北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

新疆大果沙棘原浆、籽油和果油气味特征及产品间相关性

曾奥 许炳烨 王雪 孟德豪 孙青占 吕兆林

Odor characteristics and inter-product correlation of Xinjiang large berry sea buckthorn pulp, seed oil and fruit oil

Zeng Ao, Xu Bingye, Wang Xue, Meng Dehao, Sun Qingzhan, L ü Zhaolin

引用本文:
曾奥, 许炳烨, 王雪, 孟德豪, 孙青占, 吕兆林. 新疆大果沙棘原浆、籽油和果油气味特征及产品间相关性[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(2):132–142. doi: 10.12171/j.1000–1522.20230241
Zeng Ao, Xu Bingye, Wang Xue, Meng Dehao, Sun Qingzhan, L ü Zhaolin. Odor characteristics and inter-product correlation of Xinjiang large berry sea buckthorn pulp, seed oil and fruit oil[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(2):132–142. doi: 10.12171/j.1000–1522.20230241

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20230241

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

现场分散液液微萃取气相色谱法检测水体中5种拟除虫菊酯类农药

Determination of five pyrethroid pesticides in water using on-site DLLME-GC

北京林业大学学报, 2021, 43(9): 131–138. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210075

2个芍药品种不同花器官香气成分分析

Analysis of the aroma composition of different flower organs of two peony varieties

北京林业大学学报, 2017, 39(2): 92–99. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20160198

沙棘果实中主要活性成分质量分布

A review on mass distribution of active components from *Hippophae rhamnoides* fruits

北京林业大学学报, 2021, 43(1): 144–152. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200236

刺玫果醇提物制备及其主要活性成分与抗氧化相关性

Preparation of alcohol extract of *Rosa davurica* and the correlations between its main active components and antioxidant

北京林业大学学报, 2019, 41(8): 131–137. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20180227

牡丹绿化油用品种繁殖栽培技术

Propagation and afforestation techniques of tree peonies for greening and seed oil production

北京林业大学学报, 2017, 39(1): 112–118. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20160045

长白山云冷杉针阔混交林幼苗幼树空间分布与关联性

Spatial distribution and association of seedlings and saplings in a spruce-fir forest in the Changbai Mountains area of northeastern China

北京林业大学学报, 2020, 42(4): 1–11. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20190071

DOI:10.12171/j.1000−1522.20230241

新疆大果沙棘原浆、籽油和果油气味特征及产品间相关性

曾 奥[1] 许炳烨[1] 王 雪[1] 孟德豪[1] 孙青占[2] 吕兆林[1,3]
（1. 北京林业大学生物科学与技术学院，北京 100083；2. 新疆阿勒泰地区草原站，新疆 阿勒泰 836500；
3. 林业食品加工与安全北京市重点实验室，北京 100083）

摘要:【目的】通过对新疆大果沙棘原浆、籽油及果油呈香物质进行分析，确定其气味特征及产品间相关性，为新疆大果沙棘制品的进一步开发和真伪鉴定提供数据支撑。**【方法】**采用固相微萃取结合气相色谱−质谱串联技术对新疆大果沙棘原浆、籽油和果油这 3 种沙棘主要制品的香气进行研究，表征每种沙棘制品的呈香组分及其香气活度，探究 3 种沙棘产品的关键香气组分，对其进行归类和分析，明确每种沙棘产品的香气特征，并通过聚类热图和相关性分析初步探究 3 种沙棘制品的香气组分之间的关联性。**【结果】**3 种新疆大果沙棘制品共有 64 种呈香物质，沙棘原浆最多，其次是沙棘果油，沙棘籽油最少；沙棘原浆和果油关键呈香物质以酯类为主，籽油以醇类为主。沙棘原浆与果油的香气特征相似，均以果味和酒味为主，沙棘籽油以果味、花香和油脂味为主。新疆大果沙棘原浆、籽油和果油挥发性成分含量丰富，香气独特。沙棘原浆与果油相关性更高，沙棘籽油与另外两种制品相关性较低。**【结论】**研究结果可为后续沙棘产品深加工开发提供一定的理论基础。

关键词：沙棘产品；固相微萃取−气相色谱−质谱技术；呈香物质；香气特征；关联性
中图分类号：TS201.2；S793.6 **文献标志码：**A **文章编号：**1000−1522(2024)02−0132−11
引文格式：曾奥，许炳烨，王雪，等. 新疆大果沙棘原浆、籽油和果油气味特征及产品间相关性［J］. 北京林业大学学报，2024，46(2)：132−142. Zeng Ao, Xu Bingye, Wang Xue, et al. Odor characteristics and inter-product correlation of Xinjiang large berry sea buckthorn pulp, seed oil and fruit oil［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(2): 132−142.

Odor characteristics and inter-product correlation of Xinjiang large berry sea buckthorn pulp, seed oil and fruit oil

Zeng Ao[1] Xu Bingye[1] Wang Xue[1] Meng Dehao[1] Sun Qingzhan[2] Lü Zhaolin[1,3]
(1. School of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. Xinjiang Altay Grassland Station, Altai 836500, Xinjiang, China;
3. Beijing Key Laboratory of Forestry Food Processing and Safety, Beijing 100083, China)

Abstract:［**Objective**］The purpose of this paper was to determine the odor characteristics and correlation between products by analyzing the aromatic substances in the pulp, seed oil and fruit oil of Xinjiang large berry sea buckthorn, and provide data support for the further development and authenticity identification of Xinjiang large berry sea buckthorn products.［**Method**］In this study, solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry was used to study the aroma of three main products of large berry sea buckthorn from Xinjiang of northwestern China. The odor components and odor activities of each product were characterized. The key odor components of the three products were investigated, classified and analyzed, and the odor characteristics of each product were clarified. The correlation between odor

收稿日期: 2023−09−20 **修回日期:** 2023−12−31
基金项目: 沙棘高效提取技术研究及产品开发（2016hxfwswxy011）。
第一作者: 曾奥。主要研究方向：天然产物功能性开发与利用。Email: 869770824@qq.com 地址：100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学生物科学与技术学院。
责任作者: 吕兆林，博士，教授。主要研究方向：林源活性物质提取与功能性食品开发。Email: zhaolinlv@bjfu.edu.cn 地址：同上。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn；http://journal.bjfu.edu.cn

components of three sea buckthorn products was preliminarily explored through cluster thermograms and correlation plot. [**Result**] 64 kinds of odor substances were detected in the three sea buckthorn products. Followed by sea buckthorn fruit oil, sea buckthorn pulp contained the most varieties of odor components while seed oil contained the least. The key contributors to the odor of sea buckthorn pulp and fruit oil were mostly esters, and the seed oil was mainly alcohols. The odor characteristics of sea buckthorn pulp and fruit oil were similar, both of which were mainly fruity and alcoholic, while sea buckthorn seed oil was mainly fruity, floral, and oily. Xinjiang large berry sea buckthorn pulp, seed oil, and fruit oil are rich in volatile components and have a unique aroma. Sea buckthorn pulp has a higher correlation with fruit oil, while seed oil has a lower correlation with the other two products. [**Conclusion**] The results can provide a theoretical basis for the further processing and development of sea buckthorn products.

Key words: sea buckthorn product; solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry; odor component; aroma characteristics; correlation

沙棘(*Hippophe rhamnoids*)又名醋柳、酸刺、黑刺，属胡颓子科(Elaeagnaceae)沙棘属植物[1]，是落叶灌木或小乔木，广泛种植于亚洲、欧洲及北美[2−3]。沙棘的果皮、果肉、种子及叶片等均含有多种活性成分，如花青素、儿茶素、黄酮、氨基酸、甾醇等[4−7]，因而具有抗氧化[8]、免疫调节、降血糖等功能[9]。我国是沙棘资源大国，种植面积约占世界沙棘种植总面积的 90% 以上[10]，沙棘主要分布于新疆[11]、内蒙古、山西等地。大果沙棘是前苏联通过杂交等技术手段筛选的沙棘优良品种，因其具有少刺、易采收等特点，已在新疆等地区广泛栽培[12]。新疆阿勒泰地区的大果沙棘因特殊的气候环境条件，所产的果实大、产量高、品质优异。早在 2009 年，阿勒泰大果沙棘种植区就被命名为全国优质大果沙棘种植示范基地[13]。截至 2021 年，阿勒泰地区乌什县共种植沙棘 0.85 万 hm^2，预计“十四五”期间达到 2 万 hm^2[14]。

