

苹果杂交后代斑点落叶病抗性生理指标的综合评价及预测

樊红科,赵政阳,王 飞,党志国,高 华

(西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】建立苹果抗斑点落叶病的综合评价及预测方法,为抗病株系的早期选择提供参考依据。【方法】以“富士”×“粉红女士”杂交 F_1 代为试材,将苹果各生理指标的抗斑点落叶病系数,作为衡量苹果单项抗病能力大小的指标,用主成分分析法将各单项抗病系数综合成几个新的相互独立的综合指标,再利用隶属函数求出每一单株抗病性的综合评价值,以此评价各杂交 F_1 代的抗病性。同时建立了植株抗病性综合评价值与单项指标抗斑点落叶病系数间的最优回归方程。【结果】杂交 F_1 代单株抗病性综合评价值越高,抗病性越强。叶片净光合速率、绿原酸含量、苯丙氨酸解氨酶含量和百叶厚 4 个指标,可以作为苹果抗斑点落叶病的鉴定指标。回归分析表明,所建方程相关性显著,方程预测值(VP)的聚类分析结果与各株抗病性强弱顺序一致。【结论】隶属函数法和主成分分析法适合对苹果抗斑点落叶病进行综合评价;所建回归方程能够预测苹果杂交后代个体的抗病性。

【关键词】 苹果; 杂交后代; 斑点落叶病; 综合评价; 预测

【中图分类号】 S661.103.7;S11⁺4

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)06-0153-07

Comprehensive evaluation and forecast on physiological indexes of *Alternaira alternata* f. mali resistance in F_1 hybrids of apple

FAN Hong-ke, ZHAO Zheng-yang, WANG Fei, DANG Zhi-guo, GAO Hua

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study was to provide reference for per-selection of *Alternaira alternata* f. mali (AaM,) by establishing comprehensive evaluation and prediction method of resistance to AaM in apple. 【Method】 Based on F_1 hybrids of “Fu Ji” and “Pink Lady”, the physiological indexes of resistance to AaM were comprehensively evaluated and predicted, and were used to value the F_1 hybrids’ single capacity of AaM resistance to some new independent comprehensive indexes by principal component analysis. The comprehensive value of different F_1 hybrids AaM resistance was obtained by using subordination function, so the AaM resistance of different F_1 hybrids can be evaluated. Meanwhile, the regression was established between the comprehensive value of AaM resistance and the value of single index to AaM resistance. 【Result】 The results showed that the comprehensive values were higher, the F_1 hybrids AaM resistance was better. The net photosynthetic rate, chlorogenic acid content, phenylalanine ammonium-lyase content in apple leaves and thickness of hundred leaves would be used as indexes of evaluating AaM resistance in apple. The analyzed regression indicated that the function’s square was prominent. The results of Cluster analysis showed that the strength of the order was the same. 【Conclusion】 Application of subordination function

* 【收稿日期】 2009-12-02

【基金项目】 国家现代农业技术体系专项(nycytx-08-01-03); 国家科技支撑计划项目(2006BAD01A1704-8); 西北农林科技大学唐仲英育种基金

【作者简介】 樊红科(1975—),男,陕西宝鸡人,讲师,在读博士,主要从事果树育种与生物技术研究。E-mail: FHK618@tom.com

【通信作者】 赵政阳(1964—),男,陕西富平人,教授,博士生导师,主要从事果树育种与生物技术研究。

E-mail: zhaozy@nwsuaf.edu.cn

and principal component analysis would be suitable to evaluate AaM resistant selection comprehensively. Regression can predict apple hybrids individual resistance.

