

玫瑰花产量灰色分析、Kriging 插值及选择指数研究

李艳艳, 丰震, 赵兰勇, 莫镇华, 张宝

(山东农业大学林学院, 山东泰安 271018)

摘要: 【目的】探讨玫瑰 (*Rosa rugosa* Thunb.) 高产品种的选育理论与技术。【方法】对 20 个玫瑰品种的 15 个数量性状与单株产花量进行灰色系统分析、Kriging 插值模拟、综合选择指数分析。【结果】单株花数、分枝数、花蕾宽和单花鲜重等 4 个性状与单株产花量的灰色关联度较大 (大于 0.5)。根据单株产花量的 Kriging 插值模拟结果, 单株产花量随单株花数、分枝数的增加而增加, 任何单一因素的变化均不能保证主要目标性状的提高。【结论】提高玫瑰单株产花量的选育方法应该采用多性状综合选择法, 选用单株花数、分枝数、花蕾宽和单花鲜重等 4 个性状, 以关联度为权重建立了单株产花量综合选择指数模型: $I=0.3187x_1-318.6164x_2+670.1262x_4+6.3474x_8$, 指数遗传力=0.8014, 综合育种值选择进展 $\Delta H=245.8811$, 该研究结果对今后玫瑰高产花量品种的选育具有指导意义。

关键词: 玫瑰 (*Rosa rugosa* Thunb.); 灰色关联度; 数量性状; Kriging 插值; 选择指数

The Grey Analysis, Kriging and Selection Index of Flower Yield in Rugosa Rose

LI Yan-yan, FENG Zhen, ZHAO Lan-yong, MO Zhen-hua, ZHANG Bao

(College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong)

Abstract: 【Objective】 Seeking for the theory and techniques of selection breeding of high flower yield rugosa rose cultivars. 【Method】 The analysis of grey system, Kriging interpolation and integration selection index were employed to investigate the relationship between the flower yield per plant and 15 quantitative traits of 20 rugosa rose cultivars. 【Result】 The grey relational grade (GRG) of the flower number per plant, the number of branch, the width of floral bud and the weight of single flower to the flower yield per plant were larger (>0.5). Kriging interpolation simulation was applied to analyze the flower yield per plant. It was found that the value of target trait went up with increase of the number of flower per plant and the number of branch. Moreover, the indirect selection of either trait could not get better improvement of flower yield per plant. 【Conclusion】 It is necessary to improve flower yield per plant by multi-trait selection. The integration selection index equation of flower yield per plant was established with the characters flower number per plant, the number of branch, the width of floral bud and the weight of single flower. $I=0.3187x_1-318.6164x_2+670.1262x_4+6.3474x_8$. Index heritability = 0.8014, selective response of the integration breeding value = 245.8811. Results of this research will provide a theoretic basis for genetic breeding of rugosa rose.

Key words: Rugosa rose; Grey relational grade; Quantitative traits; Kriging interpolation; Selection index

0 引言

【研究意义】玫瑰花 (*Rosa rugosa* Thunb.) 是珍贵的中药材和香料工业、食品工业的重要原料。国外

的最新研究表明玫瑰精油具有抗 HIV^[1]、抗衰老^[2]和舒缓忧虑的作用^[3]。由于玫瑰精油含量低, 并且缺乏天然和合成替代物, 所以玫瑰精油是国际市场上最贵的精油之一^[4], 具有“液体黄金”之美誉, 为鲜花油

收稿日期: 2006-12-29; 接受日期: 2007-06-08

基金项目: 山东省良种产业化资助项目[鲁科农字(2002)228号]

作者简介: 李艳艳(1982-)女, 山东诸城人, 硕士研究生, 研究方向为园林植物遗传育种。E-mail: ylyy8267@163.com。通讯作者丰震(1961-), 男, 山东聊城人, 研究方向为园林植物遗传育种。E-mail: fengzh@sdau.edu.cn

