

不同产地及品种牡丹籽油脂肪酸 和角鲨烯含量的比较分析

王灵芝^{1,2}, 徐宝成^{1,3,4,5}, 陈树兴^{1,2,3}, 刘丽莉^{1,3,4}

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023; 2. 中原食品实验室, 河南 漯河 462300; 3. 食品加工与安全国家级实验教学示范中心, 河南 洛阳 471023; 4. 河南省食品绿色加工与质量安全控制国际联合实验室, 河南 洛阳 471000; 5. 农业农村部油料作物生物学与遗传育种重点实验室, 武汉 430062)

摘要:旨在为油用牡丹的品种选育、牡丹籽油的营养评价和产地溯源提供参考信息, 采用气相色谱-质谱法对4个油用牡丹主产地(河南洛阳、山东菏泽、安徽亳州和甘肃兰州)的凤丹牡丹籽油和紫斑牡丹籽油的脂肪酸组成和角鲨烯含量进行检测, 并对牡丹籽油的脂肪酸及角鲨烯含量与环境因子的相关性进行分析。结果表明:牡丹籽油中含有11种脂肪酸, 以 α -亚麻酸、油酸和亚油酸为主; 8个牡丹籽油样品中的脂肪酸相对含量及角鲨烯含量存在差异, 其中相同产地的凤丹牡丹籽油中的油酸相对含量均显著低于紫斑牡丹籽油的($p < 0.05$), 亚油酸相对含量除河南洛阳产地外均显著高于紫斑牡丹籽油的($p < 0.05$); 甘肃兰州牡丹籽油的亚油酸相对含量显著低于其他产地的($p < 0.05$), 可作为对兰州牡丹籽油进行鉴别的指标之一; 牡丹籽油中角鲨烯含量、油酸和 α -亚麻酸相对含量, 均随着年降雨量的增加、年平均气温的升高而减少, 随着海拔的增加而增加, 且牡丹籽油中的角鲨烯含量随着油酸、 α -亚麻酸相对含量的增加而增加, 随着亚油酸相对含量的增加而减少。综上, 品种、产地及环境因子的不同均会造成牡丹籽油脂肪酸及角鲨烯含量的差异。

关键词:牡丹籽油; 品种; 产地; 脂肪酸; 角鲨烯; 环境因子

中图分类号: TS225.6; TS227 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)05-0120-06

Comparative analysis of fatty acid and squalene content in peony seed oil from different regions and varieties

WANG Lingzhi^{1,2}, XU Baocheng^{1,3,4,5}, CHEN Shuxing^{1,2,3}, LIU Lili^{1,3,4}

(1. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, Henan, China; 2. Zhongyuan Food Laboratory, Luohe 462300, Henan, China; 3. National Experimental Teaching Demonstration Center of Food Processing and Safety, Luoyang 471023, Henan, China; 4. Henan International Joint Laboratory of Food Green Processing and Safety Control, Luoyang 471000, Henan, China; 5. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China)

Abstract: In order to provide reference information for the variety breeding of oil peony, nutrition

收稿日期: 2023-03-02; 修回日期: 2024-01-06

基金项目: 河南省重点研发与推广专项(科技攻关, 222102110033); 国家自然科学基金面上项目(31772094); 农业农村部油料作物生物学与遗传育种重点实验室开放课题基金(KF2021002); 河南科技大学博士科研启动基金(13480057)

作者简介: 王灵芝(1996), 女, 在读硕士, 研究方向为脂质营养与安全评价(E-mail) wanglingzhi37@163.com。

通信作者: 徐宝成, 副教授(E-mail) xbc76@163.com; 陈树兴, 教授(E-mail) chenshuxing1@163.com。

evaluation and origin traceability of peony seed oil, gas chromatography-mass spectrometry was used to detect the fatty acid composition and squalene content of peony seed oil from *Paeonia ostii* 'Feng Dan' and *Paeonia rockii* Hong & J. Li of four regions (Luoyang, Henan; Heze, Shandong; Bozhou, Anhui; Lanzhou, Gansu). The correlation between the fatty acid and squalene content of peony seed oil and

