

同一产地不同地理种源滇牡丹籽 营养成分含量比较分析

郭雪^{1,4}, 池泽平², 兰蔚², 王娟³, 张鹏远^{2,4}

(1. 西南林业大学 园林园艺学院, 昆明 650224; 2. 西南林业大学 生命科学学院, 昆明 650224; 3. 西南林业大学 绿色发展研究院, 昆明 650224; 4. 西南林业大学 西南地区生物多样性保育国家林业和草原局重点实验室, 昆明 650224)

摘要:旨在为选育性状优良、适合于油用开发的滇牡丹种质资源提供参考, 对人工栽培在同一环境的9个种源滇牡丹籽百粒鲜质量和百粒干质量、含水率、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、粗脂肪含量、脂肪酸组成及含量进行了测定, 对各指标之间的相关性及各指标与种源地地理因子的相关性进行分析, 对脂肪酸组成进行主成分分析(PCA)和聚类分析。结果表明:人工栽培到同一环境后, 不同地理种源滇牡丹籽各指标均存在一定差异, 其中可溶性蛋白(变异系数21.76%)、亚油酸(变异系数19.57%)及豆蔻酸(变异系数18.52%)差异较大; 丽江河西种源滇牡丹籽粗脂肪含量最高, 达到21.64%; 丽江鲁甸种源滇牡丹籽中的 α -亚麻酸含量最高(42.84%); 相关性分析表明, 百粒鲜质量($p < 0.01$)、百粒干质量($p < 0.05$)与种源地海拔高度存在显著正相关; PCA表明, 硬脂酸、 α -亚麻酸、十一酸、油酸、癸酸及亚油酸最能反映出不同种源滇牡丹籽中脂肪酸的组成情况, 经聚类分析, 在欧氏距离为5时, 9个种源滇牡丹籽被分为3个大簇。综上, 种源对滇牡丹籽的营养成分存在一定影响, 在开展油用滇牡丹人工育种工作时, 应充分考虑育种过程中父母本的种源地因素, 以获得更好的油用滇牡丹选育结果。

关键词:滇牡丹; 地理种源; 人工栽培; 可溶性糖; 可溶性蛋白; 粗脂肪; 脂肪酸

中图分类号: TS222+.1; TQ646 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)04-0139-06

Comparison of nutrient contents in the *Paeonia delavayi* seeds of different geographic provenance from the same origin

GUO Xue¹, CHI Zeping², LAN Wei², WANG Juan³, ZHANG Pengyuan^{2,4}

(1. College of Landscape and Horticulture, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. College of Life Sciences, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 3. Eco-Development Academy, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 4. Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Biodiversity Conservation in Southwest China, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: To provide reference for the selection of germplasm resources of *Paeonia delavayi* with excellent characteristics and suitable for oil development, hundred-grain fresh weight, hundred-grain dry weight, water content, soluble sugar content, soluble protein content, crude fat content and fatty acid

composition and content of *Paeonia delavayi* seeds cultivated in the same environment (the seeds were from nine provenances) were determined. The correlation between each index and the correlation between each index and the geographic factors of the provenance were analyzed, and the principal component analysis (PCA) and cluster analysis of the fatty acid composition were

收稿日期: 2022-12-31; 修回日期: 2024-01-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(32060089); 云南省重大科技专项“生物资源数字化开发应用”(202002AA100007); 云南省万人计划“云岭产业技术领军人才”专项(2018-212)

作者简介: 郭雪(1996), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物生理学(E-mail)1053642516@qq.com。

通信作者: 张鹏远, 讲师, 博士(E-mail)aception@yeah.net; 王娟, 教授, 博士生导师(E-mail)schima@163.com。

performed. The results indicated that there was significant differences in the indexes of *Paeonia delavayi* seeds of different provenance after the artificial cultivation in the same environment. The variation was at a relatively high level in the indexes of soluble protein, linoleic acid, and myristic acid with variation coefficient of 21.76%, 19.57% and 18.52%, respectively. The seeds collected from Hexi, Lijiang showed the highest crude fatty content, which reached 21.64%. The content of α -linolenic acid in *Paeonia delavayi* seeds in Ludian, Lijiang was the highest (42.84%). The correlation analysis showed that there were significant positive correlations between the hundred-grain fresh weight ($p < 0.01$), hundred-grain dry weight ($p < 0.05$), and provenance altitude. PCA results showed that stearic acid, α -linolenic acid, undecanoic acid, oleic acid, capric acid and linoleic acid could reflect the fatty acid composition in the seeds of different provenance well, and nine seeds of different provenance were divided into three large clusters when the euclidean distance was five. In conclusion, provenance has some influence on the nutrient of *Paeonia delavayi* seeds, the provenance factors of parents in the breeding process should be fully considered to obtain better breeding results of *Paeonia delavayi* for oil-use.

