

‘凤丹’油用牡丹实生优株选择及评判标准研究

任利益,张延龙*,牛立新,张晓骁,李林昊

(西北农林科技大学 风景园林艺术学院,陕西 杨陵 712100)

摘要:通过测量 98 株‘凤丹’植株 13 个经济性状,转化指标数据进行因子分析。结果表明,各项指标变异系数大,选择性强。对性状的相关性分析发现,在提高坐果量的同时,果实大小、单株籽粒质量和籽粒体积亦得到提高。通过主成分分析和聚类分析,选出优株 41 株,可作为高产新品种选育的研究材料;以单株坐果量、单果籽粒数、籽粒千粒重为基础制定了田间选优的标准。

关键词:凤丹;优株选择;选择标准

中图分类号:S722.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)06-0162-07

Selection of Excellent *Paeonia ostii* Individuals and Evaluation Standards

REN Li-yi, ZHANG Yan-long*, NIU Li-xin, ZHANG Xiao-xiao, LI Lin-hao

(1. College of Landscape Architecture and Arts, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In this study, 98 *Paeonia ostii* ‘Feng Dan’ plants were selected as the subject, on which 13 economical characters were measured. The data were converted to metrics in order to complete factor analysis. The results showed that all the indices were well selective, and had high variation coefficients. The correlation analysis results demonstrated that the fruit size, seeds weight and seeds volume increased with the increase of fruit number. According to the principal component analysis and clustering analysis, 41 high yield plants were selected as materials for further breeding studies. High—yield—individual selecting standards were established, based on fruit number of a single plant, seed number of a single fruit and the weight of thousand seeds.

Key words: *Paeonia ostii*; excellent individual selection; evaluation standard

牡丹属芍药科(Paeoniaceae)芍药属(*Paeonia*)灌木,原产中国,在我国具悠久栽培历史^[1]。2011年3月22日,国家卫生部发布了“关于批准元宝枫籽油和牡丹籽油作为新资源食品的公告”,标志着牡丹籽油正式成为我国的一种木本食用油。现阶段油用牡丹主要研究方向包括其栽培技术^[2-3]、牡丹籽油成分分析^[4-5]、贮藏运输^[6]与提取工艺^[7-8]等,基于种子产量和油用性状的品种选育未见报道。

实生选种是木本油料植物品种选育的主要方法^[9],已在油茶^[10-11]、蓖麻^[12]、花生^[13-14]等获得一定成果,结合数学模型有助于对选育植株的评定^[15-16]。油用牡丹作为近年的新兴产业^[17],然而牡丹繁育周

期长,杂交育种在短期内难以满足产业需求,通过实生选种,能尽快获得优良株系,加快品种的选育进程。本研究以稳产期‘凤丹’实生苗群体为选育材料,对其单株坐果量、单株籽粒质量、千粒质量、果实大小等经济性状进行分析,对单株进行综合评价,以选表现优良的母株,建立选育标准,为油用牡丹新品种的选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

‘凤丹’实生选择试验地位于陕西省商洛市商州区(110.01°E, 33.80°N),平均海拔 766 m,年降水

收稿日期:2016-02-25 修回日期:2016-03-20

基金项目:国家林业局林业公益性行业科研重大专项(201404701)。

作者简介:任利益,男,在读硕士,研究方向:园林植物应用。E-mail:396170286@qq.com

* 通信作者:张延龙,女,教授,博导,研究方向:观赏植物种质资源保护、育种与开发利用。E-mail:zhangyanlong@nwsuaf.edu.cn

量 709.2 mm。‘凤丹’栽植总面积愈 80 hm²。本研究在 13 hm² 的试验地中,以 7~8 年稳产植株,长势健壮,果形端正饱满,籽粒品质好作为初选指标,选择出 98 株‘凤丹’植株,编号,于 2012 年 10 月移栽至西北农林科技大学牡丹试验基地(108. 07°E, 34. 26°N),株行距 1 m×1 m,同等施肥管理水平,2014—2015 年花期和果期连续观察记录 2 a。

1.2 测量方法

株高、冠幅、复叶长宽用卷尺测量,3 人读数记录,取均值;果实单株采集,统计数量,游标卡尺测量单果直径,每株选取 3 个单果,结果取平均;单株果实整体称量鲜果质量,阴干 15 d,称量干果质量;剥壳,烘干籽粒,称量单株籽粒质量,另称量该植株 100 粒种子质量,计算单株籽粒数和千粒质量(烘干后);单株取 100 粒种子,称量后剥出籽仁,称量籽仁重量,统计出仁率;籽粒体积用排水法测量,换算成单粒体积。

树冠投影面积=π×[(东西冠幅+ 南北冠幅)/4]²^[18] (1)

叶形指数=复叶长/复叶宽 (2)

鲜果含水率=(鲜果质量-干果质量)/鲜果质量 (3)

干籽出仁率=烘干仁质量/烘干籽质量 (4)