environmental factors was analyzed. The results showed that 11 kinds fatty acids were found in peony seed oil, mainly α -linolenic acid, oleic acid and linoleic acid. The contents of fatty acids and squalene in 8 kinds of peony seed oil samples were different, and the relative contents of oleic acid in *Paeonia ostii* ‘Feng Dan’ peony seed oil from the same origin was significantly lower than that in *Paeonia rockii* Hong & J. J. Li peony seed oil ($p < 0.05$), linoleic acid content (except Luoyang, Henan) was significantly higher than that in *Paeonia rockii* Hong & J. J. Li peony seed oil ($p < 0.05$). The linoleic acid content in Lanzhou was significantly lower than that in other areas ($p < 0.05$), which could be used as one of the indicators to identify Lanzhou peony seed oil. The content of squalene and the relative contents of oleic acid and α -linolenic acid in peony seed oil decreased with the increase of annual rainfall and average annual temperature, but increased with the increase of altitude, and the content of squalene in peony seed oil increased with the increase of the relative contents of oleic acid and α -linolenic acid, but decreased with the increase of the relative content of linoleic acid. In conclusion, the differences in the variety, origin and environmental factors will cause the differences in fatty acid and squalene content in peony seed oil.

Key words: peony seed oil; variety; origin; fatty acid; squalene; environmental factor

牡丹 (*Paeonia suffruticosa* Andr.) 属于芍药科 (*Paeoniaeae*) 芍药属 (*Paeonia*) 牡丹组 (Sect. *Moutan* DC.) 多年生木本植物, 有着悠久的栽培历史, 种植地域广泛, 具有观赏、药用和油用价值^[1-2]。牡丹籽油是以牡丹籽为原料提取的。2011年3月, 国家卫生部发布了将牡丹籽油列为新资源食品的公告^[3], 牡丹籽油正式进入食品行列。

植物油的主体成分为甘油三酯, 其脂肪酸组成及含量是评价油脂质量的重要指标^[4]。除甘油三酯外, 植物油中还含有丰富的功能活性组分, 如角鲨烯、植物甾醇、生育酚等^[5]。研究表明, 植物油的脂肪酸组成和角鲨烯、植物甾醇、生育酚等功能性活性组分的含量除了与油料的品种有关外, 还受油料的产地、土壤类型、气候条件 (如温度、湿度、降雨量等) 和灌溉管理等因素的影响^[6-7]。对同一品种植物油而言, 如葵花籽油和菜籽油, 其脂肪酸组成及生物活性组分含量也同样受油料产地、土壤类型和气候条件等因素的影响^[8-9]。油用牡丹作为我国特有的油料作物, 主要种植于河南洛阳、山东菏泽、甘肃兰州和安徽亳州, 主要品种包括凤丹 (*Paeonia ostii* ‘Feng Dan’) 和紫斑 (*Paeonia rockii* Hong & J. J. Li)。上述四地在经纬度、海拔、年降雨量和年平均

气温等方面存在较大的差异, 可能导致不同产地和不同品种的牡丹籽油在脂肪酸组成和角鲨烯含量上存在差异。目前, 有关不同产地和不同品种间牡丹籽油脂肪酸组成及含量的差异, 已有相关学者进行了分析和报道^[10-12], 但对于牡丹籽油脂肪酸组成及含量差异与海拔及气象因子之间的相关性尚未开展深入分析。此外, 牡丹籽油中还含有丰富的角鲨烯, 其具有抗氧化、抗肿瘤、调节人体代谢、提高机体免疫力、促进心血管健康等功能^[13-15]。但目前有关牡丹籽油中角鲨烯的含量与牡丹籽品种、产地、土壤类型和气候条件等因素的关系鲜有报道。

本研究采用气相色谱-质谱法对4个油用牡丹主产地的凤丹牡丹籽油和紫斑牡丹籽油的脂肪酸组成及角鲨烯含量进行分析, 探究脂肪酸和角鲨烯含量与品种、产地及气候因子的相关性, 以期为油用牡丹的品种选育、牡丹籽油的营养评价和产地溯源提供参考信息。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