然而，沙棘果实的货架期短，果实脆弱易出现损伤，所以常经过加工后再进入市场[15]。沙棘原浆是一种常见的沙棘制品，由沙棘浆果压榨后得到[16]，常作为沙棘饮料、沙棘果醋等深加工产品的主要原料[17]。沙棘果实可以积累两种不同成分的油，其中一种油来自果肉，另一种油来自沙棘籽[18]。沙棘果油和籽油就是分别以沙棘果肉和沙棘籽作为原料经过压榨分离等工序后得到的植物油[19]。近年来我国沙棘产业发展势头迅猛，年加工利用沙棘果实 8 万 ~ 10 万 t，各类沙棘产业年总产值 240 亿 ~ 260 亿元[20]。而在沙棘相关产品中，沙棘籽油和沙棘果油是目前市场需求最为旺盛的产品，市场处于供不应求的状态[21]。沙棘油类产品缺口较大，加之生产成本高，且中国企业及产品品牌众多，造成沙棘油出现掺假、售假现象[22]。

香气，由不同的挥发性物质组成，成分通常较复杂，是评价沙棘产品的重要感官指标[2]。检测食品香气的方法可分为感官分析和仪器分析[23]，在仪器分析中，由于气相色谱−质谱联用(gas chromatography mass spectrometry，GC-MS)具有高灵敏度、低检测限和准确的定性能力的优势，常与固相微萃取(solid phase microextraction，SPME)结合用于食品挥发性物质的检测[23−24]。现阶段，有关沙棘风味的研究主要以沙棘原浆为主。Ao 等[2]采用了 SPME-GC-MS 对不同条件超高温处理后的沙棘原浆挥发性成分进行了定性和定量检测，对比研究了超高温处理对沙棘原浆的影响；付依依等[25]也采用了同样的技术对比研究了发酵对于沙棘原浆中挥发性成分的影响。而对于沙棘果油、沙棘籽油的香气成分构成，目前的研究较少，且未见对于沙棘原浆、果油和籽油呈香物质关联性的讨论。

本研究将采用 SPME-GC-MS 技术，对新疆阿勒泰地区大果沙棘制成的原浆、果油和籽油中呈香物质进行表征，找出关键呈香物质与香气特征，并对沙棘原浆、果油和籽油中呈香物质的关联性进行研究、讨论，为后续沙棘产品的开发与利用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材　料

沙棘原浆、沙棘果油、沙棘籽油样品由新疆慧华沙棘生物科技有限公司提供。沙棘果经过清洗、打浆、去除皮渣后灌装、灭菌得到沙棘原浆；沙棘原浆经过离心分离毛果油和精炼得到沙棘果油；沙棘籽油则是沙棘清洗打浆后将果渣干燥，籽皮分离得到沙棘籽，沙棘籽破碎后利用二氧化碳萃取法制备得到的。

氯化钠(分析纯)，西陇科学股份有限公司；正己烷(分析纯)，现代东方(北京)科技发展有限公司；2-辛醇(色谱纯)，美国 Sigma 公司；实验室用水为分析型实验室专用纯水机 FST-II-10/20 制备的蒸馏水。

1.2 研究方法

1.2.1 SPME 取样

参考 Ao 等[2]的办法并进行了调整。分别取 3.000 0 g 沙棘原浆、果油和籽油于 20 mL 萃取瓶中，同时加入转子和一定量的 NaCl，将其于 40 ℃ 条件下的磁力加热搅拌装置上加热搅拌 15 min，用已经活化好的 50/30 μm DVB/CAR on PDMS 萃取头于 40 ℃ 下在样品瓶顶空处吸附 30 min，完成后立即使用日本岛津 GCMS-QP2010Ultra 气质联用仪进行测定。

1.2.2 色谱条件

DB-WAX(0.25 mm × 30 m × 0.25 μm)色谱柱，美国 Agilent 公司；载气为高纯氦气(纯度 > 99.999%)，流速为 1 mL/min；进样口温度 250 ℃，分流进样，分流比为 20∶1，进样体积 1 μL；柱温箱的升温程序为初温 40 ℃，以 3 ℃/min 升到 250 ℃/min，共 70 min。

1.2.3 质谱条件

质谱接口温度为 250 ℃，电离方式 EI，离子能量 70 eV，离子源温度 200 ℃，质量扫描 *m/z* 范围 40～500，采用 Scan 模式扫描。

1.2.4 定性和定量分析

利用 GC-MS 的扫描模式，将得到的谱图与美国国家标准与技术研究院的 NIST11 和 NIST11s 标准质谱库对比，取匹配度 80% 及以上者，结合正构烷烃保留时间计算得到保留指数，对呈香物质进行定性。

以 2-辛醇作为沙棘原浆、沙棘果油、籽油的内标进行定量。在样品中加入 5 μL 质量浓度为 88.2 mg/L 的 2-辛醇标准品溶液，通过色谱峰面积计算样品中呈香物质的含量(*N*, mg/kg)，按式(1)计算。

$$N = \frac{S_1}{S_2 \times m_1} \times m_2 \tag{1}$$

式中：S_1 为待测呈香物质的峰面积；S_2 为内标物的峰面积；m_1 为样品质量(g)；m_2 为内标物的质量(μg)。

1.3 数据处理

采用 SPSS26.0 软件对全部数据进行统计学分析，利用 Origin2021 绘制总离子流图、柱状图、风味雷达图、聚类热图和相关性分析图。

2 结果与分析

2.1 沙棘原浆、籽油和果油的呈香物质构成

按照 1.2 研究方法，测得沙棘原浆、籽油和果油挥发性成分的总离子流图(图 1)。对图 1 中各个色谱峰按照 1.2.4 定性和定量分析整理得到图 2 和表 1。表 1 显示：沙棘原浆、籽油和果油经 SPME-GC-MS 共检测出 64 种呈香物质，其中沙棘原浆 42 种、沙棘籽油 25 种、沙棘果油 41 种。所测得的呈香物质中酯类物质最多，有 27 种，其他物质分别为醇类 10 种、酸类 9 种、醛类 8 种、酮类 6 种和其他 4 种，各呈香物质含量在 0.047 5～59.773 9 mg/kg 之间。

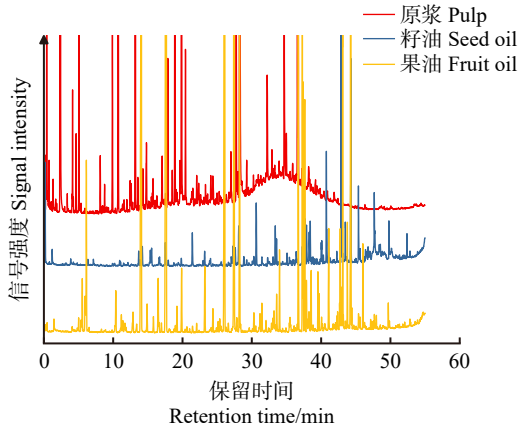


图 1 沙棘原浆、籽油和果油呈香物质总离子流图

Fig. 1 Total ion flow diagram of odor components in sea buckthorn pulp, seed oil and fruit oil

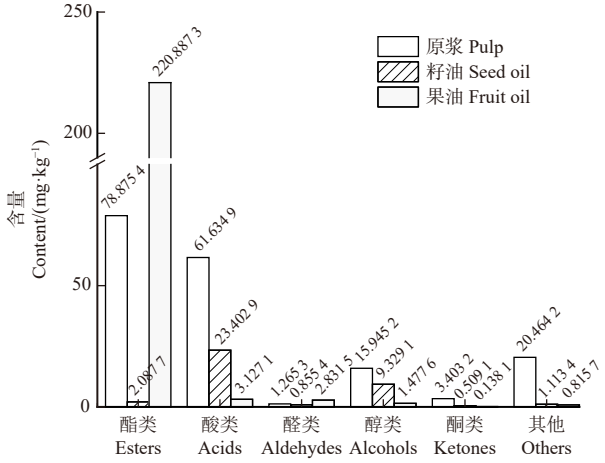


图 2 沙棘原浆、籽油和果油中呈香物质类别及其含量比较

Fig. 2 Comparison of the categories and contents of odor components in sea buckthorn pulp, seed oil and fruit oil

酯类是沙棘原浆与果油中含量最高(图 2)且种类最丰富的呈香物质，其中果油 23 种，原浆 19 种，籽油仅 5 种。图 2 结合表 1 显示：沙棘果油中检测到的酯类呈香物质含量高于原浆和籽油；沙棘原浆中含量最高的酯类呈香物质由大到小依次为己酸乙酯、辛酸乙酯、异戊酸异戊酯，含量分别是 20.139 2、18.087 0 和 16.920 8 mg/kg。己酸乙酯是水果中常见的呈香物质，在菠萝(*Ananas comosus*)[26]和塔罗科血橙(*Citrus sinensis*)[27]中也有发现，香气描述为强烈的果味、菠萝味、香蕉味和酒味。沙棘果油中含量最高的酯类呈香物质与原浆相同但含量存在差异，由大到小依次为异戊酸异戊酯、辛酸乙酯、己酸乙酯，含量分别是 59.773 9、43.238 7 和 30.906 4 mg/kg