之冠。随着社会经济发展和人们生活水平的提高, 国际国内市场对玫瑰及其产品的需求迅速增加。因此, 提高玫瑰的产花量和玫瑰精油的产率会获得巨大的经济效益。【前人研究进展】近年来, 关于玫瑰的研究主要集中在花的采收时间^[5]、采后生理^[6]、玫瑰精油的提取工艺^[7]、产花量的遗传参数^[8]和品种分类^[9,10]等方面。在数量性状构成单元及其相互关系方面, 一般采用数理统计的方法进行研究, 如果研究的样本群体偏小, 得出的结论在指导杂交及选择育种时常常效果不理想。根据邓聚龙^[11]灰色系统理论, 这些遗传规律复杂的数量性状可称之为信息部分清楚和部分不清楚的灰色系统, 用灰色系统理论提供的灰色关联度分析方法, 能够在一定程度上克服这些局限性, 避免出现量化结果与定性分析结果不相符的现象。该方法已在玉米^[12,13]、小麦^[14,15]、大麦^[16]、大豆^[17]等大田作物上大量应用, 在某些果树^[18,19]、蔬菜^[20]上也有应用。Kriging 插值法由南非地质学家 D. G. krige 提出, 后来法国学者 G. Matheron 引入区域化变量概念^[21], 进一步推广和完善了 Kriging 法, 近年来, 在地质学、地球化学、地球物理学、采矿学、水文地质学、土壤学、环境科学和气象学等有广泛应用^[22]。而在遗传育种领域的应用很少, 仅见 Xue 等^[23]将“克立格”技术应用于人类群体遗传学领域, 构建了人类群体遗传空间结构的“克立格”模型, 并论述了其原理和计算方法。在进行多性状选择时, 需要尽量准确地估计出个体的这些多性

状的一个综合指标, 并依据它进行选种, 以获得最佳效果^[24]。由于不同性状在育种上和经济上的重要性差异, 因而实际的育种目标对各性状的选育提高要求不一致, 即要对性状进行加权^[25]。指数选择^[26,27]的好处是, 把各种因素都考虑到了, 包括经济效果, 因而还是比较全面的。【本研究切入点】提高玫瑰精油产量的育种措施可以从提高产花量和玫瑰精油含量两个方面考虑。而在单株产花量的选育过程中, 要将目标性状分解为便于选择的多个构成性状, 如花朵数量、花瓣数量与鲜重、单花鲜重、花朵大小等, 这些性状为数量性状, 受环境影响大, 遗传规律复杂。但关于玫瑰产花量性状的构成单元、构成性状间的相互关系以及指数选择的研究未见报道。【拟解决的关键问题】在总结前人研究方法的基础上, 将灰色关联分析方法引入到玫瑰育种研究上, 探讨玫瑰单株产花量与构成性状的关系, 通过克立格插值和综合选择指数分析, 为玫瑰的选择育种提供理论依据, 避免各个性状独立选择的盲目性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地设在山东农业大学林学实验站苗圃, 采用随机区组设计, 4 次重复, 每小区 10~12 株, 株行距 1.0 m×1.5 m, 2002 年春季定植, 2006 年 5 月调查。从国内外收集 20 个玫瑰品种 (表 1)。

表 1 玫瑰品种列表

Table 1 A list of names of rose cultivars

编号 Code	品种 Cultivars	编号 Code	品种 Cultivars	编号 Code	品种 Cultivars
1	紫芙蓉 <i>R. rugosa</i> 'Zifurong'	8	朱龙游空 <i>R. rugosa</i> 'Puce Dragon'	15	赛西子 <i>R. rugosa</i> 'Saixizi'
2	素玉 <i>R. rugosa</i> 'Suyu'	9	唐粉 <i>R. rugosa</i> 'Tang Pink'	16	紫云 <i>R. rugosa</i> 'Purple Cloud'
3	紫龙卧池 <i>R. rugosa</i> 'Purple Dragon Lying'	10	朱紫双辉 <i>R. rugosa</i> 'Zhuzishuanghui'	17	暖红 <i>R. rugosa</i> 'Warm Red'
4	紫枝玫瑰 <i>R. rugosa</i> 'Purple Branch'	11	香刺果 <i>R. rugosa</i> 'Xiangciguoguo'	18	紫英缤纷 <i>R. rugosa</i> 'Ziyingbinfen'
5	重瓣玫瑰 <i>R. rugosa</i> cv. 'Plena'	12	锦绣江山 <i>R. rugosa</i> 'Beautiful Homeland'	19	唐白 <i>R. rugosa</i> 'Tang White'
6	唐紫 <i>R. rugosa</i> 'Tang Purple'	13	唐红 <i>R. rugosa</i> 'Tang Red'	20	紫雁 <i>R. rugosa</i> 'Purple Goose'
7	玉盘 <i>R. rugosa</i> 'Jade Plate'	14	西子 <i>R. rugosa</i> 'Xizi'		

