

对‘长富2号’苹果授粉后11个海棠品种 花粉直感效应的综合评价

王延秀, 陈佰鸿^①, 王淑华, 胡紫璟, 魏晓燕, 党兆霞

(甘肃农业大学园艺学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:以11个海棠(*Malus* spp.)品种的花粉为材料、‘新红星’苹果(*Malus pumila* ‘Starkrimson’)花粉为对照,对‘长富2号’苹果(*M. pumila* ‘Changfu 2’)进行人工授粉并测定其坐果率及14个果实品质指标;在此基础上,采用因子分析法确定影响苹果授粉后花粉直感效应评价的主要因子,并对供试海棠品种的花粉直感效应进行综合评价和排序。结果表明:除海棠品种‘雪倩’(‘Xueqian’)外,用其他海棠品种授粉后‘长富2号’苹果的坐果率均显著提高,其中用品种‘红波’(‘Hongbo’)授粉后‘长富2号’苹果的坐果率最高(达86.18%);经11个海棠品种授粉后‘长富2号’苹果的坐果率以及果实的果形指数、单果质量和可滴定酸含量均高于对照(用‘新红星’苹果授粉);经大部分海棠品种授粉后‘长富2号’苹果果实的果棱数、果梗存留率、梗洼深度、梗洼开裂率、V_c含量和花青苷含量也均高于对照,但果实的着色面积百分率、果肉硬度、可溶性固形物含量、可溶性糖含量及糖酸比则低于对照。因子分析结果表明:前7个公因子的特征值均大于1,累计方差贡献率达88.187%,按照在授粉性能质量评价中的作用从大到小依次排序为果实甜度因子(包括可溶性固形物含量和可溶性糖含量)、果实酸度因子(包括可滴定酸含量和糖酸比)、果个与果形因子(包括单果质量、梗洼深度和果形指数)、果梗因子(包括梗洼开裂率和果梗存留率)、果肉硬度因子、保健与外形因子(包括花青苷含量、V_c含量、果棱数和着色面积百分率)及坐果率因子。综合评价结果表明:在供试的11个海棠品种中,仅品种‘红艳’(‘Hongyan’)、‘红亮’(‘Hongliang’)和‘红纱’(‘Hongsha’)的花粉直感效应综合得分高于‘新红星’苹果,表明这3个海棠品种的花粉直感效应优良,可作为‘长富2号’苹果的授粉树。

关键词:海棠;‘长富2号’苹果;花粉直感效应;因子分析;综合评价

中图分类号: Q94-332; S661.1.01 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2014)04-0083-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2014.04.12

Comprehensive evaluation on pollen xenia effect of eleven cultivars of *Malus* spp. after pollinated to *Malus pumila* ‘Changfu 2’ WANG Yanxiu, CHEN Baihong^①, WANG Shuhua, HU Zijing, WEI Xiaoyan, DANG Zhaoxia (College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2014, 23(4): 83-89

Abstract: Taking pollen of eleven cultivars of *Malus* spp. as materials and pollen of *Malus pumila* ‘Starkrimson’ as the control, *M. pumila* ‘Changfu 2’ was pollinated artificially and its fruit setting rate and fourteen fruit quality indexes were measured. On this basis, main factors affecting pollen xenia effect of *M. pumila* pollinated were confirmed by factor analysis method, and pollen xenia effect of cultivars of *Malus* spp. tested was comprehensively evaluated and ordered. The results show that except cultivar ‘Xueqian’, fruit setting rate of *M. pumila* ‘Changfu 2’ pollinated by other cultivars of *Malus* spp. increases significantly, in which, that pollinated by cultivar ‘Hongbo’ is the highest with a percentage of 86.18%. After pollinated by eleven cultivars of *Malus* spp., fruit setting rate, fruit shape index, weight per fruit and titratable acid content of *M. pumila* ‘Changfu 2’ all are higher than those of the control (pollinated by *M. pumila* ‘Starkrimson’). After pollinated by most cultivars of *Malus* spp., number of

收稿日期: 2014-04-04

基金项目: 甘肃省高校科研基本业务费项目(035-041032); 甘肃省科技攻关项目(039-034049)

