ND	0.43±0.05	0.03±0.00	0.13±0.01
15	0.05±0.00	0.09±0.00	22.17±0.42	0.24±0.00	0.06±0.00	ND	3.15±0.09	47.74±0.33	25.97±0.12	0.07±0.01	0.39±0.01	0.08±0.00	ND
16	0.05±0.00	0.09±0.00	21.37±0.22	0.25±0.01	0.06±0.00	ND	3.33±0.10	47.72±0.43	26.62±0.62	0.09±0.01	0.36±0.01	0.07±0.00	ND
17	0.11±0.00	0.08±0.01	21.59±0.42	0.26±0.01	0.05±0.01	0.04±0.00	3.01±0.03	46.94±0.14	27.42±0.84	0.07±0.00	0.36±0.02	0.06±0.00	ND
18	0.12±0.00	0.09±0.00	21.05±0.36	0.24±0.01	0.04±0.00	ND	3.31±0.02	49.60±0.46	25.09±0.36	0.06±0.00	0.34±0.01	0.05±0.00	ND

注：ND 表示该物质未检出。

Note: ND means not detected.

木通籽油分类与各脂肪酸变量之间有一定相关性，根据不同三叶木通籽油的脂肪酸含量进行聚

类分析，可以使三叶木通籽油得到较好的分类，为三叶木通良种选育工作提供参考。

## 2.4 三叶木通籽油脂肪酸标准指纹图谱的建立

如图 3 所示, 对 18 批三叶木通籽油样品进行气相色谱分析, 根据气相色谱图的共有性和色谱法保留时间的一致性, 确定了 8 个共有特征峰, 利用中国药典委员会推荐的“中药色谱指纹图谱相似度

评价系统 (2012 版)” 对三叶木通籽油气相色谱图进行分析, 得到 1~18 号样品的原始图谱 (指纹图谱中分别以 S1~S18 表示), 以峰最多的 S7 为参照图谱, 采用自动匹配和时间宽度 0.1 的方式, 经多点校正, 生成三叶木通籽油脂肪酸指纹图谱 R。