Key words: *Paeonia delavayi*; geographic provenance; artificial cultivation; soluble sugar; soluble protein; crude fat; fatty acid

近年来,随着我国对木本油料产业重视程度的不断提高,牡丹籽油逐渐进入了人们的视野。牡丹籽油中含有丰富的 α -亚麻酸、亚油酸等多不饱和脂肪酸,具有降血压、血脂,预防心脑血管疾病,增加人体新陈代谢速率,促进生长发育和增强免疫力等功效^[1-2],长期食用牡丹籽油对人体健康有积极影响。2011年3月22日,牡丹籽油被批准为新资源食品(卫生部公告2011年第9号),而以凤丹牡丹(*Paeonia ostii* Feng Dan)和紫斑牡丹(*Paeonia rockii*)为代表的油用牡丹已在安徽、山东、陕西、甘肃、河北等地得到推广种植^[3]。

滇牡丹(*Paeonia delavayi*)是我国西南地区特有的一种芍药科(Paeoniaceae)芍药属(*Paeonia*)牡丹组(*Sect. Moutan* DC)多年生亚灌木,其在观赏及药用领域具有良好的开发前景^[4-5]。作为凤丹牡丹的近缘物种,滇牡丹同样具有较高的潜在油用开发价值^[6]。云南省是滇牡丹适生区面积最大、高适生范围分布最广的省份,主要高适生区域集中在滇西北及滇东北地区^[7]。在前期工作中,项目组将不同地区采集的滇牡丹种子栽种于云南曲靖马龙、香格里拉、玉溪抚仙湖及梁王山等地区,各地理种源种子均能顺利发育成完整植株并开花结种,这也部分印证了在云南地区推广和栽培滇牡丹具有良好的可行性。

研究表明,不同地理种源牡丹籽中粗脂肪含量及油脂中脂肪酸组成存在差异^[8-9],这些植物性状差异通常是由不同基因型及生境因子共同作用产生的。为了探讨在相同的生境条件下,经人工栽培后不同地理种源滇牡丹籽营养指标差异,本研究采集了经人工栽培于同一种质资源圃生长4年后的9个不同地理种源滇牡丹植株的成熟种子,分别对其可溶性糖、可溶性蛋白、粗脂肪含量及油脂中脂肪酸组成进行检测分析,旨在为选育性状优良、适合于油用开发的滇牡丹种质资源提供科学依据,也为贯彻落实云南省“绿色发展三张牌”战略提供帮助。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

项目组前期采集了不同种源地(表1)的野生滇牡丹成熟种子,经萌发培育成幼苗后种植于海拔2100 m的云南省马龙县滇牡丹种质资源圃内,按种源收集地归类种植,且数量均不少于500株。栽培地年平均降雨量979.5 mm,年平均日照达1985 h,年平均气温为13.4℃。种植4年后,分别采集人工种植的不同种源滇牡丹植株上的成熟种子,按原种源地分类收集于不同自封袋中并进行标记,置于阴凉通风处完成后熟待用。

表1 滇牡丹栽培样品种源编号及对应种源地情况

种源编号	种源地	海拔/m	经度(E)	纬度(N)
DHX	丽江河西	2 300	100°37'58.25"	26°44'53.67"
DLSH	丽江拉市海	2 437	100°08'37.04"	26°51'59.97"

续表 1

种源编号	种源地	海拔/m	经度(E)	纬度(N)
DLJ	丽江利直	2 700	99°39'9.17"	26°46'19.21"
DLD	丽江鲁甸	2 715	99°27'36.61"	27°11'34.08"
DYR	香格里拉德钦叶日	2 790	99°11'27.20"	28°20'38.1"
DYL	丽江玉龙雪山	2 855	100°12'45.16"	27°01'0.17"
DYW	丽江一碗水	3 000	100°19'41.55"	27°06'14.09"
DHQ	香格里拉红旗	3 218	99°52'39.94"	27°23'51.46"
DNL	丽江宁蒞	3 250	100°43'23.59"	27°31'40.55"