1.3 数据转化与统计分析

在因子分析前,对所统计数据用隶属函数法进行数据转换:叶形指数、单株结实率、单株坐果量、单株干果质量、单株籽粒数、单株籽粒质量、千粒质量、果实直径、出仁率、籽粒体积等性状与提高产量相关性强,列为正相关指标,依据公式 5;株高、树冠投影面积、果实含水量分别与田间管理、单位面积产量和籽粒储藏时间相关,列为负相关指标,依据公式 6,应用软件 SPASS18.0 对标准化后的数据进行相关性分析和主成分分析,得到各样品的公因式分值 P_{im} ,综合分值 D_m 的计算依据公式 7 以相应公因子的贡献率 W_i 为权重值获得。

$$U_m = \frac{X_{i_n} - X_{i_{\min}}}{X_{i_{\max}} - X_{i_{\min}}} \quad (5)$$

$$U'_m = 1 - \frac{X_{i_n} - X_{i_{\min}}}{X_{i_{\max}} - X_{i_{\min}}} \quad (6)$$

$$D_m = \sum_{i=1}^n P_{i_m} \times W_i \quad (7)$$

式中, U_m 和 U'_m 分别指第 n 个样品第 i 个指标的原始数据经转化后的隶属函数值; X_{i_n} 指第 n 个样品第 i 个指标的原始测定结果; $X_{i_{\max}}$ 和 $X_{i_{\min}}$ 分别指样品组中第 i 个指标的最大和最小值; D_m 值为供试材料用综合指标评价所得的综合评价价值, P_{i_m} 为第 m 个

样品第 i 个特征根>1 公因子的分值, W_i 为样品第 i 个公因子的方差贡献率, n 为特征值>1 公因子的个数。

2 结果与分析

2.1 ‘凤丹’主要性状的测定与分析

‘凤丹’植株主要性状测定结果(表 1)表明,各指标变异系数差异较大,其中,产量指标单株坐果量、单株干果质量以及单株籽粒数、单株籽粒质量变异系数相对较大,易受栽培措施条件的影响,针对产量指标的选择性强。

在对某一单一性状指标进行排序时,不同指标排序结果不尽相同,表明不同单株在各指标中表现出不同程度的优良特性,若对 98 个样品单一性状进行评价并不能完全体现出该植株的优劣性,须筛选一个全面系统评价标准来对其进行综合评定。

2.2 ‘凤丹’性状相关性分析

株高与树冠投影面积、单株坐果量、单株干果质量、单株籽粒数、单株籽粒质量显著正相关($P<0.01$)。树冠投影面积与单株坐果量、鲜果含水量、单株干果质量、单株籽粒数、果实直径、出仁率、籽粒体积显著正相关。叶形指数与结实率显著正相关($P<0.05$),表明在丰产植株的选育过程中,叶形不能作为判断牡丹产量的指标。结实率与单株坐果量、单株干果质量显著正相关,与单株籽粒数、单株籽粒质量、果实直径、出仁率、籽粒体积显著正相关。

产量性状坐果量与单株干果质量、单株籽粒数、单株籽粒质量、果实直径、出仁率、籽粒体积显著正相关,与千粒质量显著负相关。单株干果质量与单株籽粒数、单株籽粒质量、果实直径、出仁率、籽粒体积显著正相关。单株籽粒数与单株籽粒质量、果实直径、出仁率、籽粒体积显著正相关,与千粒质量显著负相关。单株籽粒质量还与果实直径、出仁率、籽粒体积显著正相关。果实直径与出仁率、籽粒体积,出仁率与籽粒体积均成显著正相关(表 2)。

2.3 ‘凤丹’性状的主成分分析

应用隶属函数对原始数据转换后进行主成分分析(表 3)表明,前 2 个公因子(特征值>1)的累计贡献率达 83.046%,数据经旋转后各因子中的载荷值质量、单株籽粒数、单株籽粒质量、千粒质量、果实直径、出仁率、籽粒体积,这些指标均为产量性状的直观表现,故称该因子为产量因子,贡献率为 68.289%;第 2 公因子中主要指标包括树冠投影面积、叶形指数、单株坐果量等,贡献率 14.757%,远小于第 1 公因子贡献率,称为其他因子。

表 1 ‘凤丹’丰产群体主要性状分析

Table 1 Determination of major traits related to high field ability of *P. ostii*