Key words: apple; hybrid; *Alternaira alternata* f. mali; comprehensive evaluation; forecast

苹果斑点落叶病(*Alternaira alternata* f. mali)是渭北黄土高原发生较严重的一种苹果病害^[1-2]。许多学者从药物防治方面对其进行了研究报道^[3-7],但通过培育抗斑点落叶病新品种来解决苹果感病的研究,至今未见报道。抗病育种过程中需对庞大的杂交后代进行抗病性筛选,目前多通过调查田间感病指数来评价植株的抗病性,但由于受气象因子、人为因素等的影响,该评价方法在实际应用中存在一定的局限性。因此,可以采用一种间接评价方法,即利用多个与抗病性状相关的形态指标和生理指标,对植株的抗病性进行综合评价。许多研究者应用隶属函数法和主成分分析法,对作物的抗逆性进行了综合评价^[8-10],但鲜见利用该法对苹果抗病性进行评价的报道。

采用抗病生理指标进行苹果杂交后代抗病性评价研究,因评价抗病性的指标较多,且指标间又存在着一定的相关性,使得其所提供的苹果抗病信息发生了交叉与重叠;加之各指标在综合评价时的重要性(权重)也不同,如果直接利用这些指标来评价苹果的抗病性,则会使评价结果产生偏差。主成分分析法可以在不损失或很少损失原有信息的前提下,将原来个数较多的指标,转换为新的数量较少且彼此独立的综合指标,同时根据各自贡献率的大小,可以得知各综合指标的相对重要性。在此基础上,求出所有杂交种的每一个综合指标的值及相应的隶属函数值后进行加权,便可得到各杂交种抗病性的综合评价,据此可以比较科学地对各杂交苗的抗病性进行评价^[11]。同时,可将各杂交苗抗病性综合评价作为因变量,将各单项指标的抗病系数作为自变量建立最优回归方程,依据此方程可以预测其他杂交苗的抗病性,从而使杂交苗抗病性的综合评价、鉴定与利用更有预见性。本试验以苹果品种“富士”(抗斑点落叶病^[12-13])与“粉红女士”(抗斑点落叶病^[14-15])的杂交 F₁ 代实生苗为试材,对其抗斑点落叶病的综合评价及预测方法进行了研究,以期苹果抗斑点落叶病株系的早期选择提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料

试验在西北农林科技大学白水苹果试验站杂交

育种圃进行,试材为 2002 年“短枝富士”×“粉红女士”杂交的 164 株 F₁ 代实生苗,栽植密度 1 m×2 m,常规管理,不喷任何杀菌剂。对照为较抗斑点落叶病的当地主栽苹果品种“秦冠”。亲本和对照试验资料取自 2002—2009 年试验站调查记录的数据(以数据能够代表各品种固有抗病性大小为依据),“短枝富士”、“粉红女士”、“秦冠”的病情指数(DI)分别为 38.47、26.91 和 16.28。

1.2 测定项目及其方法

2009-08,每个单株随机选择新梢第 7~9 片叶,用 CI-310 型光合测定仪测量叶片的净光合速率(Pn),用叶绿素仪测定叶绿素(Chl)含量。10 月份,每个单株随机采集 100 片叶,测定百叶质量和百叶厚。从中随机取 10 枚叶片带回实验室,测定叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)活性及木质素和绿原酸的含量,测定方法见文献[16]。

杂交实生苗病情指数的调查参考赵进春等^[17]的方法。每株杂交实生苗从树冠中部东南西北 4 个方向,随机选择 1 年生枝共 20 个,每个方向随机选择 5 个,于 2009-09 中旬在苹果斑点落叶病(*Alternaira alternata* f. mali)盛发期,调查 20 个枝条上全部叶片的发病情况,记录病叶数及病级。病级的分级标准为:0 级,无病斑;1 级,病斑面积占叶面积的 10%以下;2 级,病斑面积占叶面积的 11%~25%;3 级,病斑面积占叶面积的 26%~40%;4 级,病斑面积占叶面积的 41%~65%;5 级,病斑面积占叶面积的 65%以上。病情指数(DI)计算公式为:

$$DI = \frac{\sum (s_i n_i)}{5N} \times 100,$$

式中:DI 为病情指数, s_i 为发病级别, n_i 为相应发病级别的叶片数, i 为病级, N 为调查的总叶片数。

1.3 数据处理

对 164 份苹果杂交后代斑点落叶病的病情指数进行分级统计。性状分级标准采用等距离分级法,将各性状的取值从小(低)到大(高)进行排序,然后分成 12 级,统计各级的单株数,绘制各性状取值的分布直方图。每级随机选定 1 株作为参试样本,以较抗斑点落叶病的“秦冠”苹果为对照。