植物可溶性糖含量测定试剂盒(BC0030)、小牛血清蛋白 BSA(A8010),北京索莱宝科技有限公司;石油醚(分析纯)、乙酸乙酯(分析纯)、甲苯(分析纯)、甲醇(色谱纯)、氯化钠(化学纯)等,广东光华科技股份有限公司;正己烷(色谱纯),上海麦克林生化科技有限公司;浓硫酸(分析纯)。

1.1.2 仪器与设备

普析 T6 新世纪紫外可见分光光度计,ELGA 超纯水仪,AnkeYq 旋转蒸发仪,Eppendorf CR22N 大容量冷冻高速落地离心机,Agilent 7890A 气相色谱仪。

1.2 试验方法

1.2.1 滇牡丹籽百粒鲜质量、百粒干质量及含水率的测定

随机挑出一定颗粒数量(n)的鲜牡丹籽完整粒,称质量(m),按式(1)计算牡丹籽百粒鲜质量(m_1)。再将其于 80℃ 烘箱内干燥至恒重,计算得到百粒干质量,并以干燥前后牡丹籽质量变化率计算含水率。

$$m_1 = m/n \times 100 \quad (1)$$

1.2.2 滇牡丹籽基本营养成分含量的测定

1.2.2.1 粗脂肪含量的测定

将烘干的滇牡丹籽研磨后过 0.425 mm(40 目)筛,称取 2 g 滇牡丹籽粉用滤纸包好,放入索氏提取器中,按料液比 1:80 加入石油醚-乙酸乙酯(体积比 7:1),于 65℃ 回流提取 5 h 后,置于真空旋转蒸发仪上蒸发溶剂得到淡黄色澄清油状液体,置于 100℃ 烘箱中烘干至恒重,得到滇牡丹籽粗脂肪。按式(2)计算滇牡丹籽粗脂肪含量。

$$X = m_1/m_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中: X 为粗脂肪含量; m_1 为粗脂肪质量,g; m_0 为滇牡丹籽干样质量,g。

1.2.2.2 可溶性糖含量的测定

将烘干的滇牡丹籽研磨后过 0.425 mm(40 目)筛,称取 0.1 g 滇牡丹籽粉,加入 1 mL 蒸馏水研磨成匀浆,倒入离心管中,沸水浴 10 min,冷却后于常温,8 000 × g 离心 10 min,取上清液于 10 mL 试管中,蒸馏水定容至 10 mL,按植物可溶性糖含量测定试剂盒(BC0030)说明书测定可溶性糖含量。

1.2.2.3 可溶性蛋白含量的测定

将烘干的滇牡丹籽研磨后过 0.425 mm(40 目)筛,称取 0.5 g 滇牡丹籽粉,室温下加入 5 mL 磷酸缓冲液并充分旋涡振荡,以 12 000 × g 离心 6 min,取上清液,再以 26 900 × g 离心 16 min,再次取得的上清液即为可溶性蛋白提取液。将提取液稀释 50 倍(20 μL 蛋白提取液中加入 980 μL 磷酸缓冲液)后,取 0.1 mL 稀释液与 5 mL 考马斯亮蓝试剂混合,2 min 后测定其在 595 nm 下的吸光度,带入以小牛血清蛋白为标品得到的标准曲线回归方程中计算可溶性蛋白含量。

1.2.3 滇牡丹籽中脂肪酸组成及含量的测定

参考 Morscher 等^[10]的方法对滇牡丹籽样品进行处理后,采用 Agilent 7890A 气相色谱仪分析其脂肪酸组成及含量。分析条件:FID 氢火焰离子化检测器;HP-FFAP 色谱柱;进样口温度 260℃;分流比 10:1;检测器温度 280℃;色谱柱升温程序为初温 210℃,保持 8 min,以 20℃/min 升至 230℃,并保持 6 min。基于脂肪酸混标的保留时间对样品中的脂肪酸进行定性,采用内标法定量脂肪酸的相对含量。