编号	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
1	60.20	0.32	1.21	54.55	4	56.38	48.60	124.00	16.10	129.82	71.60	60.65	76.94
2	120.80	0.64	1.14	80.00	4	43.70	84.90	120.00	27.50	229.20	78.06	62.54	84.26
3	110.40	0.96	1.15	70.00	6	88.42	143.30	180.00	41.01	227.85	83.38	64.85	86.25
4	100.40	0.75	1.52	50.00	3	87.50	80.00	84.00	26.19	311.76	76.45	62.45	84.21
5	95.70	0.57	1.81	80.00	8	106.00	100.00	241.00	40.66	168.71	82.98	64.58	86.25
6	110.30	1.44	1.66	83.33	9	78.82	170.00	271.00	64.46	237.86	97.52	68.54	97.51
7	112.30	0.61	1.30	33.33	3	40.00	60.00	97.00	21.12	217.74	73.32	62.32	80.47
8	113.60	0.52	1.86	60.00	3	47.34	73.30	103.00	23.89	231.90	74.82	62.42	81.36
9	68.30	0.41	1.53	50.00	3	60.78	51.00	95.00	19.43	204.56	71.83	61.25	78.52
10	69.20	0.46	1.72	60.00	6	52.64	127.10	182.00	54.69	300.52	89.33	68.42	94.52
11	110.70	0.64	1.52	85.71	10	76.57	117.80	288.00	38.44	133.48	82.14	64.32	86.24
12	90.60	0.57	1.52	75.00	3	74.69	56.10	100.00	14.46	144.58	70.89	60.39	76.24
13	128.70	0.88	1.34	63.16	7	46.67	150.00	222.00	50.23	226.28	87.88	68.12	94.15
14	106.90	0.48	1.49	37.50	5	40.00	70.00	138.00	25.59	185.44	76.09	62.45	83.42
15	100.40	0.75	1.73	80.00	8	49.38	120.50	225.00	45.66	202.95	86.14	65.84	90.85
16	67.40	0.42	1.42	66.67	3	69.07	48.50	94.00	14.90	158.54	71.30	60.42	76.25
17	90.70	0.74	3.17	76.19	8	33.85	130.00	250.00	36.44	145.75	81.40	64.15	85.48
18	125.60	0.64	1.63	70.59	11	68.32	121.20	326.00	43.44	133.27	85.20	65.32	87.26
19	93.20	0.85	2.07	100.00	6	90.05	110.50	172.00	38.09	221.47	81.65	64.25	85.65
20	100.20	0.64	1.32	77.78	6	105.71	133.20	185.00	42.78	231.26	84.82	65.32	86.62
21	108.60	0.92	1.20	62.50	3	80.96	85.10	90.00	20.95	232.82	72.69	62.15	79.54
22	107.40	1.37	1.55	77.78	12	60.22	287.10	367.00	55.33	150.76	90.24	68.51	95.36
23	90.60	0.79	1.59	46.15	5	63.61	81.90	141.00	24.84	176.15	76.04	62.45	82.47
24	108.70	1.06	1.05	72.22	10	92.89	205.30	295.00	54.97	186.34	89.42	68.42	94.52
25	58.60	0.48	1.42	75.00	2	54.61	60.80	52.00	13.25	254.73	68.59	60.25	74.56
26	123.70	0.85	1.47	64.29	8	66.29	131.10	251.00	50.55	201.38	88.68	68.40	94.25
27	96.40	0.76	1.35	75.00	2	61.57	81.70	47.00	12.94	275.38	68.53	60.23	74.52
28	100.80	0.84	1.92	76.92	7	69.41	164.10	201.00	48.72	242.38	86.72	67.42	92.36
29	88.20	0.49	2.91	100.00	6	58.78	118.40	172.00	42.29	245.86	84.28	65.21	86.32
30	120.20	0.87	2.03	100.00	13	100.00	280.00	387.00	68.65	177.38	98.27	69.32	100.95
31	168.80	1.01	1.56	100.00	6	86.43	110.50	171.00	31.32	183.14	79.40	63.15	84.56
32	96.30	0.38	1.79	87.50	4	86.67	60.00	122.00	21.60	177.07	73.83	62.36	80.60
33	100.20	0.95	1.52	73.33	6	73.33	150.00	184.00	44.97	244.42	85.34	65.42	89.56
34	100.80	0.91	1.24	69.23	9	83.46	165.70	265.00	42.84	161.67	85.13	65.32	87.25
35	130.40	0.51	1.36	64.29	5	97.23	115.60	152.00	28.63	188.37	78.40	62.54	84.26
36	115.00	1.05	1.59	59.26	11	52.86	140.00	315.00	41.80	132.69	84.22	65.21	86.25
37	103.20	0.42	1.96	66.67	9	58.42	121.20	278.00	40.38	145.25	82.87	64.52	86.25
38	85.60	0.62	1.39	100.00	1	95.70	41.90	13.00	5.18	398.11	58.22	54.62	64.32
39	80.40	0.39	1.58	50.00	3	42.86	70.00	96.00	20.89	217.61	72.47	61.54	78.54
40	106.90	0.95	1.38	59.09	10	55.29	170.00	307.00	59.27	193.05	93.13	68.54	96.12
41	130.50	0.72	1.35	81.25	8	54.67	150.00	243.00	52.35	215.44	89.08	68.42	94.25
42	113.40	0.77	1.94	66.67	5	68.79	86.50	150.00	33.04	220.24	80.61	63.25	84.65
43	72.60	0.38	1.34	50.00	3	53.58	57.30	95.00	20.23	212.96	72.23	61.32	78.52
44	96.20	0.75	1.53	33.33	3	48.47	45.80	89.00	17.27	194.00	71.80	61.23	78.51
45	130.20	0.54	1.74	81.82	8	70.53	172.40	246.00	74.17	301.49	99.32	69.45	102.45
46	120.50	0.87	2.12	50.00	1	57.68	24.10	44.00	8.75	198.80	63.29	57.52	68.45
47	70.70	0.72	1.40	60.00	1	76.21	45.40	10.00	4.03	402.57	56.94	54.52	64.25
48	109.30	0.97	1.53	42.86	7	63.37	116.30	207.00	44.98	217.31	85.79	65.48	90.25
49	95.10	0.37	1.47	38.46	1	40.19	42.80	38.00	9.25	243.38	63.85	58.42	68.51
50	82.70	0.30	3.93	100.00	4	58.89	57.90	128.00	24.60	192.19	75.05	62.45	81.56