单项指标抗病系数(I)用下式计算:

$$I = \frac{\text{杂交苗测定值}}{\text{对照测定值}} \quad (1)$$

1.4 统计分析

本研究采用的主成分分析、聚类分析和逐步回归分析,均在 SPSS 11.5 软件中完成^[18]。

2 结果与分析

2.1 苹果杂交后代斑点落叶病抗性的变异

由图 1 可以看出,苹果杂交后代的病情指数差异很大,变异幅度为 4.57~68.02,变异系数高达 67.37%。病情指数小于 10 的只有 3 株,占群体的 1.83%;病情指数大于 50 的有 25 株,占群体的 15.24%。群体的平均病情指数为 33.98,与亲中值(32.69)相比,显示杂交后代有感病加重的趋势,但后代中也出现了少量的抗病单株,为选育抗病品种提供了条件。

2.2 苹果杂交后代各单项指标的抗病系数及其简单相关分析

根据苹果杂交后代各单项指标的测定值,用公式(1)求出各单项指标的抗病系数(I)(表 1)。由表 1 可以看出,所选杂交 F_1 代各单株所有指标测定值与对照相比均有所下降($I < 1.000$),但各单项指标的变化幅度不同,因而用不同指标的抗病系数来

评价苹果对斑点落叶病的抗性,则结果均不相同。说明苹果抗斑点落叶病是一个复杂的综合性状,用任何一个单项指标来评价苹果抗斑点落叶病的抗性都有片面性。

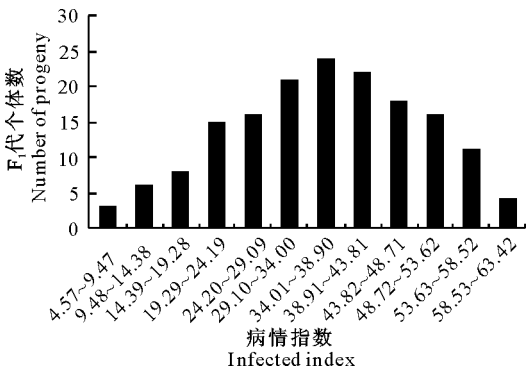


图 1 斑点落叶病病情指数在苹果 F_1 代群体中的分布

Fig.1 Distribution of infected index of *Alternaira alternata* f. mali in F_1 progeny hybrids of apple

从相关系数矩阵(表 2)可以看出,所有指标间均存在着或大或小的相关性,从而使得其所提供的信息发生重叠;同时,由于各指标在苹果抗斑点落叶病中所起的作用也不尽相同,所以如果直接利用这些指标评价苹果对斑点落叶病的抗病性,结果则不准确。

表 1 苹果杂交后代各单项指标的抗病系数(I)

Table 1 I value of every single index of disease resistance coefficients in F_1 progeny hybrids of apple

后代 Progeny	叶绿素 Chl	P_n	绿原酸 Chlorogenic acid	木质素 Lignin	SOD	CAT	POD	PAL	PPO	百叶质量 Weight of hundred leaves	百叶厚 Thickness of hundred leaves
FP-1	0.924	0.969	0.931	0.936	0.912	0.827	0.879	0.923	0.883	0.935	0.957
FP-2	0.908	0.889	0.867	0.855	0.760	0.717	0.833	0.866	0.818	0.858	0.888
FP-3	0.892	0.835	0.814	0.733	0.658	0.643	0.649	0.697	0.655	0.833	0.842
FP-4	0.876	0.742	0.638	0.624	0.862	0.790	0.741	0.583	0.785	0.910	0.779
FP-5	0.812	0.782	0.547	0.814	0.608	0.606	0.787	0.646	0.752	0.807	0.819
FP-6	0.844	0.916	0.609	0.895	0.811	0.754	0.695	0.753	0.850	0.884	0.911
FP-7	0.828	0.617	0.553	0.581	0.709	0.680	0.511	0.386	0.687	0.730	0.771
FP-8	0.860	0.782	0.508	0.570	0.455	0.495	0.557	0.471	0.720	0.756	0.733
FP-9	0.795	0.677	0.482	0.610	0.506	0.532	0.603	0.527	0.589	0.782	0.701
FP-10	0.763	0.510	0.355	0.651	0.557	0.569	0.419	0.414	0.622	0.705	0.696
FP-11	0.779	0.702	0.214	0.529	0.404	0.459	0.465	0.358	0.557	0.679	0.727
FP-12	0.747	0.378	0.106	0.488	0.354	0.422	0.373	0.301	0.524	0.654	0.604

注:FP-1~FP-12 指参试样本编号。
 Note:FP-1—FP-12 means sample number.