1.2.4 数据统计

采用 SPSS 26.0 对数据进行相关性分析以及绘制聚类分析图,以 Origin 2019 绘制柱状图,以 R 语言进行主成分分析(PCA)。

2 结果与讨论

2.1 不同地理种源滇牡丹籽百粒鲜质量、百粒干质量及含水率

9 个种源滇牡丹籽的百粒鲜质量、百粒干质量、含水率如图 1 所示。

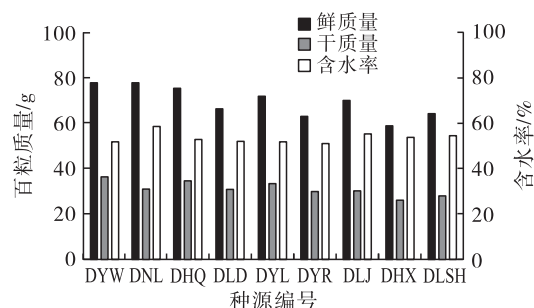


图 1 9 个种源滇牡丹籽百粒鲜质量、百粒干质量及含水率

由图 1 可看出,滇牡丹籽样品百粒鲜质量介于 59.92 g(DHX)~78.73 g(DYW)之间,百粒干质量介于 27.10 g(DHX)~37.17 g(DYW)之间,含水率介于 51.87% (DYR)~59.49% (DNL)之间。

2.2 不同地理种源滇牡丹籽基本营养成分含量

9 个种源滇牡丹籽的粗脂肪含量、可溶性糖含量及可溶性蛋白含量见表 2。

表 2 9 个种源滇牡丹籽粗脂肪、可溶性糖及可溶性蛋白含量 %

种源编号	粗脂肪	可溶性糖	可溶性蛋白
DHX	21.64 ± 0.76A	3.09 ± 0.06D	3.79 ± 0.14E
DLSH	18.96 ± 1.8BCD	3.06 ± 0.09D	4.77 ± 0.19D
DLJ	17.48 ± 1.49BCD	3.69 ± 0.07A	7.07 ± 0.22A
DLD	16.27 ± 0.97D	3.40 ± 0.14B	6.08 ± 0.13B
DYR	19.47 ± 0.5ABC	3.12 ± 0.05D	3.87 ± 0.49E
DYL	18.16 ± 0.77BCD	3.33 ± 0.06BC	5.55 ± 0.18BC
DYW	18.48 ± 1.01BCD	3.24 ± 0.02BCD	4.02 ± 0.19E
DHQ	20.16 ± 1.04AB	3.75 ± 0.04A	5.23 ± 0.13CD
DNL	16.98 ± 0.51CD	3.16 ± 0.12CD	5.71 ± 0.31BC
平均值	18.62	3.32	5.12
变异系数	8.92	7.69	21.76

注:同列中不同大写字母表示在 $p < 0.01$ 水平存在显著性差异

表 3 9 个种源滇牡丹籽中主要脂肪酸组成及含量 %

脂肪酸	DHX	DLSH	DLJ	DLD	DYR	DYL	DYW	DHQ	DNL	平均值	变异系数
癸酸	0.55	0.61	0.53	0.69	0.68	0.58	0.50	0.60	0.53	0.59	11.28
十一酸	2.58	3.55	2.76	3.34	2.76	3.09	3.12	2.93	2.75	2.99	10.56
豆蔻酸	0.08	0.11	0.08	0.11	0.07	0.09	0.10	0.12	0.09	0.09	18.52
棕榈酸	7.03	7.40	7.72	7.15	7.66	7.34	7.37	7.38	6.99	7.34	3.43
硬脂酸	0.83	0.94	0.84	0.74	1.11	0.98	0.81	0.79	0.93	0.89	12.90
花生酸	0.15	0.16	0.15	0.15	0.18	0.17	0.16	0.16	0.17	0.16	6.59
棕榈油酸	0.19	0.18	0.17	0.21	0.18	0.14	0.21	0.19	0.19	0.18	11.82
油酸	34.83	33.82	33.86	30.82	34.48	31.46	31.37	33.24	35.94	33.31	5.26
亚油酸	17.26	23.53	19.22	13.64	17.99	25.30	17.76	16.91	16.07	18.63	19.57
α -亚麻酸	36.16	29.36	34.33	42.84	34.64	30.55	38.30	37.32	35.99	35.50	11.36
二十烯酸	0.27	0.24	0.25	0.24	0.22	0.23	0.24	0.25	0.24	0.24	5.81
总不饱和脂肪酸	88.71	87.13	87.83	87.75	87.51	87.67	87.87	87.92	88.44	87.87	0.53