作者简介: 王延秀(1976—),女,甘肃靖远人,博士,副教授,主要研究方向为果树栽培生理及技术。

^①通信作者 E-mail: bhch@gsau.edu.cn

fruit rib, retention rate of fruit rib, depth of stalk cavity, cracking rate of stalk cavity and contents of V_C and anthocyanin of *M. pumila* 'Changfu 2' are also higher than those of the control, but fruit coloring area percentage, flesh firmness, soluble solid content, soluble sugar content and ratio of soluble sugar content to titratable acid content are lower than those of the control. The result of factor analysis shows that eigenvalue of the first seven common factors is higher than 1, their accumulative variance contribution rate is 88.187%. According to function in evaluation of pollination quality, the order from big to small is fruit sweet factor (including contents of soluble solid and soluble sugar), fruit acidity factor (including titratable acid content and ratio of soluble sugar content to titratable acid content), fruit size and fruit shape factor (including weight per fruit, depth of stalk cavity and fruit shape index), fruit rib factor (including cracking rate of stalk cavity and retention rate of fruit rib), flesh firmness factor, health and appearance factor (including anthocyanin content, V_C content, number of fruit rib and percentage of coloring area) and fruit setting rate factor. The comprehensive evaluation result shows that among eleven cultivars of *Malus* spp. tested, comprehensive score of pollen xenia effect of only cultivars 'Hongyan', 'Hongliang' and 'Hongsha' is higher than that of *M. pumila* 'Starkrimson', indicating that pollen xenia effect of these three cultivars of *Malus* spp. is excellent, and they can be used as pollinizer of *M. pumila* 'Changfu 2'.

Key words: *Malus* spp.; *Malus pumila* 'Changfu 2'; pollen xenia effect; factor analysis; comprehensive evaluation

苹果(*Malus pumila* Mill.)是中国栽培面积最大的果树,而以‘长富2号’(‘Changfu 2’)为主的富士系列苹果则是国内苹果栽培的主要品系^[1]。苹果属于配子体自交不亲和果树,在栽培时必须合理搭配授粉树才能丰产^[2-3]。在富士苹果的生产过程中,由于授粉树配置不当引起的坐果率低、偏斜果率高、产量低、品质差等问题严重影响其产业经济效益的提升^[4]。观赏海棠(*Malus* spp.)是从蔷薇科(Rosaceae)苹果属(*Malus* Mill.)植物中人工选择培育出的一系列海棠品种的总称^[5],在国外常被作为苹果种植园的授粉树进行配置和栽培^[6-7]。研究表明:异花授粉植物的花粉直感效应不仅影响母本的坐果率,而且影响其果实的形状、成熟期、大小、颜色、风味及内在成分等综合品质^[8]。然而,目前有关苹果授粉树的研究则主要集中于不同栽培品种之间授粉对苹果坐果率、果实内在品质及外观品质的单因子分析^[9-10],而从坐果率、果实外观品质和内在品质等多个层面对授粉树的花粉直感效应进行综合分析以及建立适宜的评价方法等方面的研究鲜见报道。因此,建立一套合理、适宜的花粉直感效应综合分析与评价方法,是应用海棠作为苹果授粉树的前提条件。

主成分分析和因子分析是多指标综合评价中常用的多元统计方法^[1,11-12],如:徐吉花等^[1]对‘新红星’(‘Starkrimson’)、‘秦冠’(‘Qinguan’)和‘红玉’(‘Hongyu’)等10个苹果品种的15个品质指标进行了主成分分析及聚类分析,并进行了综合评价;马庆

华等^[11]采用因子分析法对‘冬枣’(*Zizyphus jujube* ‘Dongzao’)果实品质进行了分析和综合评价;鲍江峰等^[12]则对‘纽荷尔’脐橙(*Citrus sinensis* ‘Newhall’)的果实品质进行了主成分分析和聚类分析。

为建立有效的苹果花粉直感效应评价方法,作者运用因子分析法对11个海棠品种授粉后‘长富2号’苹果的坐果率及14个果实品质指标进行了检测和综合评价,并据此筛选出适宜于富士苹果授粉的具有优良花粉直感效应的海棠品种。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的11个海棠品种的花粉于2012年4月10日采自山东农业大学曲阜观赏果树种质资源圃,分别为‘红双’(‘Hongshuang’)、‘红粉’(‘Hongfen’)、‘红纱’(‘Hongsha’)、‘红波’(‘Hongbo’)、‘红艳’(‘Hongyan’)、‘红亮’(‘Hongliang’)、‘道格’(‘Dorge’)、‘雪球’(‘Snowdrift’)、‘雪莱’(‘Xuelai’)、‘雪开’(‘Xuekai’)及‘雪倩’(‘Xueqian’)。在铃铛花期采摘各品种的花朵,即时剥离花药并于室温下阴干后置于4℃冰箱中保存、待用。以苹果品种‘新红星’的花粉作为对照(CK)。