续表 1

编号	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
51	118.40	0.48	1.62	87.50	11	58.97	171.10	331.00	75.71	228.72	99.42	70.42	103.52
52	75.60	0.71	1.58	46.67	4	59.91	86.30	132.00	32.12	243.34	79.41	63.21	84.63
53	110.40	0.88	1.22	93.75	7	66.29	87.80	195.00	26.20	134.38	76.93	62.48	84.21
54	135.70	1.08	1.65	80.00	8	71.65	180.60	228.00	42.46	186.21	84.79	65.21	86.32
55	109.20	1.16	1.47	50.00	5	81.26	97.10	152.00	38.23	251.52	81.70	64.25	86.21
56	114.20	0.56	1.38	71.43	4	70.33	72.80	121.00	26.92	222.45	77.42	62.53	84.25
57	118.80	0.69	0.78	33.33	5	62.27	98.60	152.00	29.60	194.73	78.66	62.84	84.32
58	86.60	0.83	1.40	71.43	3	59.09	70.40	75.00	10.25	136.72	64.79	58.63	69.15
59	110.60	0.62	1.41	55.56	4	71.43	70.00	125.00	21.64	173.09	74.32	62.39	80.65
60	118.60	0.59	1.62	81.25	4	50.00	100.00	131.00	23.86	182.16	74.65	62.40	80.95
61	105.70	0.34	1.49	42.86	6	47.65	104.30	182.00	37.86	208.00	81.57	64.15	85.62
62	123.50	1.01	1.29	75.86	4	75.98	143.20	133.00	30.85	231.92	79.10	63.15	84.52
63	85.40	0.73	1.49	71.43	1	48.00	50.00	25.00	7.27	290.93	60.88	56.20	64.52
64	89.80	0.46	1.21	83.33	2	50.00	60.00	73.00	13.93	190.83	70.45	60.35	75.68
65	98.40	0.47	1.47	22.22	5	84.00	50.00	140.00	14.38	102.72	70.67	60.35	76.16
66	130.50	0.79	1.47	69.57	9	56.36	110.00	266.00	27.24	102.39	77.74	62.54	84.25
67	88.20	0.52	2.26	50.00	5	35.00	80.00	156.00	25.85	165.71	76.28	62.45	84.15
68	120.10	0.79	1.87	100.00	1	80.00	130.00	25.00	5.43	217.38	59.22	54.62	64.39
69	143.20	1.17	1.01	80.00	10	61.73	273.30	291.00	79.84	274.38	99.58	70.54	104.62
70	128.40	0.97	1.28	83.33	4	81.56	143.20	119.00	30.26	254.29	78.92	63.12	84.51
71	72.10	0.47	1.33	70.00	2	59.09	70.40	71.00	15.73	221.59	71.54	60.45	76.54
72	105.70	0.64	1.31	77.78	3	40.00	90.00	78.00	12.32	157.94	66.66	60.15	74.26
73	109.20	1.11	1.60	70.00	14	90.54	279.20	402.00	87.66	218.07	101.13	72.42	107.25
74	118.60	0.87	1.49	48.39	2	66.41	64.90	60.00	7.70	128.31	61.77	56.42	65.84
75	100.20	0.79	1.93	62.50	5	93.85	130.00	138.00	26.64	193.07	77.17	62.48	84.25
76	107.20	0.78	1.50	58.33	12	84.26	156.30	369.00	60.55	164.08	96.89	68.54	96.48
77	61.30	0.57	1.64	100.00	2	74.29	70.00	49.00	7.79	158.89	62.28	56.48	68.15
78	113.40	0.86	1.94	75.00	11	81.52	182.90	326.00	60.51	185.61	96.40	68.54	96.45
79	100.30	0.96	1.64	66.67	4	80.97	107.20	106.00	24.66	232.66	75.13	62.45	82.36
80	78.30	0.55	1.72	75.00	7	49.23	130.00	203.00	44.58	219.63	85.23	65.39	89.37
81	110.80	0.74	2.42	71.43	6	71.43	140.00	181.00	46.23	255.43	86.28	65.85	91.23
82	100.70	0.79	1.53	64.71	7	79.82	163.50	205.00	50.09	244.34	87.81	68.12	92.42
83	130.70	0.60	1.37	83.33	16	63.64	220.00	478.00	82.78	173.17	100.70	72.15	106.32
84	70.40	0.42	1.48	80.00	2	30.00	60.00	64.00	13.92	217.53	69.38	60.32	75.29
85	117.40	0.75	1.99	88.89	6	20.00	100.00	167.00	34.97	209.43	81.06	63.54	84.85
86	58.90	0.43	1.49	100.00	2	45.00	40.00	45.00	10.32	229.43	65.21	58.63	69.47
87	136.70	0.94	1.27	60.00	10	62.84	174.40	313.00	65.87	210.45	98.01	69.12	97.54
88	119.20	0.45	2.03	55.56	4	28.57	70.00	126.00	22.63	179.62	74.39	62.39	80.65
89	127.30	0.75	1.89	71.43	8	63.35	145.70	243.00	56.25	231.47	90.73	68.54	95.42
90	48.40	0.32	1.06	100.00	2	30.00	40.00	63.00	12.18	193.28	66.60	59.65	71.48
91	120.50	0.57	1.28	80.00	6	26.54	178.60	165.00	39.60	239.98	82.67	64.52	86.24
92	98.20	0.35	1.40	57.14	3	28.00	50.00	78.00	11.69	149.90	65.76	59.64	71.25
93	140.90	0.96	1.49	40.00	1	60.00	50.00	42.00	11.84	281.84	66.03	59.64	71.38
94	140.50	0.51	1.18	78.57	4	40.00	70.00	114.00	16.84	147.75	71.68	61.02	78.25
95	126.30	0.71	1.17	22.22	2	50.60	33.20	37.00	9.99	270.00	63.90	58.62	68.54
96	110.80	0.52	1.15	80.00	3	77.55	38.30	83.00	8.72	105.05	62.91	57.45	68.42
97	105.30	0.83	1.57	26.32	2	20.00	40.00	36.00	7.53	209.07	61.20	56.32	65.25
98	98.50	0.38	1.11	85.00	11	44.29	140.00	339.00	46.52	137.23	86.33	67.42	92.35
平均值	104.35	0.70	1.57	68.73	5.57	63.08	108.66	166.18	32.64	205.94	78.60	63.31	83.53
标准差	21.65	0.24	0.43	18.85	3.34	19.40	57.32	100.86	19.69	53.53	10.79	3.96	10.08
变异系数%	20.75	34.27	27.28	27.43	59.92	30.76	52.75	60.69	60.33	25.99	13.73	6.26	12.07

