

不同桃砧木品种对淹水的光合响应及其耐涝性评价

马瑞娟*, 张斌斌, 蔡志翔, 沈志军, 俞明亮

(江苏省农业科学院园艺研究所, 南京 210014)

摘要: 以 10 个桃砧木品种 (毛桃、毛桃 2 号、山桃、筑波 5 号、桃巴旦、陕西桃巴旦、Nemaguard、GF305、GF43 和 GF1869) 的 1 年生苗为材料, 对其在持续淹水胁迫下叶片的光合特性进行测定, 发现不同品种的各项光合生理指标变化幅度不同。以各项指标的耐涝系数作为衡量指标, 利用主成分分析将 8 个单项光合指标综合成 2 个独立的综合指标, 通过隶属函数分析将 10 个品种划分为 3 类: GF43 和 GF1869 强耐涝, 毛桃、毛桃 2 号、筑波 5 号、桃巴旦、陕西桃巴旦、Nemaguard 和 GF305 中等耐涝, 山桃不耐涝。

关键词: 桃; 砧木; 耐涝性; 光合生理指标; 主成分分析; 综合评价

中图分类号: S 662.1

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2013) 03-0409-08

Evaluation of Peach Rootstock Waterlogging Tolerance Based on the Responses of the Photosynthetic Indexes to Continuous Submergence Stress

MA Rui-juan*, ZHANG Bin-bin, CAI Zhi-xiang, SHEN Zhi-jun, and YU Ming-liang

(*Institute of Horticulture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China*)

Abstract: The effective evaluation of waterlogging tolerance of different peach rootstock cultivars is necessary for the proper choice of suitable cultivars in production areas usually have waterlogging phenomenon. The experiment was conducted at peach experimental orchard of Jiangsu Academy of Agricultural Sciences with one-year-old seedlings of 10 peach rootstock cultivars. The photosynthetic indexes were measured for evaluating the waterlogging tolerance. It was found that the change range of each index was inconsistent in different cultivars. Based on the changes of the photosynthetic indexes in response to submergence stress, the eight single indexes could be classified into two independent comprehensive components through principal component analysis. Based on subordinate functional analysis the ten peach rootstock cultivars were divided into three groups, namely high, medium and poor waterlogging tolerance cultivar group. GF43 and GF1869 belonged to high waterlogging-tolerance type; Maotao, Maotao 2, Tsukuba 5, Taobadan, Shaanxi Taobadan, Nemaguard and GF305 belonged to medium waterlogging-tolerance type; Shantao belonged to poor waterlogging-tolerance type.

Key words: peach; rootstock; waterlogging tolerance; photosynthetic index; principal component analysis; comprehensive evaluation

收稿日期: 2012-10-10; **修回日期:** 2013-02-25

基金项目: 农业部种质保护项目 (NB2010-2130135-7); 农业行业科研专项 (037); 现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-31)

* E-mail: rjmajaas@yahoo.com.cn

中国南方地处亚热带或热带季风气候区,雨量充沛,桃树生长期不仅降雨次数多,而且强度大,尤其是梅雨季节,存在着涝渍相伴相随的特点(李德明等,2010)。涝渍胁迫对植物的危害主要是由于水分过多所诱导的次生胁迫,如低氧或缺氧(Philipson & Coutts, 1980; Aschi-smitti et al., 2003; Lin et al., 2004; Irfan et al., 2010),进而影响植物的生长发育。涝渍胁迫可大幅抑制植物的生长并诱发早衰(Sairam et al., 2008)。

1965年,美国学者Zadeh提出了模糊集合的概念,给出了隶属函数的定义(Zadeh, 1965),作为刻画模糊事物中有关差异的中间过渡的数学模型,几十年来,隶属函数值法不断完善并得到广泛应用。有研究指出(王树刚等,2011),隶属函数值法评价植物抗逆性有一定的局限性,而主成分分析法能够充分考虑各指标之间的信息重叠,可以在不损失或很少损失原有信息的前提下,将原来个数较多而且彼此相关的指标转换成新的个数较少且彼此独立的综合指标。在此基础上,求出所有品种的每一个综合指标值及其相应的隶属函数值,然后进行加权,便可得到各品种抗逆性的综合评价,较为全面地对不同品种的抗逆性进行评价(周广生等,2003a; 王树刚等,2011)。该方法在植物优株选择、品质鉴定和抗性评价中已得到广泛应用(周广生等,2003a; 马庆华等,2010; 张斌斌等,2011a)。