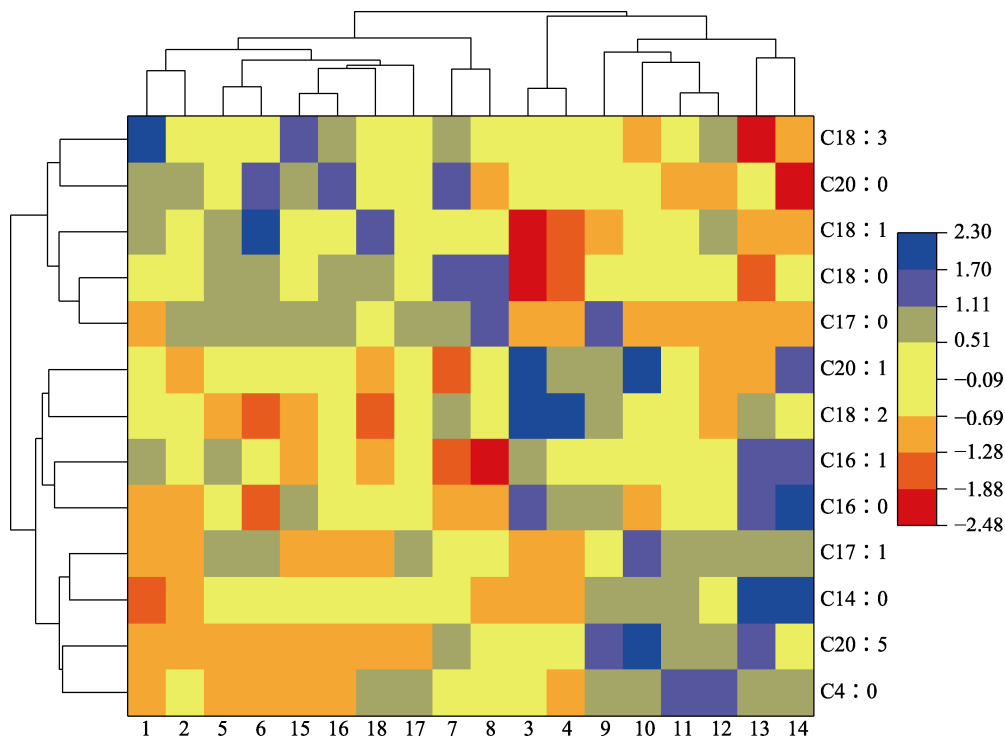


图 2 三叶木通籽油样品的聚类分析热图

Fig.2 Cluster analysis heatmap of *Akebia trifoliata* seed oil samples

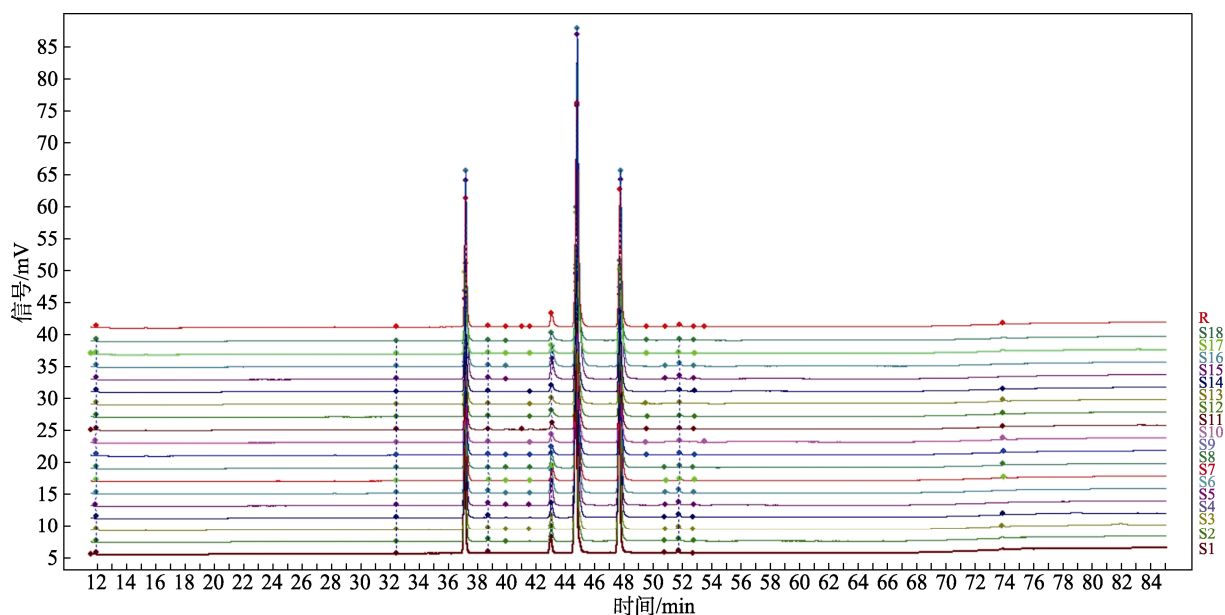


图 3 18 批三叶木通籽油样品的脂肪酸气相色谱图和标准指纹图谱

Fig.3 Fatty acid gas chromatograms and standard fingerprint of 18 batches of *Akebia trifoliata* seed oil samples