表 1　沙棘原浆、籽油和果油呈香物质

Tab. 1　Odor components of sea buckthorn pulp, seed oil and fruit oil

类别 Classification	序号 No.	名称 Name	保留指数 Retention Index	分子式 Formula	香气描述 Odor description	香气分类 Odor type	阈值 Threshold value/（mg·kg^{-1}）	原浆 Pulp		籽油 Seed oil		果油 Fruit oil	
								含量 Content/（mg·kg^{-1}）	OAV	含量 Content/（mg·kg^{-1}）	OAV	含量 Content/（mg·kg^{-1}）	OAV
酯类 Esters	1	乙酸乙酯 Ethyl acetate	921	$C_4H_8O_2$	果味, 类似白兰地, 菠萝回味Fruity, brandy-like, reminiscent of pineapple	1,2	0.005	0.162 6	32.514 0				
	2	丁酸乙酯 thyl butyrate	1 057	$C_6H_{12}O_2$	菠萝后调的果味 A fruity odor with pineapple undertone	1	0.000 9	0.268 9	298.831 9			0.235 1	261.185 7
	3	2-甲基丁酸乙酯 Ethyl 2-methylbutyrate	1 077	$C_7H_{14}O_2$	强烈的果味, 类似苹果 Powerful fruity, apple-like	1	0.000 013	1.397 4	107 488.723 4			0.979 6	75 350.988 0
	4	异戊酸乙酯 Ethyl isovalerate	1 088	$C_7H_{14}O_2$	强烈的果味, 葡萄酒味, 类似苹果 Strong fruity, vinous, apple-like odor	1,2	0.000 01	3.564 1	356 413.230 5			3.533 6	353 363.167 2
	5	异戊酸丁酯 Butyl isovalerate	1 295	$C_9H_{18}O_2$	苹果味, 梨味, 甜味, 菠萝味, 桃子味 Apple, pear, sweet, pineapple, peach odor	1,3		1.215 2					
	6	己酸乙酯 Ethyl hexanoate	1 231	$C_8H_{16}O_2$	强烈的果味, 带有菠萝、香蕉和酒味 Powerful fruity odor with a pineapple, banana, also wine odor	1,2	0.002 2	20.139 2	9 154.179 8	0.219 8	99.895 9	30.906 4	14 048.377 7
	7	丁酸异戊酯 Isoamyl butyrate	1 263	$C_9H_{18}O_2$	果味, 杏味, 菠萝味, 香蕉味 Fruity, apricot, pineapple, banana odor	1	0.015	0.264 0	17.600 7			0.356 0	23.732 2
	8	2-甲基丁酸-3-甲基丁酯 3-methylbutyl 2-methylbutanoate	1 276	$C_{10}H_{20}O_2$	果味 Fruity odor	1	0.008 6	0.730 3	84.918 3			1.409 0	163.834 0
	9	异戊酸异戊酯 Isoamyl isovalerate	1 296	$C_{10}H_{20}O_2$	甜味, 苹果味, 杏味, 芒果味 Sweet, apple, apricot, mango odor	1,3	0.02	16.920 8	846.039 5	0.860 3	43.017 0	59.773 9	2 988.696 1
	10	庚酸乙酯 Ethyl heptanoate	1 342	$C_9H_{18}O_2$	果味, 葡萄酒和白兰地回味Fruity odor reminiscent of winy-brandy	1,2	0.001 9					1.599 5	841.821 4
	11	己酸异丁酯 Isobutyl hexanoate	1 353	$C_{10}H_{20}O_2$	类似可可味后调的苹果味和果味Apple, fruity odor with cocoa-like undertone	1		1.032 3				0.077 9	
	12	2-羟基异戊酸乙酯 Ethyl 2-hydroxyisovalerate	1 426	$C_7H_{14}O_3$	菠萝味, 草莓味, 茶味, 蜂蜜味 Pineapple, strawberry, tea, honey odor	1,3		0.844 0				0.327 0	
	13	辛酸乙酯 Ethyl octanoate	1 436	$C_{10}H_{20}O_2$	令人愉悦的果香、花香, 带有酒和杏子味A pleasant fruity, floral odor with wine–apricot note	1,2,4	0.019 3	18.087 0	937.149 9	0.559 7	29.002 1	43.238 7	2 240.348 0
	14	己酸异戊酯 Isoamyl hexanoate	1 460	$C_{11}H_{22}O_2$	苹果味, 菠萝味, 甜味 Apple, pineapple, sweet odor	1,3	0.32					23.856 3	74.551 0
	15	当归酸-3-甲基丁酯 3-methylbutyl angelate	1 471	$C_{10}H_{18}O_2$	新鲜的草本味, 酒味, 果味, 当归味, 酸味 Fresh herbal, wine, fruity, angelic, acid odor	1,2,6		0.477 0				0.436 4	
	16	辛酸异丁酯 Isobutyl octanoate	1 551	$C_{12}H_{24}O_2$	果味, 油脂味, 花香 Fruity, oily, floral odor	1,4,6						0.464 2	
	17	癸酸甲酯 Methyl decanoate	1 586	$C_{11}H_{22}O_2$	油脂味, 酒味, 果味, 花香 Oily, wine, fruity, floral odor	1,2,4,5	0.004 3					0.067 1	15.598 5
	18	苯甲酸甲酯 Methyl benzoate	1 615	$C_8H_8O_2$	果味, 类似依兰香 Fruity odor, similar to cananga	1,4	0.073	0.339 4	4.649 8			0.297 0	4.067 9
	19	癸酸乙酯 Ethyl decanoate	1 638	$C_{12}H_{24}O_2$	葡萄味, 油脂味, 类似白兰地Grape, oily, brandy-like odor	1,2,5	0.005	1.905 1	381.015 9			7.784 8	155 6.965 3
	20	苯甲酸乙酯 Ethyl benzoate	1 660	$C_9H_{10}O_2$	果味, 依兰香 Fruity odor, similar to cananga	1,4	0.055 56	6.017 0	108.298 2			6.329 6	113.924 3
	21	辛酸异戊酯 Isoamyl octanoate	1 664	$C_{13}H_{26}O_2$	果味 Fruity odor	1	0.07					4.276 6	61.095 0
	22	反式-4-癸酸乙酯 Ethyl *trans*-4-decenoate	1 680	$C_{12}H_{22}O_2$	果味, 类似酯类, 像柑橘的甜味和醛类味道 Fruity, ester-like, sweet and aldehyde odor like citrus	1,3		0.730 5				4.321 2	
	23	γ-己内酯 γ-hexalactone	1 688	$C_6H_{10}O_2$	甜味, 草本味, 奶油味, 烟草味和类似香豆素的椰子味 Sweet, herbaceous, creamy, tobacco and coumarin-like coconut odor	3,6	0.26	0.363 1	1.396 6				

表 1(续)

Tab.1 (continued)