砧木对改善土壤性状、改变接穗长势、延长树龄和抵抗病虫害至关重要(Baciu et al., 2009)。郭洪等(1999)对桃砧木在淹水条件下的形态反应及生长量进行了观测,马焕普等(2006)从根茎叶的解剖结构、气孔密度、叶片受害程度、叶绿素含量、根冠比以及落叶和死亡率等方面对桃砧木的耐涝性进行了分析,这些方法工作量较大。利用相关光合指标进行抗逆性筛选具有不伤植株、间接评价、方便易行的优点(张斌斌等,2011b),在植物引种、育种及砧木筛选中应用前景广阔。在中国,不同桃产区所用的砧木存在差异,且多为本地区的使用习惯,对不同砧木的抗性了解尚不全面。本试验中研究桃不同砧木品种对淹水胁迫反应机制的特点,以期建立桃砧木品种耐涝种质筛选和耐涝评价体系,并为探讨耐涝机理提供一定的理论依据,同时筛选耐涝性强的砧木,为生产利用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料及处理

试验于2010年在江苏省农业科学院桃试验园进行。试验材料选用生长基本一致的1年生盆栽毛桃、毛桃2号、山桃、筑波5号、桃巴旦、陕西桃巴旦、Nemaguard、GF305实生苗以及GF43和GF1869李组培苗。盆内径20 cm,深17 cm,盆土为普通园土,每盆装土量一致,常规管理。

试验设正常浇水(对照)和持续淹水2个处理,淹水处理于7月31日开始进行。试验开始前将2个处理的试验材料分别置于水泥池中,上方搭建避雨棚,棚内通风透光,每处理30盆,随机区组设计,3次重复。试验过程中对照正常浇水,并及时补充水分,使土壤含水量为田间持水量的75%~80%,淹水胁迫处理则保持水面高出土面2~3 cm。试验期间每天对材料进行观察,记录出现黄叶的时间和涝致死时间。根据预备试验的初步鉴定,淹水12 d,大部分砧木幼苗显现不同程度涝害(叶片出现萎蔫和黄叶),但尚未致死,因此,选定淹水胁迫12 d(8月11日)时进行光合指标的测定。

1.2 测定指标及测定方法

测定时天气晴朗,选取新梢中部向阳面生长健康的功能叶,自9:00—10:00用英国PP-System公司的CIRAS-1型光合测定系统采用开放式气路在完全模拟自然环境的条件下测定叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和细胞间隙 CO_2 浓度(C_i)等光合参数。每次测定5次

重复, 取平均值。水分利用效率 (WUE) = P_n/T_r (Nijs et al., 1997), 气孔限制值 (L_s) = $1 - C_i/C_a$ (C_a 为大气 CO_2 浓度) (Farquhar & Sharkey, 1982), 表观光能利用效率 (LUE) = P_n/PFD (PFD 为光子通量密度) (Long et al., 1993), 表观 CO_2 利用效率 (CUE) = P_n/C_i (何维明和马风云, 2000)。

1.3 数据统计分析

耐涝系数计算: 以各单项光合指标的测定值进行耐涝系数计算, 耐涝系数 α (%) = (处理测定值/对照测定值) $\times 100$, 并计算各耐涝系数的相关系数。

耐涝系数的主成分分析: 对单项光合指标的耐涝系数进行主成分分析, 将原来的单项指标转换为新的独立的综合指标。

隶属函数分析: 综合指标的隶属函数值用周广生等 (2003a) 的公式求得。 $U(X_j) = (X_j - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$, $j = 1, 2, \dots$, 式中 X_j 表示第 j 个综合指标, X_{min} 表示第 j 个综合指标最小值, X_{max} 表示第 j 个综合指标最大值。根据以上公式可求出每个桃砧木品种所有综合指标的隶属函数值。

权重的确定: 根据综合指标贡献率的大小求出各综合指标的权重 (谢志坚, 1993)。 $W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j$, $j = 1, 2, \dots$ 。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, P_j 为各品种第 j 个综合指标的贡献率。

综合评价: 根据钮福祥等 (1999) 的公式计算桃砧木品种的综合耐涝能力。 $D = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \times W_j]$, $j = 1, 2, \dots$ 。式中 D 值为桃砧木品种在淹水胁迫条件下用综合指标评价所得的耐涝性综合评价值。

数据分析: 用 SPSS13.0 软件对数据进行差异显著性分析, DPS v7.05 软件进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 淹水胁迫下不同桃砧木品种的表现适应性

从表 1 可以看出, 毛桃 2 号和筑波 5 号在淹水 6 d 时出现黄叶现象, 除山桃 (15 d) 和 GF305 (15 d) 外的其他桃品种出现黄叶的时间也少于 10 d, 而李品种 GF43 和 GF1869 在 45 d 时仍未出现黄叶现象。从涝致死时间看, 筑波 5 号致死最快, 为 15 d, 其他桃品种介于 17~25 d 之间, GF43 和 GF1869 在试验 45 d 中未出现致死现象, 表明作为桃砧木用的李品种耐涝性较桃品种强。