1.2 试验方法

每个品种抽取 6 株, 测定株高 (x_5 , cm)、冠幅 (东西 x_6 , 南北 x_7 , cm)、分枝数 (x_8 , 个) 等。在初花期、盛花期和末花期各采 10 个花蕾逐个称量质量 (x_2 , g), 在盛花期每株采集 10 个花蕾, 测量其最

长 (x_3 , cm) 和最宽处 (x_4 , cm), 撕下花瓣测量第 1 个花瓣的长宽 (x_9, x_{10} ; cm), 第 2 个花瓣的长宽 (x_{11}, x_{12} ; cm), 第 3 个花瓣长宽 (x_{13}, x_{14} ; cm), 然后称每个花蕾所有花瓣鲜重 (x_{15} , g)。花蕾的采集方法和发育阶段依据孙守家等^[6], 单株花蕾数 (x_1 ,

个) 为整个花期的所有花蕾, 单株花蕾产量 (y, g) 为单个花蕾鲜重 \times 单株花蕾数, 各性状数据的平均值见表 2。

1.3 数据处理方法

采用唐启义等^[28]DPS7.55 对 16 个主要的数量性状进行灰色关联度分析、Kriging 插值模拟分析和选择指数分析。

2 结果与分析

2.1 各数量性状与单株产花量的灰色关联度分析

表 2 各数量性状的平均值

Table 2 Means of each quantitative trait

编号 Code	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅
1	1158.46	1146.00	1.04	1.68	1.09	61.10	84.67	83.50	33.00	1.72	1.79	1.72	1.75	1.87	1.58	0.52
2	530.72	568.00	0.87	1.33	1.07	123.20	97.33	127.71	31.00	1.44	1.65	1.42	1.64	1.42	1.65	0.54
3	1175.92	2513.00	0.51	2.16	0.98	66.82	110.83	99.35	48.00	2.18	2.13	2.14	2.22	2.11	2.09	0.20
4	1542.63	1371.00	1.04	1.71	1.17	106.83	147.67	128.00	46.00	1.91	2.20	2.14	2.26	1.94	2.18	0.55
5	564.00	836.00	0.70	1.41	0.97	75.01	94.00	87.35	23.00	1.41	1.36	1.36	1.29	1.32	1.33	0.32
6	2992.85	2720.00	1.03	1.75	1.11	76.57	87.99	84.73	44.00	1.75	1.64	1.76	1.62	1.78	1.58	0.48
7	1676.60	1321.00	1.14	1.91	1.11	79.18	85.00	81.57	31.00	1.98	2.04	1.97	2.11	2.17	2.00	0.52
8	4070.06	2663.00	1.59	2.33	1.40	82.30	105.68	97.10	54.00	2.66	2.60	2.65	2.77	2.59	2.73	0.91
9	1378.91	1082.00	1.29	2.11	1.20	76.67	76.50	72.29	22.00	2.13	1.82	2.14	2.06	2.12	1.96	0.59
10	1339.00	1152.00	1.18	1.98	1.22	66.00	74.19	78.32	23.00	2.24	2.22	2.12	2.22	2.12	2.28	0.64
11	625.33	1008.00	0.63	1.33	0.96	78.78	84.19	85.00	39.00	1.18	1.34	1.21	1.26	1.24	1.31	0.30
12	1641.44	1022.00	1.48	2.20	1.26	59.29	63.60	69.08	24.00	2.60	2.72	2.18	2.75	2.33	2.69	0.64
13	331.84	694.00	0.48	1.90	0.96	90.86	115.00	90.14	24.00	1.81	1.90	1.79	1.85	1.83	1.79	0.16
14	1090.14	1067.00	1.02	1.83	1.15	73.58	89.67	63.72	30.00	1.91	1.93	1.89	1.92	1.91	1.97	0.51
15	1925.37	1785.00	1.14	1.97	1.18	73.00	72.00	77.17	40.00	1.94	1.97	2.02	2.05	2.19	2.25	0.50
16	896.21	808.00	1.31	1.87	1.09	62.49	76.50	72.00	33.00	1.73	2.24	1.88	1.72	1.86	1.93	0.67
17	1112.81	436.00	2.55	1.72	1.70	87.50	68.93	65.93	26.00	2.06	2.68	2.02	2.57	2.00	2.52	1.96
18	675.35	660.00	0.94	2.01	1.13	79.65	94.00	85.67	24.00	2.21	2.11	2.20	2.25	2.16	2.27	0.64
19	2514.85	2204.00	1.14	1.75	1.17	63.33	83.00	71.50	36.00	1.89	1.79	1.98	1.85	1.84	1.97	0.51
20	1183.61	1261.00	0.94	2.08	1.12	114.99	89.83	104.00	25.00	2.14	2.25	2.11	2.38	2.17	2.32	0.34