类别 Classification	序号 No.	名称 Name	保留指数 Retention Index	分子式 Formula	香气描述 Odor description	香气分类 Odor type	阈值 Threshold value/(mg·kg^{-1})	原浆 Pulp		籽油 Seed oil		果油 Fruit oil	
								含量 Content/(mg·kg^{-1})	OAV	含量 Content/(mg·kg^{-1})	OAV	含量 Content/(mg·kg^{-1})	OAV
	24	月桂酸乙酯 Ethyl laurate	1 828	$C_{14}H_{28}O_2$	花香, 果味 Floral, fruity odor	1,4	5.9					1.511 7	0.256 2
	25	苯甲酸异戊酯 Isoamyl benzoate	1 928	$C_{12}H_{16}O_2$	淡淡的甜味, 类似果味 Mild sweet, fruit-like	1,3	0.25	4.417 5	17.670 0			27.827 5	111.310 1
	26	异戊酸苯乙酯 Phenethyl isovalerate	1 980	$C_{13}H_{18}O_2$	果味, 类似玫瑰香 Fruity odor, rose-like	1,4				0.125 1		1.278 2	
	27	γ-壬内酯γ-nonalactone	2 010	$C_9H_{16}O_2$	强烈的椰子和脂肪回味 Strong odor reminiscent of coconut and a fatty	5	0.009 7			0.322 8	33.275 0		
醇类 Alcohols	28	乙醇 Ethanol	955	C_2H_6O	强烈的酒味, 醚味, 医院味 Strong alcoholic, ethereal, medical odor	2	950	3.631 8	0.003 8				
	29	异戊醇3-methyl-1-butanol	1 192	$C_5H_{12}O$	杂醇油味, 类似威士忌味, 辛辣味 Fusel oil, whiskey-characteristic, pungent odor	2,5	0.004	4.146 7	1 036.673 8				
	30	正己醇*n*-hexanol	1 354	$C_6H_{14}O$	草本味, 木质香, 芳香, 淡淡的甜味, 果味 Herbaceous, woody, fragrant, mild sweet, fruity odor	1,3,6	0.005 6	0.750 1	133.939 3	1.137 9	203.200 3	0.199 5	35.622 6
	31	顺-氧化芳樟醇*cis*-linalol furanoxide	1 444	$C_{10}H_{18}O_2$	泥土味, 花香, 甜味, 木质香 Earthy, floral, sweet, woody odor	3,4,6	0.1	0.344 4	3.444 2				
	32	庚醇 Heptyl alcohol	1 462	$C_7H_{16}O$	芳香, 木质香, 油脂味, 淡淡的脂肪味 Fragrant, woody, oily, faint fatty odor	5,6	0.005 4			0.559 7	103.650 7	0.079 6	14.736 3
	33	芳樟醇 Linalool	1 553	$C_{10}H_{18}O$	花香 Floral odor	4	0.000 22	0.261 9	1 190.422 0				
	34	1-辛醇1-octanol	1 565	$C_8H_{18}O$	新鲜的橘子和玫瑰香 Fresh orange-rose odor	1,4	0.125 8	0.763 0	6.065 2	0.744 2	5.915 4	0.990 3	7.871 9
	35	(E,E)-3,5-辛烯-2-酮(E,E)-3,5-octadien-2-one	1 566	$C_8H_{12}O$	辛辣味, 草本味 Pungent, herbaceous	6	0.1			1.175 4	11.754 1		
	36	苯甲醇 Benzyl alcohol	1 876	C_7H_8O	果味 Fruity odor	1	2.546 21	0.235 4	0.092 5	0.894 1	0.351 1	0.208 2	0.081 8
	37	苯乙醇 Phenylethyl alcohol	1 909	$C_8H_{10}O$	玫瑰香 Rose-like odor	4	0.564 23	5.811 9	10.300 6	4.817 8	8.538 6		
酸类 Acids	38	乙酸 Acetic acid	1 454	$C_2H_4O_2$	强烈的辛辣味, 醋味 Strong pungent, vinegar	−	99	1.572 2	0.015 9	0.377 1	0.003 8	0.102 5	0.001 0
	39	丙酸 Propanoic acid	1 525	$C_3H_6O_2$	辛辣味, 哈喇味 Pungent, rancid	1	2.19			0.342 5	0.156 4		
	40	正丁酸*n*-butyric acid	1 631	$C_4H_8O_2$	强烈刺鼻的腐败黄油味 A persistent, penetrating, rancid, butter-like	5	2.4	0.394 8	0.164 5				
	41	异戊酸 Isovaleric acid	1 674	$C_5H_{10}O_2$	哈喇味, 奶酪味 Rancid, cheese-like	−	0.49	52.524 8	107.193 4			1.072 3	2.188 5
	42	己酸 Hexanoic	1 850	$C_6H_{12}O_2$	汗味, 腐败味, 酸味, 辛辣味, 奶酪味, 脂肪味, 不好的椰子油回味 Sweaty, rancid, sour, pungent, cheesy, fatty, unpleasant odor reminiscent of copra oil	5	0.89	6.518 5	7.324 1	5.974 7	6.713 1	1.048 4	1.177 9
	43	庚酸 Heptanoic acid	1 958	$C_7H_{14}O_2$	腐败味, 汗味, 酸味, 脂肪味 Rancid, sweat-like, sour, fatty odor	5	0.64	0.341 8	0.534 0	1.758 2	2.747 2	0.418 5	0.653 9
	44	辛酸 Octanoic acid	2 067	$C_8H_{16}O_2$	淡淡的果酸味Faint fruity-acid odor	1	3	0.282 8	0.094 3			0.375 4	0.125 1
	45	壬酸 Nonanoic acid	2 165	$C_9H_{18}O_2$	脂肪味 Fatty odor	5	4.6			1.157 8	0.251 7	0.110 0	0.023 9
	46	亚油酸 Linoleic acid	3 168	$C_{18}H_{32}O_2$	淡淡的脂肪味 Faint fatty odor	5				13.792 6			
醛类 Aldehydes	47	正己醛 Hexanal	1 103	$C_6H_{12}O$	脂肪味, 青草味, 强烈的果味 Fatty, grassy, powerful fruity odor	1,5,6	0.005	0.232 7	46.541 3				
	48	正庚醛 Heptanal	1 184	$C_7H_{14}O$	强烈的脂肪味, 苦味, 辛辣味 Strong fatty, harsh, pungent	5	0.002 8	0.646 7	230.970 0				
	49	正辛醛*n*-octanal	1 280	$C_8H_{16}O$	脂肪味, 柑橘味, 蜂蜜味 Fatty, citrus, honey	1,3,5	0.000 587	0.188 8	321.614 1			0.239 0	407.227 8
	50	正壬醛*n*-nonanal	1 390	$C_9H_{18}O$	强烈的脂肪味, 散发橘子和玫瑰香Strong fatty odor developing an orange and rose note	1,4,5	0.001 1	1.534 7	1 395.158 0	0.534 7	486.048 5	1.785 3	1 623.043 1
	51	(E)-2-辛烯醛(E)-2-octenal	1 422	$C_8H_{14}O$	新鲜黄瓜味, 脂肪味, 草本味, 香蕉味, 绿叶味 Fresh cucumber, fatty, herbal, banana, green leaf odor	1,5,6	0.003					0.280 1	93.351 1
	52	糠醛 Furfural	1 460	$C_5H_4O_2$	环状醛特有的渗透性气味 Characteristic penetrating odor typical of cyclic aldehyde	−	9.562	20.464 2	2.140 2			0.122 2	0.012 8

表 1(续)

Tab.1 (continued)

类别 Classification	序号 No.	名称 Name	保留指数 Retention Index	分子式 Formula	香气描述 Odor description	香气分类 Odor type	阈值 Threshold value/(mg·kg^{-1})	原浆 Pulp 含量 Content/(mg·kg^{-1})	原浆 Pulp OAV	籽油 Seed oil 含量 Content/(mg·kg^{-1})	籽油 Seed oil OAV	果油 Fruit oil 含量 Content/(mg·kg^{-1})	果油 Fruit oil OAV
	53	正癸醛 Decanal	1 468	$C_{10}H_{20}O$	甜味，花香，柑橘味，脂肪味 Sweet, floral, citrus, fatty	1,3,4,5	0.003	0.321 4	107.144 6				
	54	苯甲醛 Benzaldehyde	1 505	C_7H_6O	强烈的甜味，苦味，杏仁味，樱桃味 Strong sweet, bitter, almond, cherry	1,3	0.750 89	0.943 9	1.257 1	0.320 7	0.427 0	0.527 1	0.702 0
酮类 Ketones	55	丙酮 Acetoin	1 275	$C_4H_8O_2$	淡淡的木质香，酸奶味 Bland woody, yogurt odor	6	0.014	0.813 3	58.092 4				
	56	甲基庚酮 Methylheptenone	1 330	$C_8H_{14}O$	强烈的脂肪味，柑橘味 Strong fatty, citrus-like	1,5	0.068	2.589 9	38.087 0	0.270 0	3.971 0		
	57	2-癸酮2-decanone	1 503	$C_{10}H_{20}O$	橘子味，花香，脂肪味，桃子味 Orange, floral, fatty, peach odor	1,4,5	0.008 3			0.158 6	19.108 1		
	58	(E)-β-大马酮(E)-β-damascenone	1 813	$C_{13}H_{18}O$	苹果味，玫瑰香，蜂蜜味，烟草味，甜味 Apple, rose, honey, tobacco, sweet odor	1,3,4	0.000 002					0.090 6	45 307.329 3
	59	(E)-β-紫罗兰酮 (E)-β-ionone	1 940	$C_{13}H_{20}O$	干燥的花香，木质香，鸢尾香 Dry floral, woody, orris odor	4,6	0.003 5			0.080 5	22.987 4		
	60	β-紫罗兰酮β-ionone	1 940	$C_{13}H_{20}O$	干燥的花香，木质香，鸢尾香 Dry floral, woody, orris odor	4,6	0.000 007					0.047 5	6 789.479 4
其他 Others	61	月桂烯 Myrcene	1 146	$C_{10}H_{16}$	甜味，香油味，塑料味 Sweet, balsamic, plastic odor	3,5	0.001 2			0.064 7	53.909 2		
	62	2-戊基呋喃 2-pentylfuran	1 215	$C_9H_{14}O$	果味，青豆味，金属味，蔬菜味 Fruity, green bean, metallic, vegetable odor	1	0.005 8			0.484 1	83.459 7		
	63	γ-松油烯 γ-terpinene	1 238	$C_{10}H_{16}$	木质香，热带柠檬味 Woody, tropical lemon odor	1,6	1			0.564 6	0.564 6		
	64	(Z)-β-罗勒烯(Z)-β-ocimene	1 248	$C_{10}H_{16}$	花香，草本味，甜味 Floral, herbal, sweet odor	3,4,6	0.034					0.693 5	20.396 6

注：香气分类列中“1”为果味，“2”为酒味，“3”为甜味，“4”为花香，“5”为油脂味，“6”为草本味，“–”为不属于这6类；空白表示未检出或无。OAV代表气味活度值. Notes: in odor type column, “1” represents fruity, “2” represents alcoholic, “3” represents sweet, “4” represents floral, “5” represents fatty, “6” represents herbal, and “–” represents not belonging to those six types. Blank space indicates not detected or not present. OAV represents odor activity value.