凤丹牡丹籽、紫斑牡丹籽, 分别来自山东菏泽、甘肃兰州、安徽亳州、河南洛阳, 样品信息见表1。

表1 样品信息

样品编号	采集地	品种	采样年份	经度/(°)	纬度/(°)	海拔/m	年降雨量/mm	年平均气温/°C
SHFD	山东菏泽	凤丹	2021	115.47	35.25	54	1 090.6	14.9
SHZB	山东菏泽	紫斑	2021	115.47	35.25	54	1 090.6	14.9
ABFD	安徽亳州	凤丹	2021	115.78	33.87	40	956.9	16.5
ABZB	安徽亳州	紫斑	2021	115.78	33.87	40	956.9	16.5
GLFD	甘肃兰州	凤丹	2021	103.36	36.27	1 925	230.9	9.2

续表 1

样品编号	采集地	品种	采样年份	经度/(°)	纬度/(°)	海拔/m	年降雨量/mm	年平均气温/°C
GLZB	甘肃兰州	紫斑	2021	103.36	36.27	1 925	230.9	9.2
HLLD	河南洛阳	凤丹	2021	112.44	34.62	250	1 088.9	15.4
HLZB	河南洛阳	紫斑	2021	112.44	34.62	250	1 088.9	15.4

37 种脂肪酸甲酯混合标准品,美国 Supelco 公司;角鲨烯标准品(纯度 $\geq 98\%$),美国 Sigma - Aldrich 公司;正己烷、丙酮,色谱纯;石油醚(沸程 60~90 °C)、无水乙醇、无水硫酸钠、氢氧化钠、甲醇等,均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

ISQ 9000 型气相色谱 - 质谱联用仪〔配电子轰击离子源(EI)〕,赛默飞世尔科技有限公司;HGC - 12A 型水浴氮吹仪,北京恒奥德科技有限公司;TDZ4 - WS 型落地式离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;RE - 52AA 型旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;WORBUS - 800A 型粉碎机,东莞市华太电器有限公司;XB320M SCS 型千分之一电子秤,普利赛斯国际贸易有限公司;FA2004 型万分之一精密电子秤,上海舜宇恒平科技仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 牡丹籽油的制备

参照张东等^[16]的方法并略作修改。选用大小适中、颗粒饱满的牡丹籽,放入托盘中,置于 45 °C 烘箱中干燥至质量恒定,去除种皮,将牡丹籽仁粉碎后过 0.425 mm (40 目)筛得牡丹籽粉。准确称取 30 g (精确至 0.001 g) 牡丹籽粉,置于 250 mL 烧杯中,加入 150 mL 石油醚 - 丙酮(体积比 9:1)混合溶液,用保鲜膜封口,常温下用磁力搅拌器搅拌 3~4 h (通风橱进行),离心(4 000 r/min, 10 min),取上清液在 60 °C 下减压浓缩,氮吹除去残留的溶剂,得到牡丹籽油,4 °C 避光保存。

1.2.2 牡丹籽油脂肪酸组成的测定

采用气相色谱 - 质谱法测定牡丹籽油脂肪酸组成及相对含量。甲酯化:准确称取 0.1 g (精确至 0.000 1 g) 油样于 10 mL 具塞玻璃试管中,加入 0.8 mL 2 mol/L 氢氧化钾 - 甲醇溶液,涡旋 1 min,在 50 °C 下水浴加热 10 min 后,冷却至室温,加入 4.0 mL 正己烷,涡旋 30 s,静置分层,将上清液移入至新的 10 mL 离心管中,加入 0.5 g 无水硫酸钠,涡旋 30 s,静置分层,取 1 mL 上层有机相过 0.22 μm 微孔滤膜,待气相色谱 - 质谱分析。

气相色谱条件: SPTM - 2560 毛细管色谱柱(100 m \times 0.25 mm \times 0.20 μm);升温程序为初始温

度 100 °C,保持 12 min,以 20 °C/min 速率升至 150 °C,以 2.5 °C/min 速率升至 180 °C,以 0.8 °C/min 速率升至 196 °C,保持 10 min,再以 2 °C/min 速率升至 220 °C,以 10 °C/min 速率升至 240 °C,保持 6 min;载气为高纯度氦气,流速 1.2 mL/min;进样口温度 230 °C;进样量 1 μL ;分流比 100:1。