对所测的三叶木通籽油样品指纹图谱与生产的标准指纹图谱进行比较, 通过夹角余弦法进行

相似度计算, 相似度结果见图 4, 18 批样品的指纹图谱与标准指纹图谱的相似度在 0.994 以上,

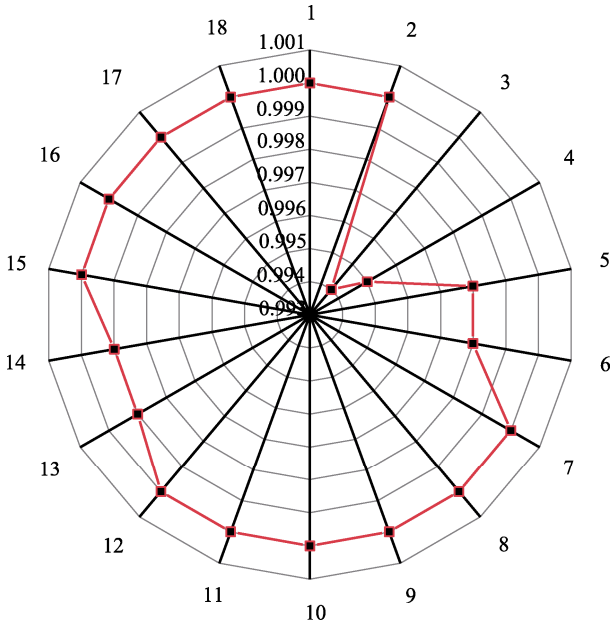


图 4 三叶木通籽油样品的相似性结果雷达图  
Fig.4 Radar image of similarity results of *Akebia trifoliata* seed oil samples

说明不同来源的三叶木通籽油样品具有相似的脂肪酸气相色谱指纹特征，建立的标准指纹图谱可以反映出三叶木通籽油的脂肪酸组成特点，准确

度高、重现性好。

### 2.5 不同三叶木通籽脂肪酸主成分及 PLS-DA 分析

通过对三叶木通籽油脂肪酸含量进行主成分分析，并结合 PLS-DA 分析各脂肪酸的贡献率，由图 5 可知，其前三个主成分的贡献率分别为 39.6%、19.8%和 12.0%，总计得分为 71.5%，其  $Q^2$  为 0.415。不同地区的三叶木通籽油在图中有较明显的分离，桂林市七星区样品集中在右下方；遵义市桐梓、龙岩市长汀和三明市大田县样品集中在右上方；贵阳市息烽、张家界市桑植县和黔东南州凯里市样品集中在左上方；成都市都江堰区、三明市宁化县样品集中在左下方。

在 PLS-DA 分析结果中，根据变量重要性投影值 (Variable importance in the projection, VIP) >1 衡量变量对分类的贡献度，用于筛选特征指标。通过 PLS-DA 分析共筛选出 3 种 VIP 值 >1 的脂肪酸，其大小依次为棕榈酸 (C16:0)、亚油酸 (C18:2)、油酸 (C18:1)，结合指纹图谱分析可知它们是三叶木通籽油中含量前三的脂肪酸，可能是不同地区三叶木通籽油的差异标志物。

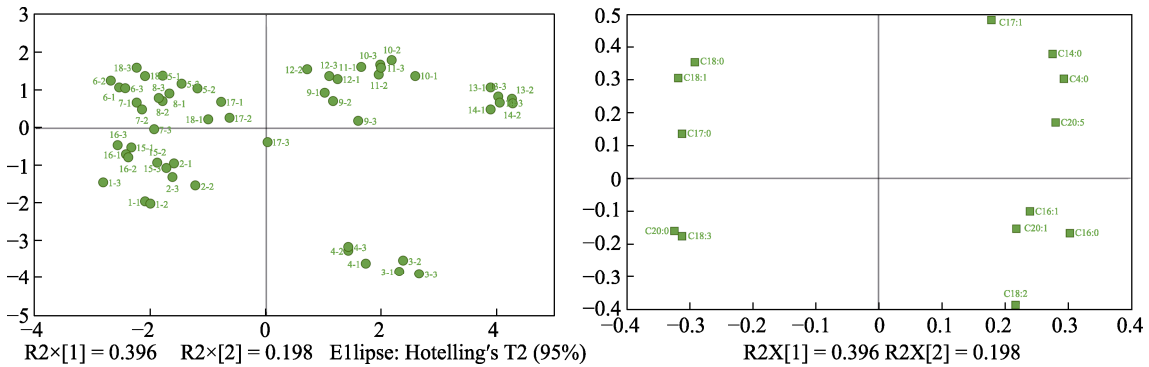


图 5 三叶木通籽油脂肪酸的主成分得分图和载荷图  
Fig.5 PCA score and loading plot of fatty acids in the seed oil of *Akebia trifoliata*