表 3 单株产量与其它性状的关联度矩阵

Table 3 The correlation matrix between the flower yield per plant and other traits

分辨系数 ρ	性状 Traits	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅
0.1	关联度 GRG	0.613	0.503	0.493	0.508	0.474	0.464	0.486	0.518	0.487	0.486	0.461	0.449	0.463	0.435	0.493
	位序 GRR	1	4	5	3	10	11	8	2	7	8	13	14	12	15	6
0.3	关联度 GRG	0.799	0.706	0.704	0.709	0.686	0.685	0.700	0.718	0.702	0.702	0.661	0.661	0.682	0.653	0.703
	位序 GRR	1	4	5	3	10	11	9	2	7	7	13	13	12	15	6
0.5	关联度 GRG	0.855	0.781	0.780	0.792	0.781	0.770	0.763	0.795	0.785	0.790	0.748	0.750	0.768	0.738	0.782
	位序 GRR	1	8	8	3	7	10	12	2	5	4	14	13	11	15	6

ρ =Distinguishing coefficient; GRG=Grey relation grade; GRR=Grey relation rank

对 20 个品种的所有数量性状进行灰色分析, 以不同品种的单株产花量 y 为母序列, 其它 15 个数量性状 (x_i) 为子序列, 采用灰色关联模型进行关联度分析, 得出的 x_i 与单株产花量 y 的关联矩阵见表 3。

分辨系数的作用是为了克服最大绝对差太大引起的失真, 提高关联系数之间的差异显著性。笔者研究了分辨系数分别为 0.1、0.3、0.5 时, 玫瑰产花量性状与其余数量性状间的关联度和关联序的差异 (表 3)。结果表明, 不同的分辨系数, 关联度不同, 关联序也不同。随着分辨系数的增大, 关联度也增大, 反之关

联度也小。分辨系数为 0.1、0.3 时，单株花数、分枝数、花蕾宽、单蕾重、花蕾长的关联序基本不变，分辨系数大于 0.5 后，关联序就会发生很大变化，在进行选择育种时不能很好把握控制主要的相关性状。本试验主要研究分辨系数为 0.1 的情况下，各关联序基本稳定的前提下，各数量性状与单株产花量的关联情况。

根据表 3 的关联度 ($\rho=0.1$) 分析可以看出，各性状对单株产花量的影响依次为：单株花数 (x_1) > 分枝数 (x_8) > 花蕾宽 (x_4) > 单花鲜重 (x_2) > 花蕾长 (x_3) > 单花的花瓣鲜重 (x_{15}) > 第 1 个花瓣长 (x_9) > 第 1 个花瓣宽 (x_{10})，冠幅值 (南北, x_7) > 株高值 (x_5) > 冠幅值 (东西 x_6) > 第 3 个花瓣长 (x_{13}) > 第 2 个花瓣长 (x_{11}) > 第 2 个花瓣宽 (x_{12}) > 第 3 个花瓣宽 (x_{14})。依照关联度分析原则，关联度大的序列与参考序列的关系最为密切，关联度小的序列与参考序列的关系则较远。单株花数与产花量的关联度最大，对单株产花量的影响最大，因而在选择育种时要重点考虑。分枝数次之，花蕾宽再次，而第 2 个花瓣宽，第 3 个花瓣宽对产量的影响则比较小。

2.2 单株产花量的 Kriging 插值模拟

根据各种性状的关联度分析可知，单株产花量并非仅与单株花数具有直接相关性，它与多种性状有关联。根据地统计学^[29,30]思想，选取与单株产花量关联度大的单株花数和分枝数分别作为 x 轴、y 轴，对单株产花量进行 Kriging 插值。