实验在甘肃省西峰市彭原镇周寨村果园中进行,实验地年均降雨量527 mm,年均气温8.5℃,无霜期197 d,年日照时数约2 500 h。以肥力条件和管理水

平中等、八棱海棠为砧木嫁接,株距3 m、行距4 m的12年生‘长富2号’苹果植株为母本进行授粉。

1.2 方法

1.2.1 授粉方法 选取60株花量和长势基本一致的‘长富2号’植株,采用间距留果法^[13],每20 cm留1个花序,其余花序全部疏除。于2012年4月21日选取供试植株上处于大铃铛期的花朵,人工去雄疏边花后,选树冠外围中部短果枝花序上的50朵中心花,人工点授11个供试海棠品种及‘新红星’苹果的花粉。以单株为1个小区,每个海棠品种和对照各授粉5株树,视为5次重复。授粉后用果袋套住花朵,7 d后摘除果袋。

1.2.2 果实指标的测定方法 于2012年5月29日统计授粉花朵的果实数并计算坐果率,坐果率=(授粉花朵的果实数/授粉花朵数)×100%,统计后重新套上新果袋;同年10月5日,在样株上按东、西、南、北4个方位进行果实取样,各方向均随机采集10个果实用于各项指标测定。其中,单果质量用电子天平直接测定;用游标卡尺测定果实的纵径和横径,并按照公式“果形指数=果实纵径/果实横径”计算果形指数;采用肉眼观测法估算所有待测果实的着色面积,并按照公式“着色面积百分率=(果实着色面积/单果总面积)×100%”计算果实的着色面积百分率;统计萼洼处高度大于0.5 cm的果棱数目,即为果棱数;统计具有果梗的果实数量,并按照公式“果梗存留率=(具果梗的果实数/果实总数)×100%”计算果梗存留率;统计梗洼开裂的果实数量,并按照公式“梗洼开裂率=(梗洼开裂的果实数/果实总数)×100%”计算梗洼开裂率;用游标卡尺直接测定梗洼深度;用GY-4型数显果实硬度计(杭州托普仪器有限公司)测量果肉硬度;用PAL-1型手持糖度仪(日本ATAGO公司)测定可溶性固形物含量;采用苯酚-硫酸法^[14]测定可溶性糖含量;采用NaOH中和滴定法^[15]测定可滴定酸含量;根据可溶性糖含量和可滴定酸含量,按照公式“糖酸比=可溶性糖含量/可滴定酸含量”计算糖酸比;采用钼蓝比色法^[16]测定V_C含量;采用乙醇溶剂提取法^[17]提取并测定花青苷含量。可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、V_C及花青苷含量均重复测定3次,其余指标均对单果逐一测定。

1.3 数据转化与统计分析

参照文献[11],采用隶属函数法对数据进行标准化转化,依据公式“ $U_{in} = (X_{in} - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin})$ ”对

正相关指标(包括坐果率、果形指数、果棱数、单果质量、着色面积百分率、果肉硬度、可溶性糖含量、可溶性固形物含量、糖酸比、果梗存留率、V_C含量及花青苷含量)进行转化,依据公式“ $U'_{in} = 1 - (X_{in} - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin})$ ”对负相关指标(包括可滴定酸含量、梗洼深度及梗洼开裂率)进行转化。

用SPSS 13.0统计分析软件进行因子分析,并获得各品种的公因子分值 F_{jn} 。各品种综合分值 D_n 的计算以特征根大于1所对应公因子的贡献率 E_j 为权重,采用公式“ $D_n = \sum_{j=1}^m F_{jn} \times E_j$ ”进行计算。

上述公式中, U_{in} 和 U'_{in} 分别指第 n 个品种第 i 个指标的原始数据经转化后的隶属函数值; X_{in} 指第 n 个品种第 i 个指标的原始测定结果; X_{imax} 和 X_{imin} 分别指品种中第 i 个指标的最大值和最小值; D_n 为通过因子分析法得到的第 n 个品种果实品质的综合分值; F_{jn} 为第 n 个品种第 j 个特征根大于1的公因子分值; m 为特征根大于1的公因子数; E_j 为第 j 个公因子的方差贡献率。