质谱条件:传输线温度 280 °C,离子源温度 240 °C,电离方式为 EI 源,电离电压 70 eV,质量扫描范围(m/z) 40~400。

通过与 37 种脂肪酸甲酯混合标准品的保留时间比对并结合 NIST 谱库检索对牡丹籽油中脂肪酸进行定性分析,采用峰面积归一化法进行定量分析。

1.2.3 牡丹籽油角鲨烯含量的测定

标准曲线的绘制:配制质量浓度为 1 mg/mL 的角鲨烯标准储备液,吸取适量角鲨烯标准储备液,用正己烷依次稀释成质量浓度分别为 1.0、5.0、10.0、20.0、40.0、60.0 $\mu\text{g/mL}$ 的标准工作液。称取一定量角鲨烯标准工作液进气相色谱 - 质谱联用仪分析,以角鲨烯定量离子(m/z 69)的峰面积(y)为纵坐标,角鲨烯质量浓度(x)为横坐标,绘制标准曲线并通过线性拟合得到其回归方程为 $y = 10\ 767x - 4\ 508$,方程线性范围为 1.0~60.0 $\mu\text{g/mL}$,决定系数(R^2)为 0.998 8。气相色谱条件:SP - 5 MS 毛细管色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);升温程序为初始温度 200 °C,保持 1 min,以 25 °C/min 速率升至 300 °C,保持 5 min;载气为高纯度氦气,流速 1.0 mL/min;进样口温度 300 °C;进样量 1 μL ;分流比 50:1。质谱条件:传输线温度 300 °C;离子源温度 230 °C;电离方式为 EI 源;电离电压 70 eV;离子监测(SIM)模式,定性离子为 m/z 69、81、95、137,定量离子为 m/z 69。

样品测定:用 2 mol/L 的氢氧化钠 - 乙醇溶液对油样进行皂化处理,并用正己烷充分提取后进气相色谱 - 质谱联用仪进行测定,通过与角鲨烯标准品的保留时间(6.391 min)和定性离子碎片的相对丰度进行比对及质谱库检索对牡丹籽油中的角鲨烯进行定性,将对应的峰面积代入标准曲线方程中计算角鲨烯含量。

1.2.4 数据处理与分析

每组实验做3个平行,结果用“平均值±标准差”表示。用Excel 2016对实验数据进行统计分析,用SPSS 25.0软件对数据进行差异显著性分析和相关性分析,使用Origin 2018软件绘图。