(表 1)。这 3 种物质的气味均以果味为主，为沙棘原浆和果油的香气奠定了基调。

沙棘产品中检测到的酸类呈香物质以脂肪味为主，原浆、籽油和果油各含有 6 种，从含量来看沙棘原浆酸类物质最高，其次是籽油，果油含量最低。沙棘原浆中异戊酸含量高达 52.524 8 mg/kg(表 1)，占主导地位。沙棘籽油中酸类呈香物质占比最高，主要为亚油酸和己酸，含量分别是 13.792 6 和 5.974 7 mg/kg(表 1)，气味均以油脂味为主。异戊酸气味描述为哈喇味和奶酪味，同己酸一样为不理想的呈香物质，在后期的沙棘原浆和籽油产品加工过程中应该注意去除或转化。

沙棘原浆、籽油和果油中分别检测到 8 种、6 种和 4 种醇类呈香物质，原浆含量最高，其次是籽油，果油含量最低。沙棘原浆和籽油的醇类呈香物质均以苯乙醇为主，含量分别为 5.811 9 和 4.817 8 mg/kg(表 1)，香气为花香。

醛类、酮类和其他呈香物质在沙棘产品中含量均偏低，含量在 0.047 5 ~ 20.464 2 mg/kg(表 1)之间。沙棘原浆中检测到醛类呈香物质 7 种，酮类 2 种。沙棘籽油中检测到醛类呈香物质 2 种、酮类 3 种、其他 3 种。沙棘果油中检测到醛类呈香物质 5 种、酮类 2 种、其他 1 种。

2.2　沙棘原浆、籽油和果油的关键呈香物质

气味活度值(odor activity value，OAV)是挥发性化合物质量浓度与其气味阈值的比值[28]，可以评价呈香物质的香气强度。OAV ≥ 1 的呈香物质对沙棘原浆、籽油及果油的气味有贡献，为关键呈香物质[2]。对检测到的 64 种呈香物质进行筛选，取 OAV ≥ 1 的呈香物质，关键呈香物质共 44 种。

沙棘原浆关键呈香物质共 31 种，其中 OAV 值较高的有丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、异戊酸乙酯、己酸乙酯、异戊酸异戊酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯、苯甲酸乙酯、异戊醇、正己醇、芳樟醇、异戊酸、正庚醛、正辛醛、正壬醛和正癸醛(表 1)。以上物质均以果味为主，部分带有花香和酒味，极少数含有甜味和油脂味、草本味。

沙棘籽油关键呈香物质共 17 种，包括己酸乙酯、异戊酸异戊酯、辛酸乙酯、γ-壬内酯、正己醇、庚醇、1-辛醇、己酸、庚酸、正壬醛、(E,E)-3,5-辛烯-2-酮、苯乙醇、甲基庚酮、2-癸酮、(E)-β-紫罗兰酮、月桂烯和 2-戊基呋喃(表 1)。其中正壬醛、正己醇和庚醇 OAV 值最高，这 3 种物质的气味描述可被归为果味、甜味、油脂味和草本味。

沙棘果油关键呈香物质共 27 种，其中丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、异戊酸乙酯、己酸乙酯、2-甲基丁酸-3-甲基丁酯、异戊酸异戊酯、庚酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯、苯甲酸乙酯、苯甲酸异戊酯、正辛醛、正壬醛、(E)-β-大马酮和 β-紫罗兰酮 OAV 值较高(表 1)。以上物质均以果味为主，部分含有酒味，极少数含有花香和甜味。

2.3 沙棘原浆、籽油和果油的香气特征

为了更清晰地表征 3 种沙棘产品的香气特征，根据气味描述可将沙棘产品中的呈香物质分成果味、酒味、花香、甜味、油脂味和草本味这 6 类。将同一气味类别物质的 OAV 进行求和，以 10 为底数取对数后绘制沙棘原浆、籽油和果油的风味轮廓图(图 3)。

以 OAV 值的大小结合风味轮廓图中对应面积的大小为判断气味强度的依据。图 3 显示：从整体气味强度来看，沙棘果油最大，其次是原浆，籽油气味强度最低。沙棘果油的果味和酒味突出，甜味与花香稍次，草本味与油脂味最弱，但在 3 种产品中都处于较高水平，整体气味轮廓与 2.1 和 2.2 的结论大致相同。沙棘果油中 OAV 较高的有异戊酸异戊酯、2-甲基丁酸乙酯、己酸乙酯和正壬醛，OAV 均大于 1 000，对果味的贡献最大，其次是酒味，对花香贡献较小。沙棘原浆的果味与酒味最强，花香与油脂味较弱，甜味与草本味最次，其中果味、酒味和油脂味在 3 种产品中均处于较高水平。沙棘籽油果味、油脂味和花香较强，草本味和甜味较弱，酒味极弱，6 种气味均处于较低水平。

2.4 沙棘原浆、籽油和果油呈香物质的关联性

2.4.1 沙棘原浆与籽油呈香物质关联性

图 4 和表 1 显示：沙棘原浆与籽油的共有呈香物质有 13 种，其中原浆的己酸乙酯、正壬醛、辛酸

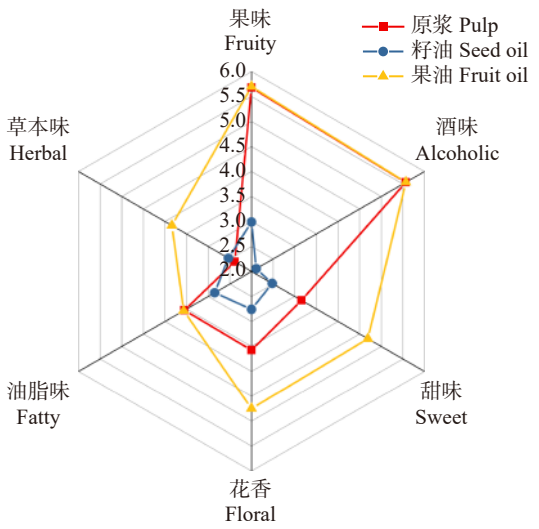


图 3 沙棘原浆、籽油及果油风味轮廓图

Fig. 3 Flavor profile of sea buckthorn pulp, seed oil and fruit oil

乙酯、异戊酸异戊酯、甲基庚酮、苯甲醛和乙酸 OAV 远高于籽油，为籽油的 2.9 ~ 91.6 倍(表 1)。这些物质都属于果味，部分属于酒味、花香、甜味和油脂味，所以沙棘原浆的果味比籽油更加浓郁。沙棘籽油的正己醇、苯甲醇和庚酸 OAV 略高于原浆，分别为原浆的 1.5 倍、3.8 倍和 5.1 倍，所以籽油的草本味比原浆更加强烈。

2.4.2 沙棘原浆与果油呈香物质关联性

图 5 和表 1 显示：沙棘原浆与果油的共有呈香物质有 28 种(含 4 种未查到阈值的呈香物质)，其中原浆的正己醇、异戊酸、己酸、糠醛和乙酸的 OAV 值是果油的 3.8 ~ 167.4 倍。具有不理想气味的乙酸、异戊酸和糠醛虽然在原浆中含量较高，但其阈值同样较高，因而气味活度值较低，对沙棘原浆的整体气味负面影响较小。沙棘果油的辛酸乙酯、异戊酸异戊酯、癸酸乙酯和苯甲酸异戊酯的 OAV 值为原浆的 2.3 ~ 6.3 倍，故沙棘果油的酒味与甜味比原浆更浓，且更容易为消费者所接受。