注：X1~X13 分别代表株高(cm)，树冠投影面积(m²)，叶形指数，单株结实率(%)，单株坐果量，鲜果含水量(%），单株干果质量(g)，单株籽粒数，单株籽粒质量(g)，千粒质量(g)，果实直径(mm)，出仁率(%)及籽粒体积(mm³)。

表 2 ‘凤丹’性状相关性分析

Table 2 Correlation analysis of *P. ostii* major characters

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
X2	0.520**											
X3	-0.048	-0.049										
X4	0.028	0.026	0.199*									
X5	0.514**	0.461**	0.132	0.407**								
X6	0.129	0.332**	-0.034	0.162	0.162							
X7	0.492**	0.607**	0.07	0.310**	0.716**	0.270**						
X8	0.457**	0.425**	0.121	0.221*	0.678**	0.195*	0.861**					
X9	0.455**	0.465**	0.124	0.224*	0.576**	0.216*	0.901**	0.920**				
X10	-0.135	0.074	-0.032	0.004	-0.311**	0.131	0-0.043	-0.298**	-0.004			
X11	0.460**	0.452**	0.139	0.219*	0.574**	0.217*	0.875**	0.917**	0.978**	-0.054		
X12	0.436**	0.430**	0.123	0.196*	0.544**	0.163	0.860**	0.903**	0.964**	-0.063	0.985**	
X13	0.462**	0.433**	0.132	0.211*	0.566**	0.197*	0.868**	0.904**	0.970**	-0.053	0.989**	0.988**

注：**表示 $P<0.01$ 显著水平；*表示 $P<0.05$ 显著水平。

表 3 ‘凤丹’性状的因子分析

	F1	F2
X1	-0.175	0.254
X2	-0.279	0.378
X3	0.246	-0.409
X4	0.271	-0.360
X5	0.275	-0.391
X6	-0.079	-0.064
X7	0.313	0.067
X8	0.313	0.124
X9	0.311	0.247
X10	0.309	0.248
X11	0.312	0.250
X12	0.306	0.266
X13	0.310	0.254
特征值	8.878	1.918
贡献值	68.289	14.757
累计贡献率	68.289	83.046