2 结果与分析

2.1 牡丹籽油脂肪酸组成及相对含量

不同产地及不同品种牡丹籽制取的油脂脂肪酸组成及相对含量见表2。

表2 不同产地及不同品种牡丹籽制取的油脂的脂肪酸组成及相对含量

脂肪酸	SHFD	SHZB	ABFD	ABZB	GLFD	GLZB	HLFD	HLZB	%
肉豆蔻酸	0.05 ^a	0.05 ^a	0.04 ^b	0.05 ^a	0.05 ^a	0.05 ^a	0.04 ^b	0.05 ^a	
棕榈酸	5.99 ^{ab}	5.51 ^d	5.85 ^{bc}	5.99 ^{ab}	5.88 ^{bc}	5.63 ^{cd}	5.81 ^{bc}	6.24 ^a	
棕榈油酸	0.10 ^{ab}	0.08 ^{cd}	0.08 ^{cd}	0.09 ^{bcd}	0.10 ^{ab}	0.11 ^a	0.08 ^{cd}	0.10 ^{ab}	
十七烷酸	0.10 ^{bc}	0.09 ^{cd}	0.08 ^d	0.11 ^b	0.13 ^a	0.15 ^a	0.10 ^{bc}	0.10 ^{bc}	
十七烯酸	0.07 ^{cd}	0.06 ^{de}	0.05 ^e	0.08 ^c	0.10 ^b	0.14 ^a	0.06 ^{de}	0.07 ^{ede}	
硬脂酸	2.58 ^{ab}	2.17 ^d	2.27 ^{cd}	2.64 ^{ab}	2.43 ^{bcd}	2.49 ^{bc}	2.85 ^a	2.45 ^{bc}	
油酸	23.96 ^f	24.83 ^{de}	24.62 ^e	25.41 ^d	27.67 ^b	29.31 ^a	23.88 ^f	26.06 ^c	
亚油酸	26.56 ^b	25.67 ^{cd}	28.44 ^a	26.15 ^{bc}	21.00 ^e	18.15 ^f	25.30 ^d	25.11 ^d	
花生酸	0.17 ^a	0.13 ^{cd}	0.12 ^d	0.15 ^{abc}	0.14 ^{cd}	0.14 ^{bc}	0.17 ^{ab}	0.14 ^{bc}	
花生一烯酸	0.23 ^a	0.20 ^{ab}	0.20 ^{ab}	0.22 ^a	0.14 ^{bc}	0.12 ^c	0.24 ^a	0.20 ^{ab}	
α-亚麻酸	40.18 ^d	41.21 ^c	38.24 ^f	39.12 ^{ef}	42.35 ^b	43.71 ^a	41.46 ^{bc}	39.48 ^{de}	
饱和脂肪酸	8.90 ^{ab}	7.94 ^c	8.36 ^{bc}	8.94 ^{ab}	8.64 ^{ab}	8.47 ^{abc}	8.98 ^a	8.97 ^a	
不饱和脂肪酸	91.10 ^{bc}	92.06 ^a	91.64 ^{ab}	91.06 ^{bc}	91.36 ^{bc}	91.53 ^{abc}	91.02 ^c	91.02 ^c	
单不饱和脂肪酸	24.35 ^e	25.18 ^d	24.96 ^d	25.79 ^c	28.00 ^b	29.68 ^a	24.26 ^e	26.43 ^c	
多不饱和脂肪酸	66.75 ^a	66.88 ^a	66.68 ^a	65.27 ^b	63.36 ^c	61.86 ^d	66.76 ^a	64.59 ^b	

注:表中均以3次测定的平均值表示,同行不同字母表示有显著性差异($p < 0.05$)

由表2可知,不同产地2个品种的牡丹籽油中均检测出11种脂肪酸,相对含量大于0.5%的脂肪酸有5种,分别为棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和α-亚麻酸,与前人^[10-11]的研究结果一致。不同产地2个品种的牡丹籽油中饱和脂肪酸的相对含量为7.94%~8.98%,不饱和脂肪酸的相对含量在90%以上,高达91.02%~92.06%,其中多不饱和脂肪酸相对含量为61.86%~66.88%。不同产地2个品种的牡丹籽油中α-亚麻酸相对含量最高,高达38.24%~43.71%,其次为亚油酸和油酸,相对含量分别为18.15%~28.44%、23.88%~29.31%,α-亚麻酸和油酸的相对含量均满足GB/T 40622—2021《牡丹籽油》中规定(α-亚麻酸含量≥38.0%,油酸含量≥21.0%),但甘肃兰州的紫斑和凤丹牡丹籽油中亚油酸的相对含量均低于国标规定(亚油酸含量≥25.0%),这可能与兰州的土壤条件及高海拔、低年降雨量和低年平均气温等气候因素有关。

由表2可看出,对于相同产地的牡丹籽油,凤丹牡丹籽油的油酸相对含量均显著低于紫斑牡丹籽油的($p < 0.05$),而亚油酸相对含量除河南洛阳产地外均显著高于紫斑牡丹籽油的($p < 0.05$)。甘肃兰州凤丹和紫斑牡丹籽油中油酸的相对含量均高于亚油酸的,而山东菏泽和安徽亳州凤丹和紫斑牡丹籽油及

河南洛阳凤丹牡丹籽油中亚油酸的相对含量均高于油酸的。张珊珊等^[11]研究发现,河南洛阳的凤丹牡丹籽油中亚油酸的含量均高于油酸的。张东等^[16]通过对山东、安徽、河南的凤丹牡丹籽油脂肪酸组成进行测定发现,这3个产地凤丹牡丹籽油中亚油酸的相对含量均高于油酸的。安徽亳州凤丹和紫斑牡丹籽油之间的α-亚麻酸相对含量无显著性差异($p > 0.05$),但另外3个产地的2个品种牡丹籽油中的α-亚麻酸相对含量差异显著($p < 0.05$),其中山东菏泽和甘肃兰州紫斑牡丹籽油中的α-亚麻酸相对含量显著高于其凤丹牡丹籽油的($p < 0.05$),但河南洛阳产地的结果与之相反。