2 结果和分析

2.1 经不同海棠品种授粉后‘长富2号’苹果的坐果率及果实品质特性的比较

经11个海棠品种及‘新红星’苹果授粉后‘长富2号’苹果的坐果率及果实内外品质指标的测定结果见表1和表2。

从表1和表2可以看出:经不同海棠品种授粉后,‘长富2号’苹果的可滴定酸含量差异不显著,其余14个果实品质指标均存在明显差异。其中,经11个海棠品种授粉后‘长富2号’苹果的坐果率、果形指数、单果质量及可滴定酸含量均高于用‘新红星’苹果授粉后的果实(对照);经大部分海棠品种授粉后‘长富2号’苹果果实的果棱数、果梗存留率、梗洼深度、梗洼开裂率、V_C含量和花青苷含量均高于对照,但果实的着色面积百分率、果肉硬度、可溶性固形物含量、可溶性糖含量及糖酸比则低于对照。说明对‘长富2号’苹果而言,不同品种海棠花粉直感效应的各项指标有明显差异,且所有指标的排序无明显的规律性。因此,有必要对经不同海棠品种授粉后‘长富2号’苹果的15项果实品质指标进行综合分析,才能客观评价不同海棠品种的花粉直感效应。

表1 经不同海棠品种授粉后‘长富2号’苹果的坐果率及果实外部品质指标的比较¹⁾Table 1 Comparison on fruit setting rate and fruit external quality indexes of *Malus pumila* ‘Changfu 2’ pollinated by different cultivars of *Malus* spp.¹⁾

授粉品种 Pollination cultivar	FSR/%	果实外部品质指标的平均值 Average of fruit external quality index							
		FSI	WPF/g	PCA/%	NFR	RRFR/%	DSC/mm	CRSC/%	FF/kg·cm ⁻²
苹果‘新红星’ <i>M. pumila</i> ‘Starkrimson’ (CK)	46.55e	0.92f	182.18d	51.67b	3.9c	73.33d	14.30cd	6.67c	9.92a
海棠‘红双’ <i>Malus</i> ‘Hongshuang’	58.76cd	0.96bc	223.90ab	38.67c	3.9c	86.67c	16.81bc	6.67c	9.50ab
海棠‘红粉’ <i>Malus</i> ‘Hongfen’	51.91d	0.95de	200.13c	33.67c	5.3a	93.33b	16.34bc	0.00d	9.37ab
海棠‘红纱’ <i>Malus</i> ‘Hongsha’	52.18d	0.95de	227.82a	55.33b	4.3b	80.00c	18.26a	0.00d	9.28ab
海棠‘红波’ <i>Malus</i> ‘Hongbo’	86.18a	0.96bc	233.87a	41.33c	3.4cd	100.00a	16.27bc	20.00b	8.96b
海棠‘红艳’ <i>Malus</i> ‘Hongyan’	73.65ab	0.98a	228.92a	43.33c	3.1d	80.00c	15.89bc	20.00b	10.62a
海棠‘红亮’ <i>Malus</i> ‘Hongliang’	69.86bc	0.94ef	209.23bc	24.67c	5.0ab	100.00a	17.42a	6.67c	9.06ab
海棠‘道格’ <i>Malus</i> ‘Dorge’	72.32b	1.02a	201.73c	34.00c	3.7cd	100.00a	13.94d	33.33a	9.36ab
海棠‘雪球’ <i>Malus</i> ‘Snowdrift’	71.20b	0.99ab	193.75cd	39.67c	3.6cd	100.00a	15.83bc	20.00b	8.98b
海棠‘雪莱’ <i>Malus</i> ‘Xuelai’	70.36b	0.98ab	192.33cd	89.93a	4.1bc	100.00a	15.79bc	6.67c	9.10ab
海棠‘雪开’ <i>Malus</i> ‘Xuekai’	61.52bc	0.99ab	238.18a	38.00c	4.1bc	26.67e	19.46a	33.33a	10.25a
海棠‘雪倩’ <i>Malus</i> ‘Xueqian’	48.36de	1.01a	203.12c	58.67b	3.8cd	100.00a	16.07bc	20.00b	9.15ab

¹⁾ FSR: 坐果率 Fruit setting rate; FSI: 果形指数 Fruit shape index; WPF: 单果质量 Weight per fruit; PCA: 着色面积百分率 Percentage of coloring area; NFR: 果棱数 Number of fruit rib; RRFR: 果梗存留率 Retention rate of fruit rib; DSC: 梗洼深度 Depth of stalk cavity; CRSC: 梗洼开裂率 Cracking rate of stalk cavity; FF: 果肉硬度 Flesh firmness. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

表2 经不同海棠品种授粉后‘长富2号’苹果果实内部品质指标的比较¹⁾Table 2 Comparison on fruit internal quality indexes of *Malus pumila* ‘Changfu 2’ pollinated by different cultivars of *Malus* spp.¹⁾