2.4 ‘凤丹’植株评价综合指数

依据各因子的贡献率及各指标在评价中所占权重,得出综合指数 D_m (表 4, m 为植株编号): $D_m = -0.091X_1 - 0.162X_2 + 0.13X_3 + 0.159X_4 + 0.157X_5 - 0.076X_6 + 0.269X_7 + 0.279X_8 + 0.3X_9 + 0.298X_{10} + 0.301X_{11} + 0.299X_{12} + 0.3X_{13}$

83、73 号及 30 号植株的综合指数远高于其他优株,而 38 号与 47 号植株综合指数为负数,表现较差。

2.5 ‘凤丹’植株分类

依据‘凤丹’植株最终的综合指数、单株结果量和单株籽粒质量进行系统聚类,聚类结果(表 5)分析表明,98 株植株分为 4 大类:

2.5.1 极高产植株 $D_m \geq 1.5$, 包括 83、73、30、69、76、45、51、22、78、87、6 号植株,共计 11 株。其与产量有关的 6 个性状指标平均值分别为单株坐果量

(11.51±2.28)个,单株籽粒数(343.73±65.97)粒,果实直径(97.95±2.96)mm,出仁率 69.78%±1.43%,籽粒体积(100.77±4.31)mm³,单位冠幅面积鲜籽产量(183.23±15.25)g。其中,单株坐果量、出仁率和单位冠幅面积鲜籽产量较整个群体高出了 65.41%、10.76%和 79.84%。

2.5.2 高产植株 $1.5 > D_m \geq 1$ 计 30 株。其与产量有关的 6 个性状指标平均值分别为单株坐果量(7.72±1.18)个,单株籽粒数(231.57±53.51)粒,果实直径(85.23±3.44)mm,出仁率 65.89%±1.82%,籽粒体积(89.38±3.82)mm³,单位冠幅面积鲜籽产量(123.22±16.52)g。其中,单株坐果量、出仁率和单位冠幅面积鲜籽产量较整个群体高出了 42.19%、4.58%和 26.55%。

2.5.3 低产植株 $1 > D_m \geq 0.5$ 计 26 株。其与产量有关的 6 个性状指标平均值分别为单株坐果量(4.46±0.93)个,单株籽粒数(134.19±27.91)粒,果实直径(77.01±3.04)mm,出仁率 62.75%±0.80%,籽粒体积(83.12±2.15)mm³,单位冠幅面积鲜籽产量(92.80±12.54)g。其中,单株坐果量、出仁率和单位冠幅面积鲜籽产量较整个群体下降了 9.26%、0.40%和 9.23%。

2.5.4 极低产植株 $0.5 > D_m$ 计 31 株。其与产量有关的 6 个性状指标平均值分别为单株坐果量(2.23±1.02)个,单株籽粒数(66.74±33.00)粒,果实直径(66.64±4.82)mm,出仁率 58.99%±2.20%,籽粒体积(72.11±5.16)mm³,单位冠幅面积鲜籽产量(54.93±5.62)g。其中,单株坐果量、出仁率和单位冠幅面积鲜籽产量较整个群体下降了 35.09%、6.36%和 46.28%。

对前 2 类 41 株高产优株性状指标分析认为,冠幅伞形,单位冠幅面积(0.81±0.19)m²,单株坐果

表 4 ‘凤丹’植株综合指数排名

Table 4 Overall rankings of *P. ostii* individuals

株号	综合指数	排名	株号	综合指数	排名
83	2.204	1	42	0.821	50
73	2.113	2	60	0.813	51
30	2.105	3	55	0.808	52
69	1.812	4	52	0.778	53
22	1.651	5	79	0.762	54
51	1.625	6	67	0.718	55
76	1.589	7	59	0.715	56
45	1.562	8	56	0.690	57
78	1.522	9	23	0.677	58
87	1.509	10	57	0.669	59
6	1.508	11	32	0.644	60
24	1.485	12	21	0.609	61
40	1.481	13	8	0.608	62
98	1.424	14	4	0.605	63
41	1.382	15	94	0.604	64
89	1.364	16	88	0.589	65
36	1.269	17	50	0.554	66
82	1.268	18	14	0.534	67
81	1.264	19	71	0.506	68
13	1.263	20	7	0.487	69
26	1.253	21	1	0.460	70
11	1.248	22	72	0.449	71
28	1.199	23	64	0.444	72
18	1.193	24	27	0.442	73
54	1.191	25	68	0.439	74
62	1.177	26	43	0.439	75
10	1.169	27	39	0.421	76
34	1.160	28	74	0.406	77
17	1.137	29	16	0.395	78
33	1.135	30	9	0.389	79
15	1.108	31	44	0.383	80
80	1.096	32	12	0.377	81
66	1.092	33	77	0.361	82
91	1.070	34	84	0.349	83
20	1.062	35	65	0.331	84
19	1.053	36	25	0.323	85
37	1.052	37	96	0.295	86
5	1.032	38	58	0.281	87
3	1.028	39	93	0.281	88
48	1.027	40	90	0.272	89
85	1.023	41	46	0.237	90
53	0.974	42	92	0.234	91
29	0.961	43	86	0.230	92
31	0.939	44	49	0.186	93
70	0.899	45	95	0.130	94
75	0.876	46	63	0.115	95
35	0.869	47	97	0.068	96
2	0.837	48	38	−0.020	97
61	0.834	49	47	−0.038	98