由表2可看出:甘肃兰州与河南洛阳凤丹牡丹籽油中的α-亚麻酸相对含量差异不显著($p > 0.05$),但显著高于山东菏泽和安徽亳州的($p < 0.05$);4个产地的凤丹牡丹籽油中亚油酸相对含量均有显著性差异($p < 0.05$);山东菏泽和河南洛阳凤丹牡丹籽油中油酸相对含量无显著性差异($p > 0.05$),但均显著低于甘肃兰州和安徽亳州的($p < 0.05$)。安徽亳州和河南洛阳紫斑牡丹籽油中的α-亚麻酸相对含量无显著性差异($p > 0.05$),但均显著低于山东菏泽和甘肃兰州的($p < 0.05$);山东菏泽和安徽亳州紫斑牡丹籽油中的油酸相对含量无显著性差异($p > 0.05$),

但均显著低于甘肃兰州和河南洛阳的($p < 0.05$);甘肃兰州紫斑牡丹籽油中的亚油酸相对含量显著低于其他产地的($p < 0.05$),安徽亳州紫斑牡丹籽油中的亚油酸相对含量显著高于河南洛阳的($p < 0.05$),山东菏泽紫斑牡丹籽油中的亚油酸相对含量与安徽亳州和河南洛阳的无显著性差异($p > 0.05$)。

2.2 牡丹籽油角鲨烯含量

不同产地及不同品种牡丹籽制取的油脂中角鲨烯含量如图1所示。

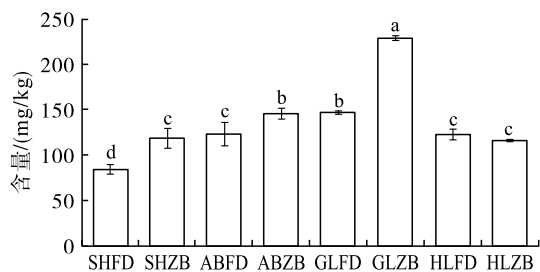


图1 不同产地及不同品种牡丹籽制取的油脂中角鲨烯含量

由图1可知,不同产地及不同品种牡丹籽油中角鲨烯含量为84.52~228.88 mg/kg,均满足GB/T 40622—2021的要求(≥ 50.0 mg/kg),其中甘肃兰州紫斑牡丹籽油的角鲨烯含量最高,山东菏泽凤丹牡丹

籽油的角鲨烯含量最低。

对同一产地不同品种的牡丹籽油进行比较,发现河南洛阳2种牡丹籽油的角鲨烯含量差异不显著($p > 0.05$),其他3个产地的紫斑牡丹籽油的角鲨烯含量均显著高于凤丹牡丹籽油的($p < 0.05$),说明油用牡丹的品种对牡丹籽油中角鲨烯的含量有显著影响。对同一品种不同产地的牡丹籽油进行比较,发现山东菏泽凤丹牡丹籽油的角鲨烯含量显著低于其他3个产地凤丹牡丹籽油的($p < 0.05$),而安徽亳州和河南洛阳的凤丹牡丹籽油的角鲨烯含量无显著性差异($p > 0.05$),甘肃兰州紫斑牡丹籽油的角鲨烯含量显著高于其他3个产地紫斑牡丹籽油的($p < 0.05$),而山东菏泽和河南洛阳紫斑牡丹籽油的角鲨烯含量无显著性差异($p > 0.05$),说明油用牡丹的产地对牡丹籽油中角鲨烯含量有一定的影响。

2.3 脂肪酸及角鲨烯含量与环境因子的相关性

为了进一步验证环境因子对牡丹籽油的脂肪酸及角鲨烯含量的影响,以及脂肪酸与角鲨烯含量在同一环境下的相关性,对牡丹籽油脂肪酸及角鲨烯含量与环境因子进行相关性分析,结果见表3。