由表 3 可知,9 个种源滇牡丹籽中平均含量最高的 5 种脂肪酸成分依次为 α -亚麻酸(35.50%)、油酸(33.31%)、亚油酸(18.63%)、棕榈酸(7.34%)和十一酸(2.99%)。9 个种源滇牡丹籽中的癸酸、豆蔻酸、花生酸、棕榈油酸、二十烯酸的含量均小于 1%,硬脂酸含量除在 DYR 中略大于 1%外,在其余种源样品中均小于 1%。9 个种源滇牡丹籽中总不饱和脂肪酸含量均在 87% 以上。变异系数最高的 6 种脂肪酸成分依次为亚油酸(19.57%)、豆蔻酸(18.52%)、硬脂酸(12.90%)、

由表 2 可看出:9 个种源滇牡丹籽粗脂肪含量介于 16.27% (DLD)~21.64% (DHX)之间,含量最高的 3 个种源依次为 DHX、DHQ、DYR,9 个种源滇牡丹籽平均粗脂肪含量为 18.62%;9 个种源滇牡丹籽可溶性糖含量介于 3.06% (DLSH)~3.75% (DHQ)之间,含量最高的 3 个种源依次为 DHQ、DLJ、DLD,9 个种源滇牡丹籽平均可溶性糖含量为 3.32%;9 个种源滇牡丹籽可溶性蛋白含量介于 3.79% (DHX)~7.07% (DLJ)之间,含量最高的 3 个种源依次为 DLJ、DLD、DNL,9 个种源滇牡丹籽平均可溶性蛋白含量为 5.12%。由表 2 还可看出,9 个种源滇牡丹籽的可溶性蛋白含量差异最大,粗脂肪、可溶性糖含量差异较小。

2.3 不同地理种源滇牡丹籽中脂肪酸组成及含量

滇牡丹籽中共检出 16 种脂肪酸,其中 9 个种源滇牡丹籽中的月桂酸、十三烷酸、十五烷酸、十五烯酸及 γ -亚麻酸等 5 种脂肪酸因含量均未超过 0.1%,不做进一步分析,其余 11 种脂肪酸含量见表 3。

棕榈油酸(11.82%)及 α -亚麻酸(11.36%)、癸酸(11.28%),但除亚油酸及 α -亚麻酸外,其余 4 种变异系数较大的脂肪酸平均含量均小于 1%。不同种源滇牡丹籽中总不饱和脂肪酸含量相对较为稳定,变异系数仅为 0.53%。

2.4 滇牡丹籽中不同营养成分指标之间及其与种源地理因子间的相关性分析

对 9 个种源滇牡丹籽中主要营养成分指标之间及主要性状指标与种源地理因子之间进行相关性分析,结果分别见表 4、表 5。

表4 滇牡丹籽中主要营养成分含量间的相关性分析

营养成分	粗脂肪	可溶性糖	可溶性蛋白	十一酸	棕榈酸	油酸	亚油酸	α -亚麻酸	总不饱和脂肪酸
粗脂肪	1.000								
可溶性糖	-0.299	1.000							
可溶性蛋白	-0.613**	0.466*	1.000						
十一酸	-0.271	0.029	0.248	1.000					
棕榈酸	0.032	0.267	-0.382*	0.106	1.000				
油酸	0.274	-0.415*	-0.282	-0.668**	-0.054	1.000			
亚油酸	0.158	-0.085	-0.319	0.175	0.399*	-0.081	1.000		
α -亚麻酸	-0.117	0.256	0.195	-0.017	-0.355	-0.375	-0.798**	1.000	
总不饱和脂肪酸	0.019	-0.005	0.192	-0.655**	-0.700**	0.295	0.445*	0.430*	1.000

注：**表示在0.01水平显著相关，*表示在0.05水平显著相关。下同

表5 滇牡丹籽主要性状指标与种源地地理因子间的相关性分析

主要性状指标	海拔	经度	纬度
百粒鲜质量	0.884**	0.273	0.052
百粒干质量	0.761*	-0.035	0.149
含水率	0.163	0.563	-0.238
粗脂肪	0.088	0.576	-0.175
可溶性糖	0.398	-0.361	-0.155
可溶性蛋白	0.225	-0.201	-0.295
α -亚麻酸	0.259	-0.198	0.147
油酸	-0.030	0.290	0.234
亚油酸	-0.257	0.154	-0.294
棕榈酸	-0.041	-0.689*	0.214
十一酸	-0.067	-0.300	-0.067
总不饱和脂肪酸	0.110	0.592	-0.156