量(8.73±2.55)个,单株籽粒数(261.66±75.46)粒,果实直径(88.86±3.34)mm,千粒重(202.72±46.29)g,出仁率0.67±0.02%的单株,属于高产优良型。

表 5 ‘凤丹’植株系统聚类结果

Table 5 Clustering of *P. ostii* individuals

	I	II	III	IV	V
编号	83,73,30	69, 76, 45, 51, 22, 78, 87, 6, 40,24	98, 89, 41, 82, 36, 81, 13, 26, 11, 15, 80, 66, 33, 17, 34, 62, 10, 28, 54, 18, 91, 20, 37, 19, 85, 5, 48,3	31, 53, 29, 70, 75, 35, 42, 60, 55, 61, 2, 79, 52, 32, 56, 57, 23, 67, 59, 88, 21, 8, 94,4	97,63,25, 65,77,84, 93,90,96, 46,49,58, 86,92,7, 14,50,71, 9,16,39, 74,1,12, 44,27,95, 64,72,43, 68,38,47

3 结论与讨论

3.1 ‘凤丹’植株因子分析

油用牡丹作为新兴产业,依托早期药用栽植的基础,在油用牡丹高产品种选育方面的研究不健全,各专家从事的领域和侧重点不同,在评价过程中可能会受到主观因子的干扰。本试验建立了适宜的因子分析法,所选的指标较成功。相较而言,利用多种数学方法对指标参数进行选择是基于当地现状、品种特性以及选优目的而定,使方法更加客观、合理^[19]。

3.2 综合评价和选优标准建立

产量相关性状分析表明各性状在个体间差异性显著,变异丰富^[20],选择范围较大,产量性状间存在相关性,坐果量与果实大小、单株籽粒质量和籽粒体积显著正相关;主成分分析表明,产量因子中,单株干果质量、单株籽粒数、果实直径所占权重值较大,相关性强,在后续的选育丰产品种上应加以重视。聚类分析认为, $D_m \geq 1$ 的植株单株坐果量、出仁率和单位冠幅面积产量高于群体平均值,将此 41 株高产植株列为优株加以保护,为后续高产品种无性系筛选、杂交育种等储备研究材料。田间选优标准以单株坐果量、单果籽粒数、籽粒千粒重 3 个产量决定因素为主^[21],宜选择树势旺盛、分支多、无病虫害的单株建立种子园或母树园。

目前,油用牡丹推广栽培的品种是紫斑牡丹和‘凤丹’,其中‘凤丹’栽培面积广,脂肪酸含量较高,且种类齐全。韩雪源^[22]研究不同产地‘凤丹’牡丹籽油主要脂肪酸成分,表明‘凤丹’牡丹籽油中 5 种主要脂肪酸含量达 77.33~97.38 g·100 g^{−1}粗提油,其中不饱和脂肪酸亚麻酸含量 30.76~38.25 g·100 g^{−1}粗提油,营养价值高。李晓青^[23]等对不同产地‘凤丹’经济性状和脂肪酸成分分析认为,不

同地区凤丹的出仁率、种仁含油率和干籽含油率都无显著性差异,提高产油量的关键是提高牡丹籽粒产量。产量指标的变异系数差异大,各指标易受环境和栽培条件影响^[24],高产优株的稳定性还有待进一步观察。本试验在初选高产‘凤丹’株系的基础上,对栽培条件一致的‘凤丹’产量性状因子分析,了解性状间相关性、权重值,建立综合的选择指标体系,可为油用牡丹高产新品种的选育奠定基础。

参考文献:

[1] 李嘉珏. 中国牡丹起源的研究[J]. 北京林业大学学报,1998,20(2):26-30.
LI J J, Studies on the origin of Chinese mudan (Tree Peony) [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1998, 20(2): 26-30. (in Chinese)

[2] 赵云峰,孙长乐. 油用牡丹栽培技术[J]. 技术与市场,2014(5):391.

[3] 杨娜. 油用牡丹栽培技术及主要病虫害防治措施[J]. 中国园艺文摘,2014(10):225-226.

[4] 张延龙,韩雪源,牛立新,等. 9 种野生牡丹籽油主要脂肪酸成分分析[J]. 中国粮油学报,2015,30(4):72-75.
ZHANG Y L, HAN X Y, NIU L X, *et al.* Analysis of fatty acid in seed oil from nine wild peony species[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(4): 72-75. (in Chinese)

[5] 李晓青,韩继刚,刘焯,等. 不同地区凤丹经济性状及其籽脂肪成分分析[J]. 粮食与油脂,2014,27(4):43-46.
LI X Q, HAN J G, LIU Z, *et al.* Economic characteristics investigation and seed oil fatty acid composition analysis of *paenonia ostii* plants in different areas[J]. Cereals and Oils, 2014, 27(4): 43-46.