2.3 苹果杂交后代各单项指标抗病系数的主成分分析

利用 SPSS 软件,对表 1 中 11 项指标的抗病系数进行主成分分析,由表 3 中分析结果可知,苹果杂

交后代抗病系数前 3 个主成分分别为:(1)绿原酸、苯丙氨酸解氨酶;(2)叶片净光合速率(P_n);(3)百叶厚。其累计方差贡献率达 85.1%,即这 3 个主成分已经包含了原 11 项指标 85.1%的信息,足以反

映原指标的信息。

表 2 苹果杂交后代各单项指标的相关系数矩阵

Table 2 Correlation matrix of every single index

指标 Index	叶绿素 Chl	P_n	绿原酸 Chlorogenic acid	木质素 Lignin	SOD	CAT	POD	PAL	PPO	百叶质量 Weight of hundred leaves	百叶厚 Thickness of hundred leaves
叶绿素 Chl	1.000										
P_n	0.656	1.000									
绿原酸 Chlorogenic acid	0.265	0.149	1.000								
木质素 Lignin	0.106	0.207	0.756	1.000							
SOD	0.297	0.108	0.621	0.477	1.000						
CAT	0.271	0.386	0.543	0.618	0.801	1.000					
POD	0.138	0.247	0.644	0.587	0.653	0.837	1.000				
PAL	0.307	0.521	0.614	0.827	0.701	0.695	0.724	1.000			
PPO	0.383	0.261	0.769	0.682	0.594	0.711	0.813	0.758	1.000		
百叶质量 Weight of hundred leaves	0.426	0.394	0.271	0.154	0.307	0.281	0.118	0.204	0.185	1.000	
百叶厚 Thickness of hundred leaves	0.319	0.436	0.162	0.105	0.248	0.203	0.152	0.087	0.102	0.742	1.000

另外,根据表 3 对各主成分所表达的内涵作以下分析:主成分(1)主要反映的是苹果叶片的保护酶活性,其相关系数具有较强的正向载荷,表明苹果叶片的绿原酸含量和苯丙氨酸解氨酶活性的高低,是反映苹果对斑点落叶病抗性的主要指标;主成分(2)主要反映的是苹果叶片的光合特征,该因子对主成

分(2)具有较高的正向载荷,表明苹果叶片的净光合速率高低对苹果抗斑点落叶病有重要影响;主成分(3)反映的是叶片厚度,该因子对主成分(3)具有较强的正向载荷,说明叶片厚度是衡量植株抗病能力的重要指标。

表 3 各主成分因子向量载荷系数及方差贡献率

Table 3 Coefficients of main component gene vector load [CI(x)] and square proportion (P)

主成分 Index	叶绿素 Chl	P_n	绿原酸 Chlorogenic acid	木质素 Lignin	SOD	CAT	POD	PAL	PPO	百叶质量 Weight of hundred leaves	百叶厚 Thickness of hundred leaves	贡献率 P
CI(1)	0.105	0.134	0.608	0.497	0.328	0.229	0.304	0.628	0.397	0.101	0.084	0.589
CI(2)	0.274	0.617	0.065	0.037	0.081	0.139	0.067	0.055	0.072	0.204	0.367	0.167
CI(3)	0.115	0.178	0.109	0.087	0.034	0.084	0.016	0.034	0.029	0.407	0.653	0.095

注:相关系数取>0.6。
Note:Selected correlation coefficient>0.6.