授粉品种 Pollination cultivar	果实内部品质指标的平均值 Average of fruit internal quality index					
	w1/%	w2/%	w3/%	R	w4/%	w5/mg·g ⁻¹
苹果‘新红星’ <i>M. pumila</i> ‘Starkrimson’ (CK)	14.13ab	9.56a	0.24a	37.73a	8.90c	12.37c
海棠‘红双’ <i>Malus</i> ‘Hongshuang’	12.27e	9.01b	0.29a	32.52c	10.84a	24.03a
海棠‘红粉’ <i>Malus</i> ‘Hongfen’	13.50abe	9.55a	0.27a	35.79b	10.09ab	9.77c
海棠‘红纱’ <i>Malus</i> ‘Hongsha’	13.70ab	9.36ab	0.26a	35.98b	9.55b	15.74bc
海棠‘红波’ <i>Malus</i> ‘Hongbo’	12.27e	9.13ab	0.26a	36.29ab	10.80a	12.76c
海棠‘红艳’ <i>Malus</i> ‘Hongyan’	14.33a	9.57a	0.26a	36.74ab	9.42b	22.85a
海棠‘红亮’ <i>Malus</i> ‘Hongliang’	13.13bc	9.27ab	0.25a	37.76a	10.83a	17.32ab
海棠‘道格’ <i>Malus</i> ‘Dorge’	13.47bc	9.36ab	0.26a	35.92b	11.09a	16.28ab
海棠‘雪球’ <i>Malus</i> ‘Snowdrift’	12.23ab	9.30ab	0.29a	32.72c	10.50ab	13.41c
海棠‘雪莱’ <i>Malus</i> ‘Xuelai’	13.00cd	9.43ab	0.29a	33.21c	8.94c	12.50c
海棠‘雪开’ <i>Malus</i> ‘Xuekai’	13.73ab	9.45ab	0.28a	34.12bc	8.89c	16.54ab
海棠‘雪倩’ <i>Malus</i> ‘Xueqian’	12.40de	9.24ab	0.26a	37.63a	10.80a	17.45ab

¹⁾ w1: 可溶性固形物含量 Content of soluble solid; w2: 可溶性糖含量 Content of soluble sugar; w3: 可滴定酸含量 Content of titratable acid; R: 糖酸比 Ratio of soluble sugar content to titratable acid content; w4: V_C含量 Content of V_C; w5: 花青苷含量 Content of anthocyanin. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

2.2 经不同海棠品种授粉后‘长富2号’苹果坐果率和果实品质特性的因子分析

将不同海棠品种授粉后‘长富2号’苹果15个果实品质指标的原始数据转化后进行因子分析,前7个公因子(特征值大于1)各指标的载荷以及各公因子的特征值、方差贡献率和累计方差贡献率见表3。

由表3可见:前7个公因子的累计方差贡献率达88.187% (大于85%),可反映出原指标的绝大部分信息;且原始数据经转化后在各公因子中的载荷趋于

两极分化,表明各公因子均具有明显的生物学意义。总体上看,前7个公因子可代替原来的15个指标对供试海棠品种的花粉直感效应进行综合评价。

从表3还可以看出:第1公因子的方差贡献率达21.743%,涵盖的主要指标有可溶性固形物含量和可溶性糖含量,称为果实甜度因子;第2公因子的方差贡献率为13.783%,涵盖的主要指标有可滴定酸含量和糖酸比,称为果实酸度因子。前2个公因子主要代表果实的风味,累计方差贡献率达到35.526%,说明

表3 经不同海棠品种授粉后‘长富2号’苹果坐果率及果实品质指标的因子分析

Table 3 Factor analysis on fruit setting rate and fruit quality indexes of *Malus pumila* ‘Changfu 2’ pollinated by different cultivars of *Malus* spp.