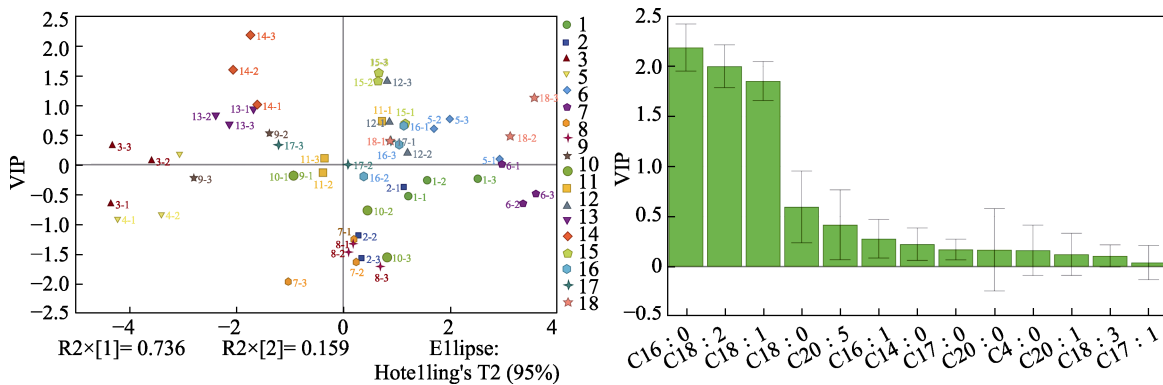


图 6 三叶木通籽油脂肪酸的 PLS-DA 及 VIP 值图  
Fig.6 PLS-DA and VIP value of fatty acids in the seed oil of *Akebia trifoliata*

### 3 结论

本实验对不同地区的三叶木通籽油进行脂肪酸分析, 根据三叶木通籽油的脂肪酸组成建立了气相色谱标准指纹图谱, 样品与标准指纹图谱的相似度均不低于 0.994, 说明建立的标准指纹图谱可以反映脂肪酸的组成特点, 其准确性和可靠度较高。主成分及 PLS-DA 分析结果显示, 不同地区三叶木通籽油具有一定的区分度, 其主要脂肪酸油酸、亚油酸和棕榈酸可能是不同地区三叶木通籽油的差异标志物。仅凭脂肪酸差异难以区分多个地区的三叶木通籽油, 需要结合更加多元的特征结果进行分析和判定。