2.4 苹果杂交后代斑点落叶病的抗病性综合评价

根据各主成分因子向量载荷系数(表 3)及各单项指标的抗病系数(表 1),利用公式(2)求出每一单株 3 个主成分的综合指标值(表 4)。

$X_j = \sum CI(x_j) \cdot I(x_j), \quad j=1,2,\cdots,n.$ (2)
式中: X_j 表示第 j 个综合指标值, $CI(x_j)$ 表示各综合指标的指标系数, $I(x_j)$ 表示各单项指标的抗病系数。

再利用隶属函数分析法(公式(3))求出每个单株的隶属函数值。

$$u(x_j) = \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad j=1,2,\cdots,n. \quad (3)$$

式中: X_j 表示第 j 个综合指标值, $X_{\min}$ 表示第 j 个综合指标的最小值, $X_{\max}$ 表示第 j 个综合指标的最大值。根据公式(3)可求出每个单株所有综合指标的

隶属函数值(表 4)。对于同一综合指标如 X_1 (主成分(1),苹果叶片保护酶活性)而言,FP-1 的 $u(1)$ 值最大(0.998),说明 FP-1 在 X_1 这一综合指标上表现为最抗病;FP-12 的 $u(1)$ 值最小,为 0.024,说明 FP-12 在 X_1 这一综合指标上表现为最感病。

根据综合指标贡献率的大小(分别为 0.589, 0.167 和 0.095),用公式(4)可求出每个单株 3 个综合指标的权重值(表 4)。

$$W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j, \quad j=1,2,\cdots,n. \quad (4)$$

式中: W_j 值表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度,即权重; P_j 为各株第 j 个综合指标的贡献率。经计算, X_1 、 X_2 、 X_3 3 个综合指标的权重分别为 0.731、0.182 和 0.087(表 4)。

根据每个单株的隶属函数值和权重系数,用公

式(5)、(6)计算各株抗病能力的大小。

$$Y(x_j)=\sum_{j=1}^n[u(x_j)\cdot W_j],\quad j=1,2,\cdots n;\quad (5)$$

$$D=\sum_{j=1}^nY(x_j),\quad j=1,2,\cdots,n.\quad (6)$$

式中: $Y(x_j)$ 表示各单株第 j 个综合指标评价所得的抗病性综合评价值, D 表示各单株抗病性综合评价

值。根据各单株的 D 值对其抗病性强弱进行排序,其中 FP-1 的 D 值最大,表明该株最抗病。用最大距离法对 D 值进行聚类分析,可将 12 株 F_1 代划分为高抗型、抗病型、中间型、感病型和高感型 5 类(表 4)。

表 4 苹果杂交后代各单株综合指标值、权重、 $u(x)$ 值、 $Y(x)$ 值、 D 值、预测值及综合评价

Table 4 Value of each seeding's comprehensive index (X_j),index weight(W_j), $u(x)$, $Y(x)$, D , VP and comprehensive evaluation

后代 Progeny	X_1	X_2	X_3	$u(1)$	$u(2)$	$u(3)$	$Y(1)$	$Y(2)$	$Y(3)$	D	VP	综合评价 Comprehensive Evaluation
FP-1	2.137	1.423	0.654	0.998	0.359	0.756	0.730	0.065	0.066	0.861	0.708	HR
FP-2	1.162	0.945	0.587	0.751	0.466	0.512	0.549	0.085	0.045	0.678	0.670	R
FP-3	1.344	1.064	0.971	0.701	0.304	0.208	0.512	0.055	0.018	0.586	0.636	R
FP-4	0.681	0.843	0.546	0.427	0.521	0.105	0.312	0.095	0.009	0.416	0.543	O
FP-5	0.528	0.597	0.613	0.325	0.206	0.349	0.238	0.037	0.030	0.305	0.505	O
FP-6	0.774	0.134	0.408	0.465	0.406	0.281	0.340	0.074	0.024	0.438	0.547	O
FP-7	0.418	−0.116	0.227	0.108	0.051	0.553	0.079	0.009	0.048	0.136	0.491	S
FP-8	0.479	−0.093	0.361	0.094	0.873	0.394	0.069	0.159	0.034	0.262	0.478	S
FP-9	0.357	−0.081	0.204	0.157	0.128	0.187	0.115	0.023	0.016	0.154	0.462	S
FP-10	0.312	−0.102	0.013	0.034	0.039	0.016	0.025	0.007	0.001	0.033	0.392	HS
FP-11	0.034	−0.086	0.019	0.056	0.041	0.205	0.041	0.007	0.018	0.066	0.333	HS
FP-12	0.011	−0.137	0.026	0.024	0.067	0.183	0.018	0.012	0.016	0.046	0.262	HS
权重 W_j				0.731	0.182	0.087						

注:HR. 高抗;R. 抗病;O. 中间型;S. 感病;HS. 高感。
Note: HR. High-resistance; R. Resistance; O. Osculant; S. Susceptible; HS. High-susceptible.