2.4.3 沙棘籽油与果油呈香物质关联性

图 6 和表 1 显示：沙棘果油与籽油的共有呈香物质有 14 种(含 1 种未查到阈值的呈香物质)，其中籽油的正己醇、庚醇、己酸、庚酸、苯甲醇、壬酸和乙酸的 OAV 值较高，为果油的 3.7 ~ 10.5 倍，所以籽油的油脂味比果油更加明显。沙棘果油的己酸乙酯、异戊酸异戊酯和辛酸乙酯的 OAV 值较高，为籽油的 69.4 ~ 140.6 倍，故其果味、酒味和花香更加浓郁。

2.4.4 3 种沙棘产品呈香物质关联性

沙棘原浆、籽油和果油共有呈香物质 11 种，对其进行差异显著性分析和聚类热图分析分别得到表 2 和图 7。表 2 显示：原浆和果油的 11 种共有物

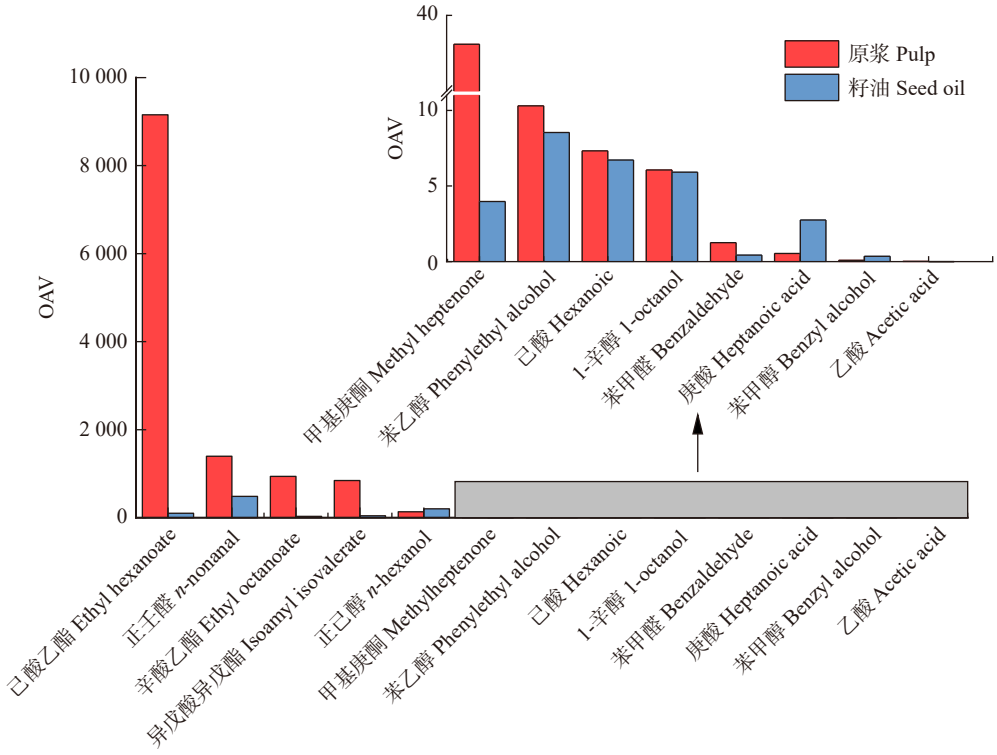


图 4　沙棘原浆与籽油共有呈香物质气味活度值(OAV)比较

Fig. 4　Comparison of odor activity value (OAV) of the odor components shared by sea buckthorn pulp and seed oil

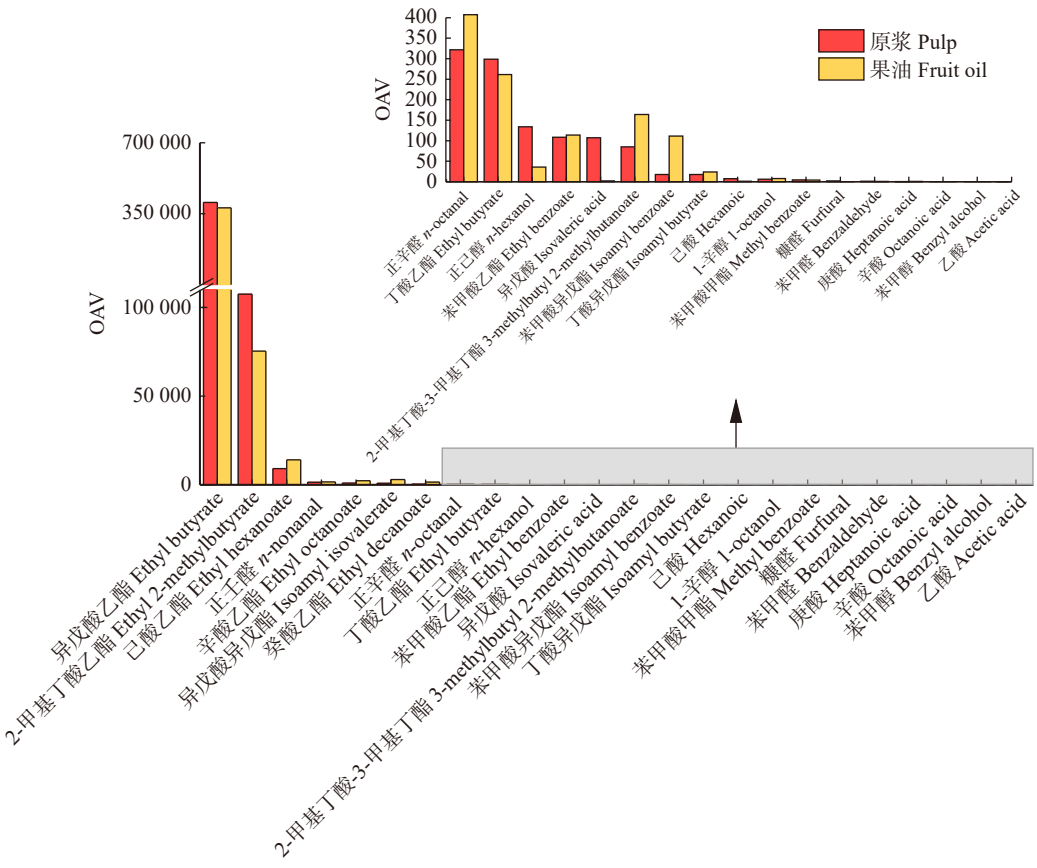


图 5　沙棘原浆与果油共有呈香物质 OAV 比较

Fig. 5　Comparison of the OAV of the odor components shared by sea buckthorn pulp and fruit oil

质有 6 种存在显著差异，原浆和籽油有 8 种存在显著差异，籽油和果油有 7 种。所以认为原浆、籽油和果油共有物质组成基本上存在显著差异。籽油的 3 种共有呈香物质含量显著低于原浆和果油，分别为己酸乙酯、异戊酸异戊酯和辛酸乙酯。图 7 显示：3 个沙棘样品可聚为两类，其中原浆和果油为一类，

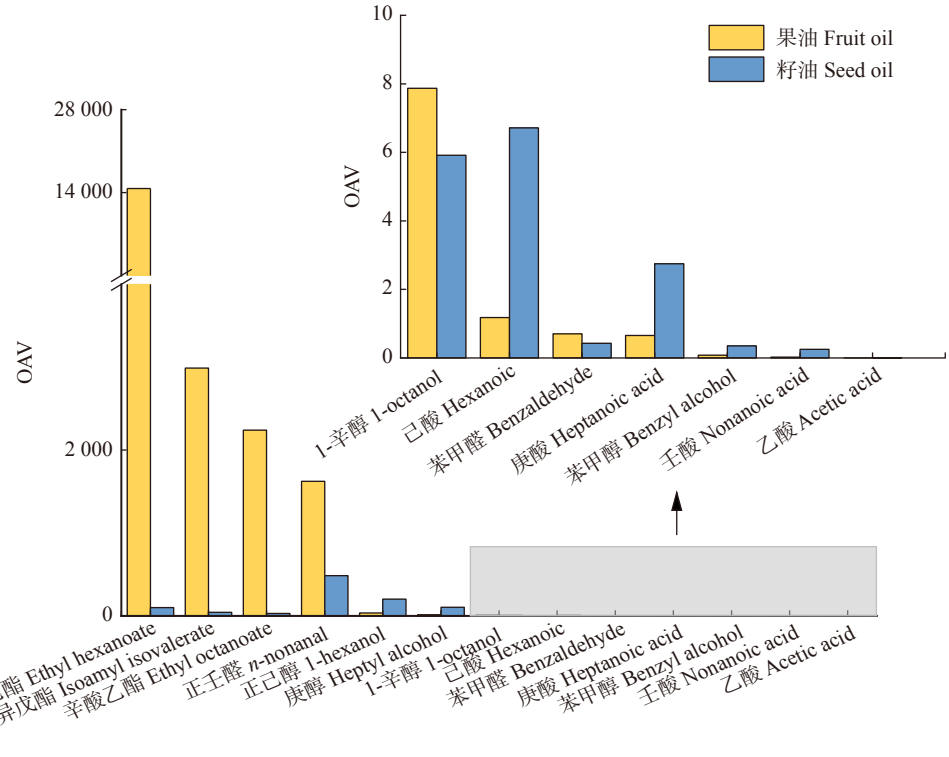


图 6 沙棘果油与籽油共有呈香物质 OAV 比较

Fig. 6 Comparison of the OAV of the odor components shared by sea buckthorn fruit oil and seed oil