#### 参考文献:

- [1] XIE J, LI X H, ZHANG C J, et al. Distribution of *Akebia trifoliata* (Thunb.) Koidz wild resources[J]. Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition, 2006, 34, 272-274.
- [2] 张燕君, 党海山, 杨路路, 等. 药用植物三叶木通(*Akebia trifoliata* subsp. *trifoliata*)野生资源的地理分布与调查[J]. 中国野生植物资源, 2013, 32(3): 58-62.  
ZHANG Y J, DANG H S, YANG L L, et al. Geographical distribution and resource survey of wild medicinal plant *Akebia trifoliata* subsp. *trifoliata*[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2013, 32(3): 58-62.
- [3] NIU J, SHI Y, HUANG K, et al. Integrative transcriptome and proteome analyses provide new insights into different stages of *Akebia trifoliata* fruit cracking during ripening[J]. Biotechnol Biofuels, 2020, 13(1), 149.
- [4] 洪秀景. 三叶木通营养组学分析和病原菌分离鉴定[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2021.  
HONG X J. The nutritional omics study of *Akebia trifoliata* and isolation and identification of pathogen bacteria from it[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2021.
- [5] WANG X Y, YU N X, WANG Z L, et al. *Akebia trifoliata* pericarp extract ameliorates inflammation through NF- $\kappa$ B/MAPK signaling pathways and modifies gut microbiota[J]. Food & Function, 2020, 11(5): 4682-4696.
- [6] 李伟业. 三叶木通籽油制备及创伤修复研究[D]. 湘西土家族苗族自治州: 吉首大学, 2021.  
LI W Y. The preparation of *Akebia trifoliata* seed oil and its effect on wound healing[D]. Xiangxi Tujia and Miao Autonomous Prefecture: Jishou University, 2021.
- [7] 陈朝平. 一种制作八月瓜果酱的打浆装置[P]. 重庆市: CN214547055U, 2021-11-02.  
CHEN C P. A beating device for making August melon and fruit jam[P]. Chongqing: CN214547055U, 2021-11-02.
- [8] 张婧, 乐洋, 程莉媛, 等. 八月瓜果酱加工工艺研究[J]. 农产品加工, 2021, (21): 37-41+44.  
ZHANG J, LE Y, CHENG L Y, et al. Optimum process of *Akebia trifoliata* jam[J]. Farm Products Processing, 2021, (21): 37-41+44.
- [9] 郭霞, 李晓斌, 陆文, 等. 云南等五省八月瓜人工种植现状及发展建议[J]. 热带林业, 2019, 47(4): 34-36.
- GUO X, LI X B, LU W, et al. Current situation and development suggestions of artificial planting of *Holboellia latifolia* Wal in Yunnan and other five provinces[J]. Tropical Forestry, 2019, 47(4): 34-36.
- [10] 刘灿, 江慎华, 徐玲玲, 等. 氢化裂解三叶木通油制备生物柴油的研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(1): 76-80.  
LIU C, JIANG S H, XU L L, et al. Biodiesel prepared by hydrocracking *Akebia trifoliata* oil[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(1): 76-80.
- [11] 高晓龙, 徐巍, 李颖, 等. 制油工艺对三叶木通籽油活性成分及抗氧化活性的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(8): 155-159.  
GAO X L, XU W, LI Y, et al. Effects of different processes on active components and antioxidant activities of *Akebia trifoliata* seed oil[J]. Food & Machinery, 2023, 39(8): 155-159.
- [12] 李伟业, 吴海顺, 于华忠. 三叶木通籽油提取方法对比及超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法工艺优化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 203-208.  
LI W Y, WU H S, YU H Z. Comparison of different extraction methods of *Akebia trifoliata* oil and optimization of supercritical CO<sub>2</sub> extraction process[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 203-208.
- [13] 李杏元, 张旺喜. 微波辅助超临界 CO<sub>2</sub> 萃取三叶木通籽油的工艺研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(12): 13-17.  
LI X Y, ZHANG W X. Microwave-assisted supercritical CO<sub>2</sub> extraction of *Akebia trifoliata* seed oil[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(12): 13-17.
- [14] SU S, WU J, PENG X Y, et al. Genetic and agro-climatic variability in seed fatty acid profiles of *Akebia trifoliata* (*Lardizabalaceae*) in China[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2021, 102(1): 104064-104074.
- [15] 周娜娜. 三叶木通籽油提取及生物活性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018.  
ZHOU N N. Research on extraction and bioactivity of *Akebia trifoliata* seed oil[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2018.
- [16] 任红英, 杨小红, 何增, 等. 植物油过氧化值检测方法的研究[J]. 粮食与食品工业, 2022, 29(1): 65-67+71.  
REN H Y, YANG X H, HE Z, et al. Study on determination method of peroxide value in vegetable oil[J]. Cereal & Food Industry, 2022, 29(1): 65-67+71.
- [17] ZHONG Y C, ZHANG Z Q, CHEN J, et al. Physicochemical properties, content, composition and partial least squares models of *A. trifoliata* seeds oil[J]. Food Chemistry: X, 2021, 12, 100131.
- [18] 王召滢, 桂丽静, 曹冰, 等. 茶油中脂肪酸指纹图谱的分析与评价[J]. 南方林业科学, 2020, 48(2): 8-12.  
WANG Z Y, GUI L J, CAO B, et al. Analysis and evaluation of fatty acid fingerprints in *Camellia oleifera* oil[J]. South China Forest Sci, 2020, 48(2): 8-12.
- [19] 贾菲菲, 王钢力, 冯芳, 等. 基于脂肪酸指纹图谱的我国羊肉产地溯源研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(11): 4638-4646.  
JIA F F, WANG G L, FENG F, et al. Study on origin traceability of mutton in China based on fatty acid fingerprint[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(11): 4638-4646. 完

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。