2.5 苹果杂交后代斑点落叶病抗病性鉴定指标的选择及其抗病性预测

将各单株抗病性综合评价值(D 值)作为因变量,将各生理指标的抗病系数(I 值)作为自变量,建立如下最优回归方程:

$$D=(164.93+42.35X_2+471.56X_3+30.81X_8+35.74X_{11})\times 10^{-3}.$$

式中: X_2 、 X_3 、 X_8 、 X_{11} 分别代表以叶片净光合速率、绿原酸含量、苯丙氨酸解氨酶活性、百叶厚为指标的抗病系数。方程决定系数 $R^2=0.992$, $F=174.26$, 方程相关性极显著。根据回归方程计算各单株的预测值(VP 值),结果(表 4)表明,FP-1 的 VP 值最大,FP-12 的 VP 值最小,其与 D 值所表示的各株抗病性强弱顺序一致。说明该方程可以预测杂交后代各株的抗病性强弱。

此外,由该方程还可知,在 11 项生理指标中,上述 4 项指标对苹果抗斑点落叶病的抗性有显著影响,故在鉴定中可有选择地测定这些指标,使鉴定工作简单化。同时亦可在相同条件下测定其他苹果品种的上述 4 个指标,求其抗病系数,根据抗病系数利用该方程就可预测其他杂交后代的抗病性。

3 结论与讨论

苹果对斑点落叶病的抗性是一个受多种因素影响的复杂的数量性状^[19]。本研究中,苹果杂交后代的抗病性出现了广泛分离,抗病个体概率低,且不同个体对苹果斑点落叶病的抗性反应也不尽相同,既有同一年度不同生长发育时期对斑点落叶病抗性反应的差异性,也有不同生长年限对斑点落叶病抗性反应的差异性。因此,仅根据某一时期或某一生长年限的病情指数调查结果,来判断苹果杂交实生苗的感病程度不科学。但对其病情指数在不同年限不同时期连续调查也不现实,不仅费工费时,而且人为误差太大,影响分析结果。而苹果杂交后代在不同时间不同感病条件下,其自身固有的遗传特征可以代表个体抗病能力的大小。

本研究结果表明,在相同的生态环境和栽培管理条件及发病条件下,苹果叶片绿原酸含量、苯丙氨酸解氨酶活性、叶片净光合速率和叶片厚度是衡量植株抗病能力的重要指标。一般认为,角质层越厚、细胞壁强度越大的植物组织抗病性越强^[20]。本研究认为,叶片厚度是苹果个体生长发育的直接表现,叶片越厚,植株抗病性越强,可能与叶片内部的组织

结构有关联,具体机理还需进一步研究。

叶片绿原酸含量是植株自身固有抗性的一种反映,植株体内固有的绿原酸在病原物侵染时能转变成毒性很高的酮类,抑制病原物多种酶的活性^[21]。叶片净光合速率是植株抗病性的直接反映,叶片感病受到侵染后,光合有效面积减少,直接导致叶片净光合速率下降^[22]。叶片苯丙氨酸解氨酶活性高低是植株感病的一种间接反映,抗病性状在病原物侵染前并不存在,只有受到病原物侵染后,病原物无毒基因产物或其次级代谢产物与寄主抗病基因产物特异性识别结合,由此激发一系列防卫反应而表达抗病性^[23-24]。上述分析及前人的相关研究结果,支持了本研究将植株叶片厚度、叶片绿原酸含量、叶片净光合速率和苯丙氨酸解氨酶活性作为鉴定植株抗病性强弱的间接指标这一结论。