表 2 沙棘原浆、籽油和果油共有呈香物质差异显著性分析

Tab. 2 Difference significance analysis of odor components shared by sea buckthorn pulp, fruit oil and seed oil

序号 No.	呈香物质 Odor component	原浆中含量 Content in pulp/(mg·kg^{-1})	籽油中含量 Content in seed oil/(mg·kg^{-1})	果油中含量 Content in fruit oil/(mg·kg^{-1})
1	己酸乙酯 Ethyl acetate	20.139 2 ± 5.753 0^{b}	0.219 8 ± 0.066 0^{c}	30.906 4 ± 0.708 8^{a}
2	异戊酸异戊酯 Isoamyl isovalerate	16.920 8 ± 2.153 3^{b}	0.860 3 ± 0.152 6^{c}	59.773 9 ± 7.628 9^{a}
3	辛酸乙酯 Ethyl octanoate	18.087 0 ± 0.196 3^{b}	0.559 7 ± 0.093 6^{c}	43.238 7 ± 1.555 4^{a}
4	正己醇 *n*-hexanol	0.750 1 ± 0.622 1^{a}	1.137 9 ± 0.273 3^{a}	0.199 5 ± 0.088 0^{a}
5	1-辛醇 1-octanol	0.763 0 ± 0.345 2^{a}	0.744 2 ± 0.182 7^{a}	0.990 3 ± 0.408 0^{a}
6	苯甲醇 Benzyl alcohol	0.235 4 ± 0.236 8^{b}	0.894 1 ± 0.096 5^{a}	0.208 2 ± 0.175 6^{b}
7	乙酸 Acetic acid	1.572 2 ± 0.389 7^{a}	0.377 1 ± 0.060 5^{b}	0.102 5 ± 0.073 1^{b}
8	己酸 Hexanoic	6.518 5 ± 2.021 7^{a}	5.974 7 ± 0.246 2^{a}	1.048 4 ± 0.532 1^{b}
9	庚酸 Heptanoic acid	0.341 8 ± 0.095 6^{b}	1.758 2 ± 0.263 8^{a}	0.418 5 ± 0.070 0^{b}
10	正壬醛 *n*-nonanal	1.534 7 ± 0.639 1^{a}	0.534 7 ± 0.115 4^{b}	1.785 3 ± 0.097 6^{a}
11	苯甲醛 Benzaldehyde	0.943 9 ± 0.188 0^{a}	0.320 7 ± 0.035 9^{b}	0.527 1 ± 0.081 6^{b}

注：同行不同字母表示沙棘原浆、籽油和果油间差异显著（$P < 0.05$）。Note: different letters in the same row indicate significant differences among sea buckthorn pulp, fruit oil and seed oil ($P < 0.05$).

籽油单独为一类。该结果表明，从呈香物质构成上看，沙棘原浆与果油存在较高相似度，而沙棘籽油与原浆和果油分别存在较大差异。

对沙棘原浆、籽油和果油共有呈香物质进行相关性分析得到图 8。图中，红色表示正相关，蓝色表示负相关，圆圈直径与相关性的绝对值有关。图 8 表明：从共有的呈香物质构成上看，沙棘原浆与果油之间存在极高的相似度，沙棘籽油与原浆相似度较低，沙棘籽油与果油相似度最低。该结论与图 7 的分析结果基本一致。

3 结 论

对沙棘原浆、籽油和果油 3 种沙棘制品的挥发性成分进行检测，得到 6 类共 64 种呈香物质，其中原浆与果油超过 40 种，籽油 25 种。根据每种呈香物质的气味描述，将其分为果香、酒香、甜味、花香、油脂味和草本味 6 种，在 3 种沙棘制品中有不同强度的表现。

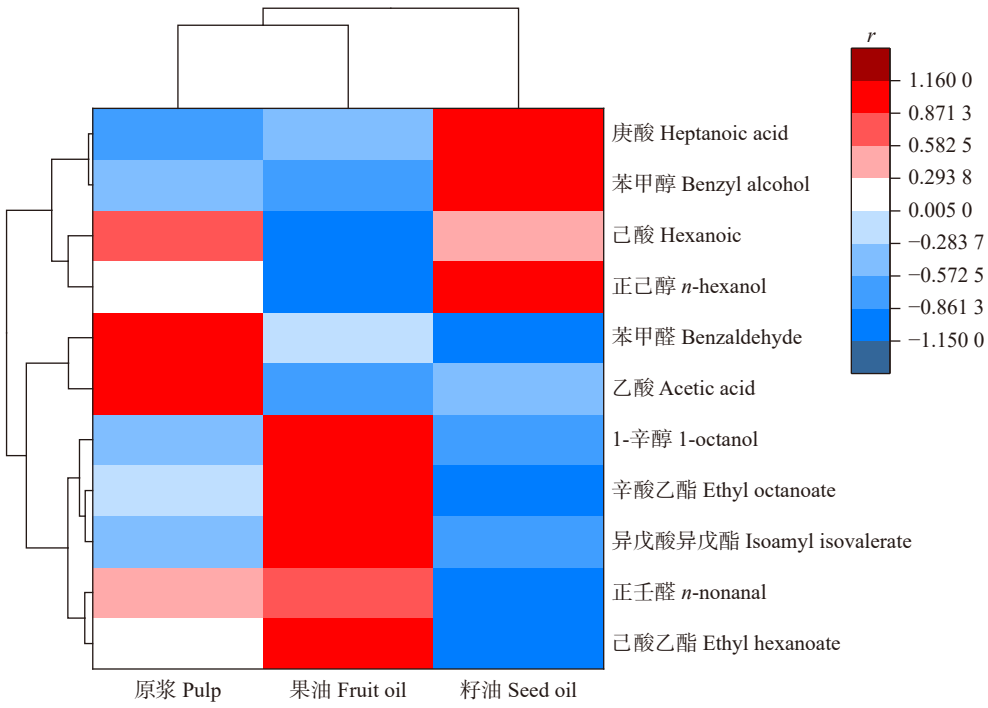
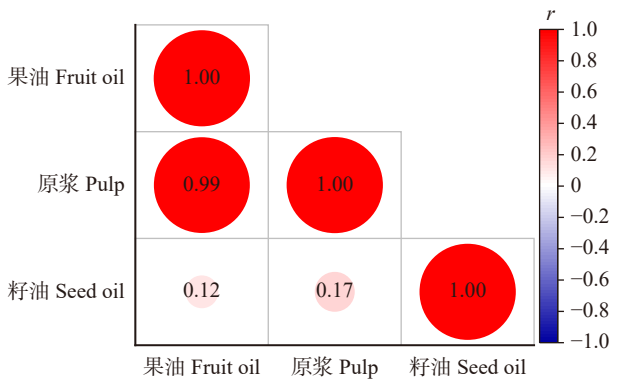


图 7　沙棘原浆、籽油和果油共有呈香物质聚类热图分析

Fig. 7　Cluster heatmap analysis of odor components shared by sea buckthorn pulp, seed oil and fruit oil



圆圈直径与相关系数 *r* 的绝对值有关。The diameter of circle is related to the absolute value of the correlation *r*.

图 8　沙棘原浆、籽油和果油共有呈香物质相关性分析图

Fig. 8　Correlation plot of odor components shared by sea buckthorn pulp, seed oil and fruit oil

沙棘果油气味强度最高，原浆次之，这两种沙棘制品气味特征均以果味和酒味为主，花香较弱，草本味最弱；沙棘果油气味强度最低，果味、油脂味和花香较强，酒味极弱。对沙棘制品的共有呈香物质进行分析得出原浆与果油在呈香物质组成方面相似度更高。

本研究对沙棘原浆、籽油和果油的呈香物质进行表征和比较，除了为后续的相关沙棘产品开发与改良提供数据参考，也能为沙棘产品的掺假检测提供新的思路，规范沙棘市场。

参　考　文　献

[1] 吕兆林, 袁玮琼, 张柏林, 等. 沙棘果实中主要活性成分质量分布 [J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(1): 144−152.
Lü Z L, Yuan W Q, Zhang B L, et al. A review on mass distribution of active components from *Hippophae rhamnoides* fruits[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(1): 144−152.