由表4可看出,在0.01水平上,可溶性蛋白含量与粗脂肪含量,十一酸含量与油酸及总不饱和脂肪酸含量, α -亚麻酸含量与亚油酸含量,总不饱和脂肪酸含量与棕榈酸含量均呈显著负相关关系。在0.05水平上,可溶性蛋白含量与可溶性糖含量呈显著正相关关系,与棕榈酸含量呈显著负相关关系,油酸含量与可溶性糖含量呈显著负相关关系,总不饱和脂肪酸含量与亚油酸及 α -亚麻酸含量呈显著正相关关系,棕榈酸含量与亚油酸含量呈显著正相关关系,其余各成分间相关性不显著。由表5可看出,棕榈酸含量与经度在0.05水平上呈显著负相关关系,百粒鲜质量和百粒干质量与海拔分别在0.01、0.05水平上呈显著正相关关系。

2.5 滇牡丹籽脂肪酸组成的PCA及聚类分析

对滇牡丹籽中12个脂肪酸组成指标进行PCA,以特征值大于1为标准提取主成分,可提取到3个主成分,如表6所示。

表6 滇牡丹籽中脂肪酸组成成分载荷矩阵及各主成分贡献率

脂肪酸	主成分1	主成分2	主成分3
脂肪酸			
癸酸	0.239	0.430	0.622
十一酸	0.131	0.925	-0.124
豆蔻酸	-0.367	0.758	-0.229
棕榈酸	0.598	0.148	0.099
棕榈油酸	-0.765	0.121	0.447
硬脂酸	0.881	-0.324	0.224
油酸	0.092	-0.786	0.011
亚油酸	0.742	0.142	-0.640
α -亚麻酸	-0.780	0.131	0.563
花生酸	0.751	-0.239	0.473
二十烯酸	-0.743	-0.183	-0.480
总不饱和脂肪酸	-0.650	-0.703	-0.107
特征值	4.330	2.428	1.881
贡献率/%	39.363	22.071	17.096
累积贡献率/%	39.363	61.434	78.530

由表6可看出,3个主成分累积贡献率达到78.530%,可代表脂肪酸组分指标的绝大部分信息。主成分1特征值为4.330,贡献率达到39.363%,说明主成分1中的各项高载荷指标能够较好地反映不同地理种源滇牡丹籽中脂肪酸的组成情况,其中硬脂酸具有最高的正载荷,而 α -亚麻酸具有最高的负载荷。主成分2特征值为2.428,贡献率达到22.071%,其中十一酸具有最高正载荷,油酸具有最高的负载荷。主成分3特征值为1.881,贡献率为17.096%,其中癸酸具有最高的正载荷,而亚油酸具有最高的负载荷。因此,硬脂酸、 α -亚麻酸、十一酸、油酸、癸酸及亚油酸最能反映出不同地理种源滇牡丹籽中脂肪酸的组成情况。

对9个种源滇牡丹籽脂肪酸组成进行聚类分析,结果见图2。

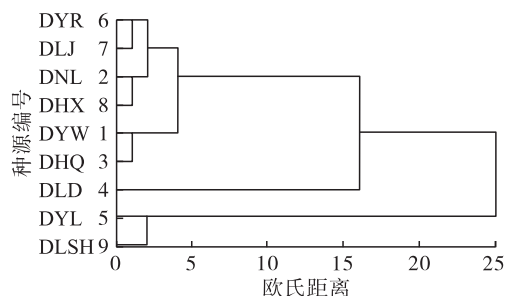


图2 9个种源滇牡丹籽中脂肪酸组成的聚类分析

欧氏距离越短,组内种源脂肪酸组成结构越接近。由图2可看出,当欧氏距离为5时,9个种源被分为3个大簇:DLR、DLJ、DNL、DHX、DYW及DHQ为一簇,其在欧氏距离为3附近时被分为2个亚簇,其中DLR、DLJ、DNL及DHX样品聚为一个亚簇,DYW和DHQ聚为一个亚簇;DLD单独成一簇;DYL及DLSH为一簇。