指标 Index	各公因子的载荷 Load of each common factor						
	1	2	3	4	5	6	7
可溶性固形物含量 Content of soluble solid	0.300	-0.011	-0.134	0.094	0.083	0.130	0.048
可溶性糖含量 Content of soluble sugar	0.286	-0.023	-0.127	-0.032	-0.236	0.112	0.057
可滴定酸含量 Content of titratable acid	-0.062	0.495	0.061	-0.021	-0.004	-0.070	-0.050
糖酸比 Ratio of soluble sugar content to titratable acid content	0.014	0.484	0.025	-0.026	-0.079	-0.034	-0.031
梗洼深度 Depth of stalk cavity	-0.101	0.041	0.564	0.040	-0.160	-0.105	-0.085
单果质量 Weight per fruit	-0.020	0.045	0.381	0.033	0.059	0.036	0.243
果形指数 Fruit shape index	-0.111	-0.013	-0.514	0.025	-0.042	-0.101	-0.249
梗洼开裂率 Cracking rate of stalk cavity	-0.052	-0.009	-0.001	0.528	0.183	-0.157	0.110
果梗存留率 Retention rate of fruit rib	-0.144	0.084	-0.240	0.235	0.049	-0.031	0.198
果肉硬度 Flesh firmness	0.257	0.014	-0.066	-0.031	0.325	0.018	0.017
花青苷含量 Content of anthocyanin	-0.004	-0.053	-0.103	0.099	0.000	0.687	-0.060
果棱数 Number of fruit rib	-0.070	-0.109	0.066	0.150	-0.208	0.375	-0.295
V _C 含量 Content of V _C	-0.205	-0.019	-0.154	-0.100	0.090	0.352	-0.142
着色面积百分率 Percentage of coloring area	-0.053	0.027	0.045	-0.033	0.022	-0.725	-0.072
坐果率 Fruit setting rate	0.036	-0.064	0.011	0.167	-0.103	0.098	0.848
特征值 Eigenvalue	3.261	2.067	1.969	1.928	1.515	1.259	1.228
方差贡献率/% Variance contribution rate	21.743	13.783	13.127	12.855	10.103	8.392	8.184
累计方差贡献率/% Accumulative variance contribution rate	21.743	35.526	48.653	61.508	71.611	80.003	88.187

果实的风味在苹果授粉性能质量评价中起关键作用。第3公因子的方差贡献率为13.127%,主要指标为单果质量、梗洼深度和果形指数,称为果个与果形因子;第4公因子的方差贡献率达到12.855%,主要为梗洼开裂率和果梗存留率,称为果梗因子,说明影响果实的外观品质及果实商品性能的果梗因子在授粉性能评价中占据较大的比重;第5公因子的方差贡献率为10.103%,为果肉硬度因子;第6公因子的方差贡献

率为8.392%,主要为花青苷含量、V_C含量、果棱数和着色面积百分率,称为保健与外形因子;第7公因子主要为坐果率因子,方差贡献率为8.184%。

2.3 不同海棠品种花粉直感效应的综合评价

利用相关公式计算出每个海棠品种7个主要公因子的综合得分,并依据综合得分对各海棠品种的花粉直感效应进行排序,结果见表4。

由表4可知:11个海棠品种中,品种‘红艳’、‘红

表4 经不同海棠品种授粉后‘长富2号’苹果坐果率及果实品质指标的综合评价结果

Table 4 Comprehensive evaluation result of fruit setting rate and fruit quality indexes of *Malus pumila* ‘Changfu 2’ pollinated by different cultivars of *Malus* spp.

授粉品种 Pollination cultivar	各公因子的得分 Score of each common factor							综合得分 Comprehensive score	排序 Order
	1	2	3	4	5	6	7		
苹果‘新红星’ <i>M. pumila</i> ‘Starkrimson’ (CK)	0.34	0.74	0.58	-0.26	0.20	-0.19	0.21	23.90	4
海棠‘红双’ <i>Malus</i> ‘Hongshuang’	-0.26	0.33	0.11	0.51	0.68	0.05	0.34	16.92	8
海棠‘红粉’ <i>Malus</i> ‘Hongfen’	0.01	0.49	-0.06	0.70	0.03	0.23	0.14	18.61	7
海棠‘红纱’ <i>Malus</i> ‘Hongsha’	0.01	0.62	0.29	0.62	0.24	-0.13	0.28	23.91	3
海棠‘红波’ <i>Malus</i> ‘Hongbo’	-0.27	0.71	0.18	0.34	0.08	0.02	0.95	19.38	6
海棠‘红艳’ <i>Malus</i> ‘Hongyan’	0.38	0.64	-0.02	0.28	0.65	-0.05	0.75	32.58	1
海棠‘红亮’ <i>Malus</i> ‘Hongliang’	-0.19	0.74	0.07	0.68	0.16	0.40	0.43	24.20	2
海棠‘道格’ <i>Malus</i> ‘Dorge’	-0.05	0.58	-0.29	-0.07	0.19	0.27	0.45	9.87	9
海棠‘雪球’ <i>Malus</i> ‘Snowdrift’	-0.21	0.29	-0.12	0.18	0.06	0.03	0.51	5.22	12
海棠‘雪莱’ <i>Malus</i> ‘Xuelai’	-0.04	0.32	-0.07	0.50	0.03	-0.56	0.53	8.95	10
海棠‘雪开’ <i>Malus</i> ‘Xuekai’	0.31	0.38	0.55	-0.02	0.16	0.08	0.26	23.52	5
海棠‘雪倩’ <i>Malus</i> ‘Xueqian’	-0.28	0.82	-0.04	0.07	0.26	-0.21	-0.01	6.48	11