为了验证所选取的变异函数模型的优劣及利用 Kriging 插值时所做的假设是否合理，可以利用交叉验证法 (cross validation) 来进行验证。本试验经交叉验证符合球面模型理论，因而采用 Kriging 球面模型，球面模型变异函数：

$$r(h) = C_0 + C \left\{ 3h/2a - \frac{(h/a)^3}{2} \right\}$$

($0 < h \leq a$)， $r(h) = C_0 + C$ ($h > a$)， $r(h) = 0$ ($h = 0$)， a 是变程， h 是采样间隔， C_0 是核方差， $C_0 + C$ 是梁，用加权的非线性最小二乘法 (麦夸特法) 进行估计，模型的参数：估值所用的信息点数：8，估值行数：10，估值列数：30，修改参数： (a, C, C_0) 对应为 (1.37, 1435.83, 2322.89)、(1.06, 1435.83, 2322.89)，对单株产花量进行插值，插值结果见图 1 所示。

由插值的结果看出，随着单株花数和分枝数的增大，单株产花量也随着增大，表明到目前为止常见的品种在正常栽培条件下，单株花数、分枝数和单株产花量之间的关系是一种正向关联，但是在所有参试品

图 1 单株花数和分枝数对单株产花量的影响

Fig. 1 The effect of the number of flower per plant and the number of branch on the yield per plant

种中，没有达到最高单株产花量的品种，说明还有提高单株产花量的潜力，可以通过提高单株花数和分枝数来进一步提高单株产花量。

Kriging 插值模拟的精度较生物统计中的单因素或多因素回归模拟也更直观精确^[11]。由图 1 还可以看出，单株产花量是受单株花数和分枝数共同影响的，任何单一因素的变化均不能保证主要目标性状的提高，所以，玫瑰高产花量品种的选育方法应该是多性状综合选择法。

2.3 综合选择指数

在进行多性状选择时，由于不同性状在育种上和经济上的重要性不同，因而实际的育种目标对各性状的选育要求不一致，即要对性状进行加权。指数选择^[26,27]的好处是，把各种因素都考虑到了，包括经济效益，因而是比较全面的；同时选择也比较简单，因为它一次就完成，而且从指数的角度看，也是截断型的。本研究用关联度作为性状的权重，选择关联度大于 0.5 的分枝数、单株花数、花蕾宽和单花鲜重构成单株产花量的选择指数进行综合指数选择分析 (表 4)。

运行 DPS 软件得出的综合选择指数为 $I = 0.3187x_1 - 318.6164x_2 + 670.1262x_4 + 6.3474x_8$ ，综合选择指数估计的准确度 = 0.8871，综合育种值选择进展 $\Delta H = 245.8811$ ，指数遗传力 = 0.8014，各个性状育种值选择进展 $\Delta x_1 = 466.4656$ ， $\Delta x_2 = -0.0338$ ， $\Delta x_4 = -0.0099$ ， $\Delta x_8 = 6.9720$ ，综合指数与单株产花量的相关系数 = 0.832。

表 4 单株花数、单花鲜重、分枝数和花蕾宽参数表

Table 4 The parameters of the flower number /plant, the weight of single flower, the number of branch and the width of floral bud

性状 Traits	均值 Mean	权重 W Weight	遗传力 H^2 Heritability	方差 Variance	x_1	x_2	x_4	x_8
x_1	1296.5	0.518	0.7443	372689.7	-	0.104	0.12	0.695
x_2	1.0852	0.503	0.944	0.2116	-0.004	-	0.966	0.067
x_4	1.1534	0.508	0.9253	0.035	0.037	1.005	-	0.044
x_8	32.95	0.613	0.8028	94.9974	0.777	-0.006	-0.007	-

横行的 x_1 、 x_2 、 x_4 、 x_8 对应的数据: 对角线上方为表型相关系数, 下方为遗传相关系数

The data above diagonal is phenotypic correlative coefficients; below diagonal is genetic correlative coefficients