[6] 高婷婷. 牡丹籽油成分分析及储藏条件研究[D]. 北京:北京林业大学,2012.

[7] 易军鹏,朱文学,马海乐,等. 牡丹籽油超声辅助提取工艺优化及其 GC-MS 分析[J]. 食品工业科技,2009,(8):198-201.

[8] 史国安,郭香凤,金宝磊,等. 牡丹籽油超临界 CO₂ 萃取工艺优化及抗氧化活性的研究[J]. 中国粮油学报,2013,28(4):47-50.
SHI G A, GUO X F, JIN B L, *et al.* Optimization of supercritical CO₂ extraction and analysis of antioxidation activity of peony seed oil[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(4): 47-50. (in Chinese)

[9] 邵则夏,陆斌,郑子英,徐跃,李顺荣. 云南板栗实生选种[J]. 云南林业科技,1995(4):42-47.

[10] 王黎明,杨善勋,王荣刚,李悦. 孟江油茶初选种质的变异分析与优株的选择[J]. 经济林研究,2014(2):47-52.

[11] 彭邵锋,陆佳,陈永忠,等. 油茶品种资源现状与良种筛选技术[J]. 经济林研究,2012(4):174-179.

[12] 王志广. 蓖麻的田间选种[J]. 新农业,1985(17):23.

[13] 张新恩. 花生的选种与留种[J]. 河北农业科技,2001(9):26.

[14] 张秀玲. 不同选种方法对花生产量的影响[J]. 辽宁农业科学,2010(2):47.

[15] 周鸿凯,何觉民,叶昌辉,等. 基于水稻产量构成性状间相关性

的选种标准数学模型建立[J]. 生物数学学报,2010,25(4):713-722.

ZHOU H K, HE J M, YE C H, *et al.* To establish the mathematical model of selected standard values based on correlations analysis among a few component traits of yield in rice [J]. Journal of Biomathematics, 2010, 25(4): 713-722. (in Chinese)

[16] 周鸿凯,叶昌辉,刘桂富. 甘蔗实生苗的数量性状相关及选种标准的数学模型研究[J]. 生物数学学报,2009,24(1):183-191.
ZHOU H K, YE C H, LIU G F. Correlations analysis among a few quantitative traits of seedlings and the mathematical model of selected standard values in sugarcane[J]. Journal of Biomathematics, 2009, 24(1): 183-191. (in Chinese)

[17] 韩继刚,李晓青,刘焯,胡永红. 牡丹油用价值及其应用前景[J]. 粮食与油脂,2014(5):21-25.

[18] 班汉珍,莫钊志. 龙眼优株选择与优良无性系的选育[J]. 广西林业科学,2001(Supp. 1):20-23.

[19] 马庆华,李永红,梁丽松,等. 冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合评价[J]. 中国农业科学,2010,43(12):2491-2499.
MA Q H, LI Y H, LIANG L S, *et al.* Factor analysis and synthetic evaluation of the fruit quality of dongzao (*Ziziphus jujuba* Mill. ‘Dongzao’) advanced selections[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(12): 2491-2499. (in Chinese)

[20] 李林昊,张延龙,牛立新,等. 秦岭地区‘凤丹’牡丹居群果期相关性状的表型多样性研究[J]. 西北林学院学报,2015,30(4):127-131.
LI L H, ZHANG Y L, NIU L X, *et al.* Phenotypic variations of fruiting-related traits of population in *Paeonia ostii* ‘Feng Dan’ native to Qinling mountains[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(4): 127-131. (in Chinese)

[21] 齐国辉,李保国,郭素萍,等. 黄连木优株果实品质及结实特性研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(2):70-74.
QI G H, LI B G, GUO S P, *et al.* Fruit quality and fruiting characteristics of superior strains of *Pistacia chinensis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(2): 70-74. (in Chinese)

[22] 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.
HAN X Y, ZHANG Y L, NIU L X, *et al.* Fatty acid composition of ‘Fengdan’ Peony seed oils from different growing regions[J]. Food Science, 2014, 35(22): 181-184. (in Chinese)

[23] 李晓青,韩继刚,刘焯,等. 不同地区凤丹经济性状及其籽脂肪成分分析[J]. 粮食与油脂,2014(4):43-46.
LI X J, HAN J G, LIU Z, *et al.* Economic characteristics investigation and seed oil fatty acid composition analysis of *paenonia ostii* plants in different areas[J]. Cereals And Oils, 2014(4): 43-46. (in Chinese)

[24] 林萍,姚小华,曹永庆,等. 油用牡丹‘凤丹’果实性状及其脂肪酸组分的变异分析[J]. 经济林研究,2015(1):67-72.
LIN P, YAO X H, CAO Y Q, *et al.* Variation analysis of fruit characteristics and fatty acid components in *Paeonia ostii* ‘Phoenix White’ [J]. Nonwood Forest Research, 2015(1): 67-72. (in Chinese)