表 1 淹水胁迫下不同桃砧木品种出现黄叶时间及涝致死时间

Table 1 The stage that leaf became yellow and lethal time of different peach rootstock cultivars to submergence stress

品种名称 Cultivar	学名 Scientific name	原产地或来源地 Origin	出现黄叶时间/d Leaf became yellow time	涝致死时间/d Lethal time
毛桃 Maotao	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	中国江苏 Jiangsu, China	7	20
毛桃 2 号 Maotao 2	<i>P. persica</i> (L.) Batsch	中国浙江 Zhejiang, China	6	17
山桃 Shantao	<i>P. davidiana</i> (Carr.) Franch	中国陕西 Shaanxi, China	15	25
筑波 5 号 Tsukuba 5	<i>P. persica</i> (L.) Batsch	日本筑波 Tsukuba, Japan	6	15
桃巴旦 Taobadan	<i>P. dulcis</i> Mill.	中国新疆 Xinjiang, China	7	20
陕西桃巴旦 Shaanxi Taobadan	<i>P. dulcis</i> Mill.	中国陕西 Shaanxi, China	8	20
Nemaguard	<i>P. persica</i> (L.) Batsch	美国佐治亚 Georgia, USA	8	20
GF305	<i>P. persica</i> (L.) Batsch	法国波尔多 Bordeaux, France	15	25
GF43	<i>P. domestica</i> L.	法国波尔多 Bordeaux, France	> 45	> 45
GF1869	<i>P. spinosa</i> L.	法国波尔多 Bordeaux, France	> 45	> 45

2.2 淹水胁迫下不同桃砧木品种的光合响应

由表 2 可知, 淹水胁迫下毛桃、毛桃 2 号、山桃、筑波 5 号、桃巴旦、陕西桃巴旦、Nemaguard

和 GF305 的 P_n 、 T_r 、 G_s 、 WUE 、 LUE 、 CUE 和 L_s 等指标均显著下降 (Nemaguard 的 L_s 下降不显著), 而 C_i 均显著上升, 不同品种各指标变化幅度不一致。对 GF43 而言, 淹水处理的 WUE 、 CUE 和 L_s 显著上升, T_r 、 G_s 和 C_i 显著下降, P_n 和 LUE 与对照差异不显著; 而 GF1869 的 L_s 显著上升, T_r 、 G_s 、 C_i 和 LUE 显著下降, P_n 和 CUE 与对照差异不显著。以上结果表明, 淹水胁迫总体上降低了桃砧木品种的光合作用, 但不同品种也表现出不同抗性, 如 GF43 和 GF1869 的 P_n 变化幅度小, GF43 对光能、GF1869 对 CO_2 都能保持较高的利用效率, 从而表现出一定的耐涝性, 与试验观察的表现现象 (表 1) 吻合。

表 2 淹水胁迫下不同桃砧木品种光合特性比较

Table 2 Comparison of peach rootstock cultivars' photosynthetic characteristics to submergence stress