亮’和‘红纱’的花粉直感效应综合得分值高于对照(‘新红星’苹果),其余品种的花粉直感效应综合得分值则低于对照。按照花粉直感效应的综合得分由高到低11个海棠品种依次排序为:‘红艳’、‘红亮’、‘红纱’、‘雪开’、‘红波’、‘红粉’、‘红双’、‘道格’、‘雪莱’、‘雪倩’、‘雪球’。据此,可以认为海棠品种‘红艳’、‘红亮’和‘红纱’的花粉直感效应优于‘新红星’苹果。

3 讨论和结论

相关研究表明:异花授粉植物存在花粉直感现象,且存在种子直感和果实品质直感效应^[2-3]。本实验结果显示:仅用海棠品种‘雪倩’授粉后‘长富2号’苹果的坐果率与‘新红星’苹果(对照)差异不显著,用其他10个海棠品种授粉后‘长富2号’苹果的坐果率均较对照显著提高,表明供试的11个海棠品种与‘长富2号’苹果均有良好的授粉亲和性。

经多数海棠品种授粉后‘长富2号’苹果的大多数果实品质指标优于对照,而经‘新红星’苹果授粉后‘长富2号’苹果果实的着色面积百分率、果实硬度、可溶性糖含量、可溶性固形物含量及糖酸比均高于大部分海棠品种授粉后的果实,表明11个海棠品种在果实品质直感方面的各项指标具有一定的父本效应,但各指标在不同品种间无明显规律性。这与谢辉等^[18]对库尔勒香梨(*Pyrus bretschneideri* ‘Korla fragrant pear’)、沙海峰等^[19]对京白梨(*P. ussuriensis* ‘Jingbai pear’)、齐秀娟等^[20]对猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch.)以及 Sánchez-Pérez 等^[21]对扁桃(*Amygdalus communis* Linn.)等异花授粉果树的研究结果一致,即“不同品种异花授粉后果实品质存在一定的父本效应,但规律性不强”。对‘2001富士’(‘2001 Fuji’)、‘新红’(‘Xinhong’)和‘秦冠’等苹果品种的花粉直感效应的研究结果^[22-24]也无明显的规律性。

在进行果品性状评价时,评价因子和评价方法的确定是进行正确评价的基础,评价因子的选择直接影响评价的结果^[1]。本研究选用了坐果率及14个较常见的苹果果实品质测定指标,既有相对独立性,又存在一定的相关性。主成分分析和因子分析是目前最常用的2种综合评价方法^[25-28]。与主成分分析相比,因子分析重在解释原始变量之间的关系,经过提取因

子的矩阵旋转,使潜在因子的意义更加明确^[29]。由于不同测定指标的量纲、数量级和对评价体系的影响不同(有正、负之分),会对综合指标公因子产生较大影响,因此,在进行因子分析前需要对原始数据进行合理的转化。常用的转化方法有极差标准化法和隶属函数法,其中隶属函数法考虑了各指标对评价体系的正、负影响^[30]。本实验中,将影响果实外观品质的梗洼开裂率和果梗存留率2个负因子也考虑在内,因而采用反隶属函数公式对数据进行转化,结果显示,采用因子分析方法得到的综合评价结果与田间观察和实验室测定结果一致。

采用因子分析法对15个相关指标进行分析,结果表明:影响海棠品种花粉授粉特性综合评价的关键因子影响力由大到小依次为果实甜度因子、果实酸度因子、果个与果形因子、果梗因子、果肉硬度因子、保健与外形因子、坐果率因子。此结果与徐吉花等^[1]及聂继云等^[27-28]对苹果果实品质综合评价的结果基本相符。根据授粉树的选配要求,7个公因子的综合得分值越高越好。从海棠授粉后‘长富2号’苹果的坐果率、果实外观品质和内在品质3个层次对供试海棠品种的授粉特性进行综合评价,结果表明:品种‘红艳’的7个公因子的综合得分最高,即综合性状最优,为首选授粉品种;品种‘红亮’的7个公因子的得分较高,可以考虑选为授粉品种;品种‘红纱’的综合得分也较高,也可以考虑选为授粉品种;其余品种的各指标性状均劣于上述品种,因此不宜选为授粉品种。综上所述,海棠品种‘红艳’、‘红亮’和‘红纱’的授粉性能优于‘新红星’苹果,可作为富士系列苹果的授粉树进行配置。

致谢:山东农业大学沈向老师在花粉实验材料上给予了帮助与支持,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 徐吉花,赵政阳,王雷存,等. 苹果果实品质评价因子的选择研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(6): 269-274.
- [2] HARKER F R, GUNSON F A, JAEGER S R. The case for fruit quality: an interpretive review of consumer attitudes, and preferences for apples [J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28: 333-347.
- [3] 陈学森,李扬,束怀瑞. 果树开花授粉生物学研究进展[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2000, 31(3): 345-348.
- [4] 薛志霞,赵政阳,张雯,等. 渭北富士苹果偏斜果的影响因素[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(4): 60-68.