本研究利用主成分分析法,将原来的 11 个单项生理指标综合成为 X_1 、 X_2 和 X_3 3 个相互独立的综合指标,依据各自贡献率的大小,求出所有杂交种的每一个综合指标的值及相应的隶属函数值后进行加权,得到各杂交种抗病性的综合评价值。这既消除了个别指标带来的片面性,又避免了人为确定权重的主观性,可使对苹果抗斑点落叶病的综合评价结果更客观、更合理。

本研究采用逐步回归法,在抗病性综合评价与所测指标间建立了最优回归方程,该方程包含了对因变量有显著影响的自变量,舍去了对因变量无显著影响的自变量。根据方程筛选出一些对抗病性有显著影响的指标后,可在相同的感病条件下测定其他个体的这些指标,然后利用该方程便可以预测所测个体抗病性的强弱,使抗病性的鉴定与利用研究更有预见性,可为抗病育种及资源的鉴定与筛选提供依据。

[参考文献]

[1] 陈 亮. 苹果早期落叶病生物防治关键技术研究及其田间应用 [D]. 西安:西北大学,2009.
Chen L. Biological control technology of apple early defoliation disease and its field application [D]. Xi'an:Northwest University,2009. (in Chinese)

[2] 党志国,赵政阳,郭云忠,等. 苹果感染斑点落叶病菌后几种酶活性的变化 [J]. 西北林学院学报,2006(6):70-72.
Dang Z G,Zhao Z Y,Guo Y Z,et al. Changes of several enzymes-activity in apple cultivars inoculated by *Alternaria alternata* f. sp. mali [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006(6):70-72. (in Chinese)

[3] 赵 磊. 苹果斑点落叶病抗性基因 RAPD 标记筛选研究 [D].

陕西杨凌:西北农林科技大学,2008 .
Zhao L. Detection of RAPD marker linked to the resistance gene to alternaria leaf spot in apples [D]. Yangling,Shaanxi: Northwest A&F University,2008. (in Chinese)

[4] 时春喜,李恩才,祁志军,等. 多菌灵与代森锰锌混配对梨黑星病菌和苹果斑点落叶病菌的增效研究 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2003,31(4):131-134.
Shi C X,Li E C,Qi Z J,et al. Study on the synergism of carben-dazim and mancozeb against *Alternaria alternata* f. mali Roberts and Venturia nashicola [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry:Nat Sci Ed,2003, 31(4):131-134. (in Chinese)

[5] 王文娟,赵建庄,魏朝俊,等. 苯并噻二唑(BTH)对苹果抗斑点落叶病的诱导 [J]. 果树学报,2008(3):362-366.
Wang W J,Zhao J Z,Wei C J,et al. BTH-induced resistance to *Alternaria alternata* f. mali in apple [J]. Journal of Fruit Science,2008(3):362-366. (in Chinese)

[6] 李东鸿,赵政阳,赵惠燕,等. 苹果早期落叶病发病规律与药剂防治研究 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(5):76-80.
Li D H,Zhao Z Y,Zhao H Y,et al. The study of regularity of apple early defoliation disease and its control by fungicide [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry:Nat Sci Ed,2005,33(5):76-80. (in Chinese)

[7] 苏 静. 苹果内生细菌的分离及其对苹果斑点落叶病的生物防治研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2007.
Su J. Isolation of entophytic bacteria from apple tree and bio-control on apple spot leaf drop [D]. Yangling,Shaanxi:North-west A&F University,2007. (in Chinese)

[8] 周广生,梅方竹,周竹青,等. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测 [J]. 中国农业科学,2003,36(11):1378-1382.
Zhou G S,Mei F Z,Zhou Z Q,et al. Comprehensive evaluation and forecast on physiological indices of waterlogging resistance of different wheat varieties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003,36(11):1378-1382. (in Chinese)

[9] 钮福祥,华希新,郭小丁,等. 甘薯品种抗旱性生理指标及其综合评价初探 [J]. 作物学报,1996,22(4):392-398.
Niu F X,Hua X X,Guo X D,et al. Studies on several physiological indexes of the drought resistance of sweet potato and its comprehensive evaluation [J]. Acta Agronomica Sinica,1996, 22(4):392-398. (in Chinese)