表3 牡丹籽油脂肪酸及角鲨烯含量与环境因子的 Pearson 相关系数矩阵

成分	经度	纬度	海拔	年降雨量	年平均气温	角鲨烯
角鲨烯	-0.723 **	0.464 *	0.747 **	-0.780 **	-0.678 **	1.000
肉豆蔻酸	-0.378	0.407 *	0.399	-0.392	-0.421 *	0.173
棕榈酸	0.169	-0.345	-0.222	0.243	0.287	-0.349
棕榈油酸	-0.515 *	0.513 *	0.539 **	-0.532 **	-0.555 **	0.454 *
十七烷酸	-0.822 **	0.713 **	0.840 **	-0.824 **	-0.829 **	0.736 **
十七烯酸	-0.834 **	0.723 **	0.863 **	-0.862 **	-0.851 **	0.850 **
硬脂酸	-0.044	-0.110	-0.021	0.079	0.070	-0.010
油酸	-0.873 **	0.675 **	0.891 **	-0.892 **	-0.850 **	0.849 **
亚油酸	0.942 **	-0.847 **	-0.938 **	0.882 **	0.939 **	-0.818 **
花生酸	0.094	0.012	-0.134	0.206	0.097	-0.203
花生一烯酸	0.737 **	-0.614 **	-0.770 **	0.785 **	0.750 **	-0.664 **
α -亚麻酸	-0.800 **	0.873 **	0.787 **	-0.692 **	-0.843 **	0.629 **
饱和脂肪酸	0.021	-0.204	-0.087	0.136	0.148	-0.165
不饱和脂肪酸	-0.021	0.204	0.087	-0.136	-0.148	0.165
单不饱和脂肪酸	-0.875 **	0.680 **	0.895 **	-0.897 **	-0.855 **	0.855 **
多不饱和脂肪酸	0.864 **	-0.627 **	-0.868 **	0.859 **	0.814 **	-0.811 **

注:**表示在0.01级别(双尾)极显著相关;*表示在0.05级别(双尾)显著相关

由表3可知,牡丹籽油中角鲨烯含量与经度、年降雨量、年平均气温、亚油酸、花生一烯酸、多不饱和脂肪酸呈极显著负相关($p < 0.01$),与海拔、十七烷酸、十七烯酸、油酸、 α -亚麻酸、单不饱和脂肪酸呈极显著正相关($p < 0.01$),与纬度和棕榈油酸呈显著正相关($p < 0.05$)。牡丹籽油中十七烷酸、十七

烯酸、油酸、 α -亚麻酸、单不饱和脂肪酸与经度、年降雨量、年平均气温呈极显著负相关($p < 0.01$),与纬度、海拔呈极显著正相关($p < 0.01$)。亚油酸、花生一烯酸、多不饱和脂肪酸与经度、年降雨量、年平均气温呈极显著正相关($p < 0.01$),与纬度、海拔呈极显著负相关($p < 0.01$)。棕榈油酸与海拔呈极显

著正相关($p < 0.01$),与年降雨量和年平均气温呈极显著负相关($p < 0.01$),与经度呈显著负相关($p < 0.05$),与纬度呈显著正相关($p < 0.05$)。上述结果说明经纬度、海拔、年降雨量、年平均气温等环境因素对牡丹籽油中角鲨烯及部分脂肪酸含量均有不可忽略的影响,海拔越高、年降雨量越少、年平均气温越低,牡丹籽油中角鲨烯含量和棕榈油酸、十七烷酸、十七烯酸、油酸、 α -亚麻酸等相对含量越高,亚油酸、花生一烯酸的相对含量越低。