根据综合选择指数公式计算所有参试品种的综合选择指数 I 值, I 与实际单株产花量的关系见图 2。

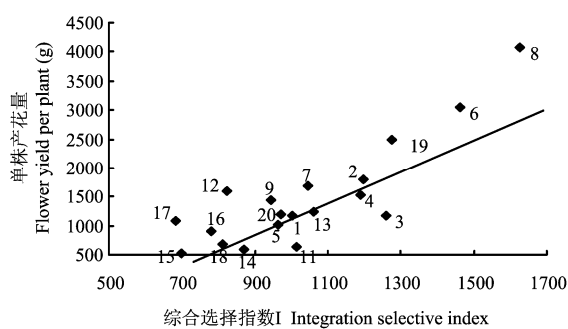


图 2 单株产花量与综合选择指数的关系

Fig. 2 The relation between flower yield per plant and integration selective index

由图 2 可以看出,总的趋势是综合指数高的品种,其实际的单株产花量也是比较高的,说明综合选择指数 I 可以用于高产花量玫瑰的选育。参试品种中,综合选择指数比较大的朱龙游空、唐紫、唐白等,它们的单株产花量也是相对比较高,而素玉、暖红、紫云、紫英缤纷等的综合选择指数小,其单株产花量也低。 ΔH 、 Δx_1 、 Δx_8 为正值,表示采用综合指数选择可以提高综合育种值,同时单株花数和分枝数也明显增加; $\Delta x_2 = -0.0338$, $\Delta x_4 = -0.0099$, 表示单花鲜重和花蕾宽有微弱降低,这是因为单株花数 (x_1) 与单花鲜重 (x_2)、分枝数 (x_8) 与花蕾宽 (x_4) 之间具有负的遗传相关系数 (表 4), 这进一步说明高产花量玫瑰选育过程中,不宜采用分别考虑各个性状的独立标准法。

3 讨论

近年来,灰色系统理论在作物遗传育种中被逐步应用,使人们在分析关键因子时得到全面的、足够的

信息^[31]。在产量与数量性状的关系方面,得到的结果基本上与数理统计结果类似。本试验结果表明,分辨系数为 0.1 时,单株花数、分枝数、花蕾宽和单花鲜重对单株产花量的影响比较大,在进行高产花量玫瑰育种时要重点选择这几个性状。

比较不同分辨系数时,产花量与其它数量性状间的关联度的差异表明,分辨系数为 0.1 和 0.3 时的关联度比较接近,同时分辨系数为 0.1 时更符合实际育种情况,即单株产花量的大小与单株花数和分枝数关系比较密切,说明灰色关联分析在应用于玫瑰花数量性状选择时,分辨系数为 0.1 时较为理想。

本文对 Kriging 插值法在植物育种领域的应用进行了初步尝试。结果表明, Kriging 插值法能够以有限的数量性状数值点,对目前达到的单株产花量进行较为准确的估算,从而制作基于目前能够达到的区域范围的预测表面,并能清楚地揭示单株产花量的水平及其空间分布,有助于了解单株花数和分枝数对目标性状单株产花量的影响趋势。

综合选择指数为预测不同品种的玫瑰产花量提供了准确的数学模型,同时又可以利用综合选择指数指导今后杂种后代和自由授粉子代的选择等,它的应用为玫瑰选择育种提供了更好的理论依据,有助于合理的制定玫瑰选择育种策略。

4 结论

根据关联度的大小,单株花数、分枝数、花蕾宽和单花鲜重 4 个性状对玫瑰单株产花量影响比较大。Kriging 插值模拟表明,提高玫瑰单株产花量的选择育种方法应该采用多性状综合选择法,选用单株花数、分枝数、花蕾宽和单花鲜重 4 个性状,以关联度为权重建立的玫瑰单株产花量的综合选择指数方程为: $I = 0.3187x_1 - 318.6164x_2 + 670.1262x_4 + 6.3474x_8$, 指数遗传力 = 0.8014, 综合育种值选择进展 $\Delta H = 245.8811$ 。在