[10] 王淑俭,高远志,彭文博,等. 小麦不同品种抗热性综合评价 [J]. 河南农业大学学报,1994,28(4):339-343.
Wang S J,Gao Y Z,Peng W B,et al. Comprehensive evaluation on heat resistance of different wheat varieties [J]. Acta Agricultural Universitatis Henanensis, 1994, 28(4): 339-343. (in Chinese)

[11] 薛 薇. 统计分析与 SPSS 的应用 [M]. 北京:中国人民大学出版社,2007.
Xue W. Statistical analysis and application of SPSS [M]. Beijing:China Renmin University Press,2007. (in Chinese)

[12] 郭小侠,陈 川,唐周怀,等. 苹果早期落叶病的发生规律及生

- 物防治 [J]. 陕西农业科学, 2004(1): 62-64.
- Guo X X, Chen C, Tang Z H, et al. Occurrence and biological control on apple early defoliation [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2004(1): 62-64. (in Chinese)
- [13] 宋桂良. 苹果斑点落叶病不同品种发病情况调查 [J]. 山西果树, 1991(2): 21-22.
- Song G L. Occurrence investigation of Apple Spot Disease in different apple varieties [J]. Shanxi Fruits, 1991(2): 21-22. (in Chinese)
- [14] 赵政阳, 鲁玉妙, 高 华, 等. 苹果品种粉红女士在陕西的表现及栽培技术 [J]. 中国果树, 2002(4): 7-9.
- Zhao Z Y, Lu Y M, Gao H. Performance of apple variety Pink Lady in Shaanxi and its cultivation techniques [J]. China Fruits, 2002(4): 7-9. (in Chinese)
- [15] 王雷存, 赵政阳, 鲁玉妙, 等. 粉红女士苹果引种研究 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(2): 103-106.
- Wang L C, Zhao Z Y, Lu Y M, et al. Study on introduced apple variety—Pink Lady [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Nat Sci Ed, 2005, 33(2): 103-106. (in Chinese)
- [16] 郝再彬, 苍 晶, 徐 仲. 植物生理试验 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- Hao Z B, Cang J, Xu Z. Plant physiological experiment [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004. (in Chinese)
- [17] 赵进春, 龚 欣, 刘立军. 苹果不同品种斑点落叶病发病情况调查 [J]. 中国南方果树, 2001, 30(6): 58-59.
- Zhao J C, Gong X, Liu L J. Occurrence investigation of Apple Spot Disease in different apple varieties [J]. South China Fruits, 2001, 30(6): 58-59. (in Chinese)
- [18] 林杰斌, 陈 湘, 刘明德. SPSS11 统计分析实务设计宝典 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002: 230-244.
- Lin J B, Chen X, Liu M D. Statistical analysis and practical design of SPSS11 [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2002: 230-244. (in Chinese)
- [19] 束怀瑞. 苹果学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- Shu H R. Apple science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996. (in Chinese)
- [20] 谢为龙, 冷怀琼. 苹果褐斑病的研究 II: 品种间抗病性差异与理化性状的关系 [J]. 四川农业大学学报, 1990(1): 51-54.
- Xie W L, Leng H Q. Studies on apple blotch II: Relation between the resistance of apple cultivars and their physical and physiological characters [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1990(1): 51-54. (in Chinese)
- [21] Beck D L. Disease resistance mechanism in plant and their microbial and metabolic regulation [J]. Crop Sci, 1983, 23(5): 995-998.
- [22] 庞士铨. 植物逆境生理学基础 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1990.
- Pang S C. Plant stress physiology [M]. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1990. (in Chinese)
- [23] Goodman R N, Kiraly Z, Wood K R. The biochemistry and physiology of plant disease [M]. Columbia: Univ of Missouri Press, 1986.
- [24] 江昌俊, 余有本. 苯丙氨酸解氨酶的研究进展 [J]. 安徽农业大学学报, 2001, 28(4): 425-430.
- Jiang C J, Yu Y B. Advance in phenylalanine ammonia-lyase, PAL [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2001, 28(4): 425-430. (in Chinese)