3 结论

不同产地凤丹牡丹籽油和紫斑牡丹籽油的 α -亚麻酸相对含量(38.24%~43.71%)最高,其次为亚油酸(18.15%~28.44%)和油酸(23.88%~29.31%),甘肃兰州2种牡丹籽油中的亚油酸相对含量显著低于其他3个产地的($p < 0.05$),仅为18.15%~21.00%,可作为对兰州牡丹籽油进行鉴别的指标之一。相同产地的凤丹牡丹籽油中油酸的相对含量均显著低于紫斑牡丹籽油的($p < 0.05$),亚油酸相对含量除河南洛阳产地外均显著高于紫斑牡丹籽油的($p < 0.05$),可作为相同产地的牡丹籽油品种鉴别指标。4个产地2种牡丹籽油中的角鲨烯含量在84.52~228.88 mg/kg之间,其中山东菏泽、安徽亳州和甘肃兰州3个产地的紫斑牡丹籽油的角鲨烯含量均显著高于凤丹牡丹籽油的($p < 0.05$),说明油用牡丹的品种对牡丹籽油中角鲨烯的含量有显著影响。由牡丹籽油中脂肪酸及角鲨烯含量与环境因子的相关性分析发现,牡丹籽油中角鲨烯含量、油酸和 α -亚麻酸相对含量,会随着年降雨量的增加、年平均气温的升高而减少,随着海拔的增加而增加,且牡丹籽油中的角鲨烯含量随着油酸、 α -亚麻酸相对含量的增加而增加,随着亚油酸相对含量的增加而减少。综上,品种、产地及环境因子的不同均会造成牡丹籽油脂肪酸及角鲨烯含量的差异。

参考文献:

- [1] LI S S, YUAN R Y, CHEN L G, et al. Systematic qualitative and quantitative assessment of fatty acids in the seeds of 60 tree peony (*Paeonia* section *Moutan* DC.) cultivars by GC-MS[J]. *Food Chem*, 2015, 173: 133-140.
- [2] PICERNO P, MENCHERINI T, SANSONE F, et al. Screening of a polar extract of *Paeonia rockii*: Composition and antioxidant and antifungal activities [J]. *J Ethnopharmacol*, 2011, 138(3): 705-712.
- [3] 朱宗磊,王凤山,毛文岳. 新资源食品牡丹籽油[J]. *食品与药品*, 2014, 16(2): 133-135, 136.
- [4] DUBOIS V, BRETON S, LINDER M, et al. Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2007, 109(7): 710-732.
- [5] YANG R, ZHANG L, LI P, et al. A review of chemical composition and nutritional properties of minor vegetable oils in China [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2018, 74: 26-32.
- [6] KIRKHUS B, LUNDON A R, HAUGEN J E, et al. Effects of environmental factors on edible oil quality of organically grown *Camelina sativa* [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(13): 3179-3185.
- [7] ZUBR J, MATTHÄUS B. Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in *Camelina sativa* oil [J]. *Ind Crops Prod*, 2002, 15(2): 155-162.
- [8] ZHELJAZKOV V D, VICK B A, EBELHAR M W, et al. Yield, oil content, and composition of sunflower grown at multiple locations in Mississippi [J]. *Agron J*, 2008, 100(3): 635-642.
- [9] OMIDI H, TAHMASEBI Z, NAGHDI BADI H A, et al. Fatty acid composition of canola (*Brassica napus* L.), as affected by agronomical, genotypic and environmental parameters [J]. *C R Biol*, 2010, 333(3): 248-254.
- [10] 韩雪源,张延龙,牛立新,等. 不同产地‘凤丹’牡丹籽油主要脂肪酸成分分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(22): 181-184.
- [11] 张姗姗,赵凡,魏小豹,等. ‘凤丹’和紫斑牡丹6个产地种子脂肪酸组分的比较[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(3): 84-90.
- [12] 郑雅琪,武艺,袁玮琼,等. 多产地油用牡丹籽油脂肪酸构成及基本理化指标评价[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(15): 312-319.
- [13] SAKUL A, OZANSOY M, ELIBOL B, et al. Squalene attenuates the oxidative stress and activates AKT/mTOR pathway against cisplatin-induced kidney damage in mice [J]. *Turk J Biol*, 2019, 43(3): 179-188.
- [14] SRI CHARAN BINDU B, MISHRA D P, NARAYAN B. Inhibition of virulence of *Staphylococcus aureus*; A food borne pathogen - by squalene, a functional lipid [J]. *J Funct Foods*, 2015, 18: 224-234.
- [15] BISWAS S K. Does the interdependence between oxidative stress and inflammation explain the antioxidant paradox? [J/OL]. *Oxid Med Cell Longev*, 2016, 2016: 5698931 [2023-03-02]. <https://doi.org/10.1155/2016/5698931>.
- [16] 张东,薛雅琳,段章群,等. 牡丹籽油和亚麻籽油化学组成分析与比较[J]. *中国油脂*, 2017, 42(10): 34-38.