3 结论

对人工栽种于同一样地的9个不同地理种源的滇牡丹籽基本营养成分及脂肪酸组成进行比较分析。结果表明,9个种源滇牡丹籽中DHX种源样品粗脂肪含量显著高于其他种源样品,9个种源滇牡丹籽的脂肪酸组成相同,3种含量最高的脂肪酸中,除油酸含量差异较小外,亚油酸含量及 α -亚麻酸含量变异系数均相对较大,DLD种源样品中 α -亚麻酸含量高于其他种源样品。9个种源滇牡丹籽主要性状指标与种源地地理因子相关性分析表明,滇牡丹籽百粒鲜质量和百粒干质量与海拔呈显著正相关关系,棕榈酸含量与经度呈显著负相关关系。脂肪酸PCA表明,硬脂酸、 α -亚麻酸、十一酸、油酸、癸酸及亚油酸最能反映出不同种源滇牡丹籽中脂肪酸的组成情况。经聚类分析,9个种源滇牡丹籽被

分为3个大簇。上述结果表明,在开展油用滇牡丹人工育种工作时,应充分考虑育种过程中父母本的种源地因素,以获得更好的油用滇牡丹选育结果。

参考文献:

- [1] 董振兴,彭代银,宣自华,等. 牡丹籽油降血脂、降血糖作用的实验研究[J]. 安徽医药, 2013, 17(8): 1286 - 1289.
- [2] 张钰. 基于微波辅助技术的牡丹籽油提取工艺研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
- [3] 李育材. 中国油用牡丹工程的战略思考[J]. 中国工程科学, 2014, 16(10): 58 - 63.
- [4] 龙正莉,杨立新,杨蓉,等. 牡丹组植物的药用民族植物学研究及考证[J]. 广西植物, 2021, 41(2): 308 - 317.
- [5] 张艳丽. 滇牡丹花色类群遗传背景分析[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- [6] 肖丰坤,施蕊,耿菲菲,等. 滇牡丹籽油的超临界CO₂萃取工艺优化及其脂肪酸成分分析[J]. 中国油脂, 2015, 40(6): 12 - 14.
- [7] 陈剑,原晓龙,谭芮,等. 基于MaxEnt滇牡丹潜在适生区研究[J]. 西部林业科学, 2018, 47(3): 24 - 29.
- [8] 曾秀丽,张姗姗,杨勇,等. 西藏不同居群大花黄牡丹的种子油脂成分分析[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(3): 285 - 288.
- [9] 杨勇,刘佳坤,曾秀丽,等. 四川牡丹部分野生居群种子脂肪酸组分比较[J]. 园艺学报, 2015, 42(9): 1807 - 1814.
- [10] MORSCHER F, KRANNER I, ARC E, et al. Glutathione redox state, tocopherols, fatty acids, antioxidant enzymes and protein carbonylation in sunflower seed embryos associated with after-ripening and ageing[J]. Ann Bot, 2015, 116(4): 669 - 678.
- [11] 陈功锡,王冰清,张洁,等. 湘西地区非粮柴油能源植物资源研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2019.
- [12] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究, 1991, 13(S4): 1 - 139.
- [13] 郑涛,苟光前,何选泽,等. 贵州江口县野生木本油料植物资源调查与分析[J]. 中国油脂, 2019, 44(6): 106 - 110.
- [14] 付维,苟光前,叶红环,等. 贵州省万山区野生木本油料植物种质资源的调查与分析[J]. 山地农业生物学报, 2018, 37(5): 49 - 56.
- [15] 刘冰,向晓媚,谭璐,等. 湖南德夯风景名胜区油脂植物资源调查及分析[J]. 中国油脂, 2021, 46(4): 112 - 117.
- [16] 陈功锡,王冰清,张洁,等. 湘西地区非粮柴油能源植物资源研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2019.
- [17] 向晓媚,谭璐,谭泽成,等. 武功山地区油脂植物资源调查研究[J]. 生物资源, 2020, 42(1): 22 - 28.
- [18] 张丽,彭焱松,宋满珍,等. 井冈山自然保护区油脂植物资源调查与区系分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(9): 1 - 7.
- [19] 张丽,钟爱文,熊先华,等. 庐山自然保护区油脂植物资源调查[J]. 中国油脂, 2017, 42(3): 1 - 6.
- [20] 张代贵,肖艳,邓涛,等. 湖南壶瓶山国家级自然保护区油脂植物资源调查[J]. 中国油脂, 2010, 35(6): 65 - 70.

(上接第138页)