- [5] 孙凡雅,沈向,康鸾,等.观赏海棠杂交后代萌芽期观察及花期预测的灰色关联度分析[J].植物资源与环境学报,2008,17(4):51-54.
- [6] BECKERMAN J, CHATFIELD J, DRAPER E. A 33-year evaluation of resistance and pathogenicity in the apple scab-crabapples pathosystem[J]. HortScience, 2009, 44(3): 599-608.
- [7] HIDEO B. Selection of crabapple pollinizers for “Fuji” and “Tsugaru” apple[J]. Journal of the American Pomological Society, 2009, 63(1): 2-13.
- [8] ALEXANDER C M, STUART A C, MARIA A B. Effects of natural and artificial pollination on fruit and offspring quality[J]. Basic and Applied Ecology, 2012, 13(4): 524-532.
- [9] 李保国,顾玉红,郭素平,等.2001苹果果实若干性状的花粉直感规律研究[J].河北农业大学学报,2004,27(6):34-37.
- [10] 谭梅,徐爱红,李玲,等.授粉品种对‘富士’苹果果实品质的影响[J].落叶果树,2013,45(1):7-10.
- [11] 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.
- [12] 鲍江峰,夏仁学,邓秀新,等.用主成分分析法选择组荷尔脐橙品质的评价因素[J].华中农业大学学报,2004,23(6):663-666.
- [13] 束怀瑞.苹果学[M].北京:中国农业出版社,1999:529-534.
- [14] 李合生.现代植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2002:194-197.
- [15] 李锡香,宴儒来,向长萍.新鲜果蔬的品质及其分析方法[M].北京:中国农业出版社,1994:208-210.
- [16] 李玉红.钼蓝比色法测定水果中还原型维生素C[J].天津化工,2002(1):31-32.
- [17] 霍琳琳,苏平,吕英华.分光光度法测定桑葚总花色苷含量的研究[J].酿酒,2005,32(4):88-89.
- [18] 谢辉,高启明,刘永杰,等.花粉直感对库尔勒香梨果实品质的影响[J].西北农业学报,2013,22(1):93-96.
- [19] 沙海峰,朱元娣,高琪洁,等.花粉直感对京白梨品质的影响[J].果树学报,2006,23(2):287-289.
- [20] 齐秀娟,韩礼星,李明,等.3个猕猴桃品种花粉直感效应研究[J].果树学报,2007,24(6):774-777.
- [21] SÁNCHEZ-PÉREZ R, ARRÁZOLA G, MARTIN M L, et al. Influence of the pollinizer in the amygdalin content of almonds[J]. Scientia of Horticulturae, 2012, 139: 62-65.
- [22] 王卫江,李文胜,李疆,等.不同授粉品种对新红1号苹果果实品质的影响[J].新疆农业大学学报,2011,34(6):479-481.
- [23] 刘广勤,钱亚明,常有宏,等.花粉直感对富士苹果品质的影响[J].中国南方果树,2000,29(1):35.
- [24] 石海强,黄保中,秦立者,等.授粉品种对红富士苹果座果率及果实品质的影响[J].河北农业科学,2006,10(3):33-35.
- [25] 魏秀君,殷云龙,芦治国,等.NaCl胁迫对5种绿化植物幼苗生长和生理指标的影响及耐盐性综合评价[J].植物资源与环境学报,2011,20(2):35-42.
- [26] 孙敬爽,贾桂霞,陶霞娟,等.越冬过程中刺柏属4树种叶片生理指标变化及适应性综合评价[J].植物资源与环境学报,2013,22(2):59-66.
- [27] 聂继云,毋永龙,李海飞,等.苹果鲜榨汁品质评价体系构建[J].中国农业科学,2013,46(8):1657-1667.
- [28] 聂继云,李志霞,李海飞,等.苹果理化品质评价指标研究[J].中国农业科学,2012,45(14):2895-2903.
- [29] 王芳.主成分分析与因子分析的异同比较及应用[J].统计教育,2003,17(5):14-17.
- [30] 刘坚,苏军.因子分析在综合素质评价中的应用[J].华东交通大学学报,2004,21(5):145-149.

(责任编辑:佟金凤)