[2] Ao X, Mu Y H, Xie S, et al. Impact of UHT processing on volatile components and chemical composition of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) pulp: a prediction of the biochemical pathway underlying aroma compound formation[J]. Food Chemistry, 2022, 390: 1−10.

[3] Geetha S, Asheesh G. Medicinal and therapeutic potential of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.)[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 138(2): 268−278.

[4] 魏贞伟, 邵弘, 王俊国, 等. 超临界 CO2 萃取沙棘籽油及热敏性物质分析 [J]. 食品科学, 2012, 33(24): 97−100.
Wei Z W, Shao H, Wang J G, et al. Supercritical carbon dioxide extraction of sea buckthorn seed oil and analysis of thermosensitive substances[J]. Food Science, 2012, 33(24): 97−100.

[5] Sanwal N, Mishra S, Sahu J K, et al. Effect of ultrasound-assisted extraction on efficiency, antioxidant activity, and physicochemical properties of sea buckthorn (*Hippophae salicipholia*) seed oil[J]. LWT, 2022, 153: 1−13.

[6] 柳梅, 任璇, 姚玉军, 等. 沙棘叶多酚提取物抗氧化及体外降血糖活性研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2017, 29(6): 1013−1019.
Liu M, Ren X, Yao Y J, et al. Antioxidant and *in vitro* hypoglycemic activities of polyphenol in sea buckthorn leaves[J]. Natural Product Research and Development, 2017, 29(6): 1013−1019.

[7] 魏晨业, 包晓玮, 王娟, 等. 沙棘多糖分离纯化及抗氧化活性 [J]. 食品科学, 2021, 42(4): 227−232.
Wei C Y, Bao X W, Wang J, et al. Isolation, purification and antioxidant activity of polysaccharides from the fruit of *Hippophae rhamnoides*[J]. Food Science, 2021, 42(4): 227−232.

[8] Ming C, Yiwen G, Zhongrong J, et al. Sea buckthorn pulp oil nanoemulsions fabricated by ultra-high pressure homogenization process: a promising carrier for nutraceutical[J]. Journal of Food Engineering, 2020, 287: 1−10.

[9] Shen F, Zhuang J, Wang Q, et al. Enhancement in the metabolic profile of sea buckthorn juice via fermentation for its better efficacy on attenuating diet-induced metabolic syndrome by targeting gut microbiota[J]. Food Research International, 2022, 162: 1−13.

[10] 陶翠, 王捷, 姚玉军, 等. 沙棘中白雀木醇表征方法及其分布规律 [J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(1): 121−126.
Tao C, Wang J, Yao Y J, et al. Characterization and distribution rule of quebrachitol in *Hippophae rhamnoides*[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2020, 42(1): 121−126.

[11] 康健, 王爱芹, 顾晶晶, 等. 新疆沙棘生产性能和主要营养成分研究 [J]. 食品科学, 2009, 30(4): 99−102.
Kang J, Wand A Q, Gu J J, et al. Analysis of processing performance and main nutritional components of sea buckthorn in Xinjiang[J]. Food Science, 2009, 30(4): 99−102.

[12] 林萍, 姚娜娜, 车凤斌, 等. 5 种干制方式对大果沙棘干燥特性及品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(4): 41−48.
Lin P, Yao N N, Che F B, et al. Effects of five different drying methods on drying characteristic and quality of *Hippophae rhamnoides*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(4): 41−48.

[13] 方亮, 李珍, 李杰. 大果沙棘不同品种、不同部位油脂的提取及元素分析 [J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(15): 6090−6096.
Fang L, Li Z, Li J. Extraction and element analysis of oil from different varieties and parts of *Hippophae rhamnoides*[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2021, 12(15): 6090−6096.

[14] 任向荣, 蔺国仓, 回经涛, 等. 新疆地区小浆果产业发展现状及持续发展建议 [J]. 北方园艺, 2023(3): 127−132.
Ren X R, Lin G C, Hui J T, et al. Present situation and sustainable development of small berry industry in Xinjiang[J]. Northern Horticulture, 2023(3): 127−132.

[15] Liu Y Y, Sheng J, Li J J, et al. Influence of lactic acid bacteria on physicochemical indexes, sensory and flavor characteristics of fermented sea buckthorn juice[J]. Food Bioscience, 2022, 46: 1−9.

[16] 黄蕊, 盛文军, 李霁昕, 等. 超高压及热处理对中国沙棘原浆挥发性成分影响的比较 [J]. 食品科学, 2018, 39(18): 204−208.
Huang R, Sheng W J, Li J X, et al. A comparison of the effects of ultra-high pressure and heat treatments on the volatile components of Chinese sea buckthorn pulp (*Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi)[J]. Food Science, 2018, 39(18): 204−208.

[17] 马慧敏. 新疆大果沙棘速溶果粉的制备、品质评价及其应用 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2023.
Ma H M. Preparation, quality evaluation and application of Xinjiang big fruit seabuckthorn instant fruit powd [D]. Alar: Tarim University, 2023.

[18] Dąbrowski G, Czaplicki S, Szustak M, et al. Composition of flesh lipids and oleosome yield optimization of selected sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cultivars grown in Poland[J]. Food Chemistry, 2022, 369: 1−9.

[19] 徐冰冰, 张九凯, 赵贵明, 等. 基于非靶标代谢组学的沙棘油真实性鉴别技术 [J]. 食品科学, 2021, 42(18): 246−253.
Xu B B, Zhang J K, Zhao G M, et al. Authentication of sea buckthorn oil based on non-targeted metabolomics[J]. Food Science, 2021, 42(18): 246−253.

[20] 明悦. 《全国沙棘资源本底调查报告》发布 [J]. 绿色中国, 2022(13): 58−59.
Ming Y. “National sea buckthorn resources background investigation report” released[J]. Green China, 2022(13): 58−59.

[21] 钟心, 尤飞, 周振亚, 等. 我国沙棘产业发展现状与对策建议 [J]. 世界林业研究, 2021, 34(3): 102−106.
Zhong X, You F, Zhou Z Y, et al. Analysis and suggestions on the seabuckthorn industry development in China[J]. World Forestry Research, 2021, 34(3): 102−106.

[22] 张九凯, 徐冰冰, 韩建勋, 等. 基于脂质组学的沙棘油及其掺假油的甘油酯组成比较分析 [J]. 中国食品学报, 2021, 21(11): 144−158.
Zhang J K, Xu B B, Han J X, et al. Comparative analysis of the glyceride composition of sea buckthorn oil and its adulterated oil based on lipidomics[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(11): 144−158.

[23] Wu D, Xia Q L, Cheng H, et al. Changes of volatile flavor compounds in sea buckthorn juice during fermentation based on gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Foods, 2022, 11(21): 1−18.

[24] Zeng L, Fu Y Q, Huang J S, et al. Comparative analysis of volatile compounds in Tieguanyin with different types based on HS–SPME–GC–MS[J]. Foods, 2022, 11(11): 1−14.

[25] 付依依, 王永霞, 张笑莹, 等. 植物乳杆菌发酵对沙棘原浆主要成分、抗氧化性及挥发性物质的影响 [J]. 中国酿造, 2022, 41(2): 125−131.
Fu Y Y, Wang Y X, Zhang X Y, et al. Effects of *Lactobacillus plantarum* fermentation on main components, antioxidant and volatile substances of sea buckthorn pulp[J]. China Brewing, 2022, 41(2): 125−131.

[26] 魏长宾, 李苗苗, 马智玲, 等. 金菠萝品种果实香气成分和特征香气研究 [J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38(4): 1702−1711.
Wei C B, Li M M, Ma Z L, et al. The study of aroma components and characteristic aroma of gold pineapple fruit[J]. Genomics and Applied Biology, 2019, 38(4): 1702−1711.

[27] 陈杓为, 乔宇, 潘思轶. 固相微萃取–气质联用分析塔罗科血橙汁香气成分 [J]. 食品科学, 2007, 28(7): 396−399.
Chen L W, Qiao Y, Pan S Y. Analysis of aroma components in *Tarocco* blood orange juice by solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Science, 2007, 28(7): 396−399.

[28] 陈倩莲, 刘仕章, 占仕权, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 和 OAV 鉴定 4 种武夷岩茶关键呈香物质 [J/OL]. 食品工业科技, 2023, 44(14): 296−303[2023−03−07]. https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022090092.
Chen Q L, Liu S Z, Zhan S Q, et al. Identification of key aroma components of Wuyi rock tea based on HS-SPMEGC-MS and OAV[J/OL]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(14): 296−303[2023−03−07]. https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022090092.

（责任编辑 吴 娟
责任编委 许 凤）