本试验中,综合指数选择比较大的品种为(由大到小):唐紫、朱龙游空、唐白、紫龙卧池、素玉、紫枝玫瑰、唐红、玉盘、香刺果、紫芙蓉等。

References

- [1] Mahmood N, Piacente S, Pizza C, Burke A, Khan A I, Hay A J. The Anti-HIV activity and mechanisms of action of pure compounds isolated from *Rosa damascena*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 1996, 229 (1): 73-79.
- [2] Franco D, Pinelo M, Sineiro J, Núñez M J. Processing of *Rosa rubiginosa*: Extraction of oil and antioxidant substances. *Bioresource Technology*, 2007, 98: 3506-3512.
- [3] Umezu T, Ito H, Nagano K, Yamakoshi M, Oouchi H, Sakaniwa M, Morita M. Anticonflict effects of rose oil and identification of its active constituents. *Life Sciences*, 2002, 72: 91-102.
- [4] Baydar Hasan, Baydar N G. The effects of harvest date, fermentation duration and Tween 20 treatment on essential oil content and composition of industrial oil rose (*Rosa damascena* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 2005, 21: 251-255.
- [5] 马希汉,王永红,尉 芹,张广军. 玫瑰花精油含量的动态变化. 林业科学, 2006, 42(3): 77-80.
Ma X H, Wang Y H, Wei Q, Zhang G J. Dynamic changes of essential oil from oil-bearing rose. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(3): 77-80. (in Chinese)
- [6] 孙守家, 赵兰勇, 于守超, 仇兰芬, 赵汝侍. 平阴玫瑰鲜花花蕾采后衰老生理机制研究. 林业科学, 2004, 40(5): 79-83.
Sun S J, Zhao L Y, Yu S C, Qiu L F, Zhao R S. Study on the physiological mechanism of postharvest senescence in flower buds of *Rosa rugosa* cultivars in Pingyin County. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(5): 79-83. (in Chinese)
- [7] 张 睿, 魏安智, 杨途熙, 撒文清, 杨 恒, 杜保国. 秦渭玫瑰精油提取工艺研究. 林业科学, 2005, 41(4): 216-218.
Zhang R, Wei A Z, Yang T X, Sa W Q, Yang H, Du B G. Research on technic of rose Otto production from Qinwei rose. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(4) :216-218. (in Chinese)
- [8] 李艳艳, 丰 震, 赵兰勇, 戴庆敏, 张 宝, 张照坤. 玫瑰切花产量性状遗传参数和选择效率的初步研究. 园艺学报, 2007, 34(4):955-958.
Li Y Y, Feng Z, Zhao L Y, Dai Q M, Zhang B, Zhang Z K. A preliminary study on genetic parameters and selection efficiency of yield traits of fresh floral bud in *Rosa rugosa*. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(4):955-958. (in Chinese)
- [9] 王文莉, 赵兰勇, 丰 震, 朱西存, 张友朋, 王延龄. 平阴玫瑰花粉显微形态及品种分类研究. 园艺学报, 2005, 32(3): 527-530.
Wang W L, Zhao L Y, Feng Z, Zhu X C, Zhang Y P, Wang Y L. Studies on pollen submicroscopic morphology and cultivars classification in Pingyin rose. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(3): 527-530. (in Chinese)
- [10] 于守超, 丰 震, 赵兰勇. 平阴玫瑰品种数量分类研究的探讨. 园艺学报. 2005, 32(2): 327-329.
Yu S C, Feng Z, Zhao L Y. Research on quantitative taxonomy of cultivars in Pingyin rose. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(2): 327-329. (in Chinese)
- [11] 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990: 33-85.
Deng J L. *Academic Tutorial of Grey System*. Wuhan: Science and Engineering University of Central China Press, 1990: 33-85. (in Chinese)
- [12] 岳含云. 灰色关联度分析在作物性状分析上的应用. 农业系统科学与综合研究, 2000, 16(4): 296-298, 302.
Yue H Y. Application of grey correlative degree in crop traits analysis. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2000, 16(4): 296-298, 302. (in Chinese)
- [13] 王立秋. 北方早熟玉米9个主要性状间的灰色关联度分析. 玉米科学, 2001, 9(2): 44-46.
Wang L Q. Analysis of grey related degree among nine main characters of the north early-maturing corn. *Journal of Maize Sciences*, 2001, 9(2): 44-46. (in Chinese)
- [14] 张清海, 张桂兰, 刘万代, 王喜安, 黄忠奇. “九五”期间黄淮南片小麦冬水组参试品种主要性状的灰色关联度分析. 中国农学通报, 2002, 18(3): 40-42, 54.
Zhang Q H, Zhang G L, Liu W D, Wang X A, Huang Z Q. Grey relational analysis on key characteristics of the tested wheat varieties from 1995 to 2000 in the South of Yellow River and Huai River Valley. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2002, 18(3): 40-42, 54. (in Chinese)
- [15] 周晓果, 张正斌, 徐 萍. 小麦主要育种目标的灰色系统方法探讨. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(2): 81-84.
Zhou X G, Zhang Z B, Xu P. Discussion on main breeding goals in wheat based on grey systems method. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2005, 21(2): 81-84. (in Chinese)
- [16] 王 莹, 黄中文, 刘 芳. 二棱啤酒大麦杂种一代及其亲本主要性状的灰色系统分析. 西北植物学报, 2002, 22(1): 104-111.
Wang Y, Huang Z W, Liu F. Gray system analysis of main characters in parents and hybrids of two-row hulled malting barley. *Acta*

- Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2002, 22(1): 104-111. (in Chinese)
- [17] 张 君, 王丕武, 杨伟光, 张 恺. 大豆主要性状间的灰色关联度分析. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(1): 1-3.
Zhang J, Wang P W, Yang W G, Zhang K. Analysis of grey correlative grade among main characters of soybean. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2004, 35(1): 1-3. (in Chinese)
- [18] 弓成林, 郭爱民, 汪小伟, 李 骏, 蔡智勇. 灰色关联度和层次分析法在葡萄品质评价上的应用. 西南农业学报, 2002, 15(1): 79-82.
Gong C L, Guo A M, Wang X W, Li J, Cai Z Y. Integrated evaluation of grape quality by the method of gray related degree analysis and analytic hierarchy process. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2002, 15(1): 79-82. (in Chinese)
- [19] Chen H H, Tsai P J, Chen S H, Su Y M, Chang C C, Huang T C. Grey relational analysis of dried roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Food Processing & Preservation*, 2005, 29(3-4): 228-245.
- [20] 向长萍, 谢 军, 周 逊, 汪李平. 灰色系统理论应用于苦瓜主要品种的评估. 园艺学报, 2001, 28(6): 567-569.
Xiang C P, Xie J, Zhou X, Wang L P. The application of the gray system theory on the comprehensive evaluation on of the main characteristics of balsampears. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28(6): 567-569. (in Chinese)
- [21] 刘 峰. 应用 Kriging 算法实现气象资料空间内插. 气象科技, 2004, 32(2): 111-115.
Liu F. Application of Kriging Algorithm to spatial interpolation of weather data. *Meteorological Science and Technology*, 2004, 32(2): 111-115. (in Chinese)
- [22] 侯景儒, 尹镇南. 实用地质统计学. 北京: 地质出版社, 1998.
Hou J R, Yin Z N. *Practical Geostatistics*. Beijing: Geological Press, 1998. (in Chinese)
- [23] Xue F Z, Wang J Z, Hu P, Li G R. The "Kriging" model of spatial genetic structure in human population genetics. *Acta Genetica Sinica*, 2005, 32(3): 219-233.
- [24] Ndoumbé M, Bieysse D, Cilas C. Multi-trait selection in a diallel crossing scheme of cocoa. *Plant Breeding*, 2001, 120: 365-367.
- [25] Geidel H, Weber W E, Mechelke W, Haufe W. Selection for sugar yield in sugar beet, *Beta vulgaris*, using different selection indices. *Plant Breeding*, 2000, 119: 188-190.
- [26] Chandra S, Nigam S N, Cruickshank A W, Bandyopadhyaya A, Harikrishna S. Selection index for identifying high-yielding groundnut genotypes in irrigated and rainfed environments. *Annals of Applied Biology*, 2003, 143: 303-310.
- [27] Utz H F, Melchinger A E, Seitz G. Economic aspects of breeding for yield and quality traits in forage maize. II. Derivation and evaluation of selection indices. *Plant Breeding*, 1994: 110-119.
- [28] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2006, (9): 907-915.
Tang Q Y, Feng M G. *DPS Data Processing System*. Beijing: Science Press, 2006, (9): 907-915. (in Chinese)
- [29] Haining R. *Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Sciences*. Great Britain: Cambridge University Press, 1993.
- [30] Mark D M. Some problems with the use of regression analysis in geography. In: Gaile G L. *Spatial Statistics and Models*. Netherlands: Dreidel Publishing Company, 1984: 191-199.
- [31] 刘贤谦, 师光禄, 张厉燕. 应用灰色关联度分析关键因子的研究. 林业科学, 1996, 32(5): 447-453.
Liu X Q, Shi G L, Zhang L Y. The use of grey sequence for the identification of key factors from life table data of insects. *Scientia Silvae Sinicae*, 1996, 32(5): 447-453. (in Chinese)