品种名称 Cultivar	处理 Treatment	$(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$			C_i $(\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1})$	$(\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1})$			L_s
		P_n	T_r	G_s		WUE	LUE	CUE	
毛桃 Maotao	对照 Control	11.433 a	5 360 a	252.000 a	259.333 b	2.136 a	9.223 a	0.044 a	0.316 a
	淹水 Submergence	-0.367 b	1 110 b	33.333 b	406.000 a	-0.331 b	-0.304 b	-0.001 b	-0.047 b
毛桃 2 号 Maotao 2	对照 Control	17.067 a	5 233 a	261.333 a	225.333 b	3.269 a	14.342 a	0.076 a	0.403 a
	淹水 Submergence	0.400 b	1 250 b	37.667 b	344.000 a	0.320 b	0.333 b	0.001 b	0.107 b
山桃 Shantao	对照 Control	14.300 a	5 827 a	327.333 a	259.667 b	2.460 a	11.962 a	0.055 a	0.317 a
	淹水 Submergence	-2.500 b	430 b	12.333 b	704.000 a	-5.850 b	-2.100 b	-0.004 b	-0.816 b
筑波 5 号 Tsukuba 5	对照 Control	13.800 a	5 007 a	246.333 a	239.333 b	2.776 a	11.460 a	0.058 a	0.379 a
	淹水 Submergence	-0.233 b	1 257 b	37.000 b	384.333 a	-0.193 b	-0.195 b	-0.001 b	0.017 b
桃巴旦 Taobadan	对照 Control	15.300 a	6 137 a	337.333 a	254.333 b	2.498 a	12.783 a	0.061 a	0.330 a
	淹水 Submergence	-0.867 b	1 363 b	44.667 b	406.333 a	-0.649 b	-0.708 b	-0.002 b	-0.049 b
陕西桃巴旦 Shaanxi Taobadan	对照 Control	16.800 a	6 373 a	365.667 a	247.000 b	2.648 a	13.920 a	0.068 a	0.345 a
	淹水 Submergence	-0.500 b	1 133 b	35.000 b	384.667 a	-0.444 b	-0.415 b	-0.001 b	0.003 b
Nemaguard	对照 Control	15.167 a	5 713 a	313.333 a	253.000 b	2.675 a	12.616 a	0.060 a	0.342 a
	淹水 Submergence	2.033 b	1 530 b	44.333 b	292.000 a	1.331 b	1.679 b	0.007 b	0.255 a
GF305	对照 Control	17.700 a	6 150 a	331.333 a	241.333 b	2.879 a	15.124 a	0.073 a	0.365 a
	淹水 Submergence	1.200 b	1 603 b	49.000 b	325.333 a	0.758 b	1.001 b	0.004 b	0.151 b
GF43	对照 Control	19.533 a	5 940 a	350.000 a	233.667 a	3.294 b	16.275 a	0.084 b	0.396 b
	淹水 Submergence	19.833 a	5 370 b	262.667 b	197.333 b	3.696 a	16.581 a	0.101 a	0.480 a
GF1869	对照 Control	15.833 a	5 527 a	294.000 a	246.000 a	2.868 b	13.227 a	0.064 a	0.365 b
	淹水 Submergence	13.367 a	3 770 b	152.333 b	196.000 b	3.559 a	10.986 b	0.068 a	0.488 a

$P < 0.05$.

2.3 各单项光合指标的耐涝系数及其相关分析

由表 3 可以看出, 无论是不同品种的同—指标还是同一品种的不同指标耐涝系数均不相同, 有的表现为上升 ($\alpha > 100\%$), 有的则表现为下降 ($\alpha < 100\%$)。因此, 以不同单项光合指标的耐涝系数评价桃砧木品种的耐涝性, 所得结果也不相同。这表明, 桃砧木品种的耐涝性是一个综合性状, 用某一单项光合指标评价其耐涝性存在片面性, 相同条件下单一指标表征不同品种的耐涝性存在差异, 不能得出较为科学的结果。

表 3 各单项光合指标的耐涝系数 (α)

Table 3 Waterlogging-resistance coefficient (α value) of each single photosynthetic index

品种名称 Cultivar	P_n	T_r	G_s	C_i	WUE	LUE	CUE	L_s	%
毛桃 Maotao	-3.21	20.71	13.23	156.56	-15.49	-3.30	-2.04	-14.72	
毛桃 2 号 Maotao 2	2.34	23.89	14.41	152.66	9.79	2.32	1.53	26.46	
山桃 Shantao	-17.50	7.38	3.77	271.12	-237.80	-17.55	-6.40	-257.50	
筑波 5 号 Tsukuba 5	-1.69	25.10	15.02	160.58	-6.93	-1.70	-1.03	4.52	
桃巴旦 Taobadan	-5.66	22.22	13.24	159.76	-25.97	-5.54	-3.50	-14.76	
陕西桃巴旦 Shaanxi Taobadan	-2.98	17.78	9.57	155.74	-16.76	-2.98	-1.90	0.84	
Nemaguard	13.41	26.78	14.15	115.42	49.75	13.31	11.59	74.51	
GF305	6.78	26.07	14.79	134.81	26.31	6.62	5.03	41.30	
GF43	101.50	90.40	75.05	84.45	112.22	101.88	119.90	121.47	
GF1869	84.42	68.21	51.81	79.67	124.09	83.06	105.79	133.73	

从各单项光合指标耐涝系数的相关系数矩阵可以看出(表4),除 CUE 与 L_s 无明显相关外,其他指标间均显著或极显著相关,其中各单项光合指标与 C_i 显著或极显著负相关,其他指标间均显著或极显著正相关。这都使各指标提供的信息发生重叠,各单项光合指标在桃砧木品种耐涝性评价中所起的作用不尽相同,若直接以这些指标进行耐涝性评价,则评价结果并不准确。因此,运用主成分分析法对其进行综合评价。

表4 各单项光合指标耐涝系数(α)的相关系数矩阵
Table 4 Correlation matrix of waterlogging-resistance coefficient (α value)

指标 Index	P_n	T_r	G_s	C_i	WUE	LUE	CUE	L_s
P_n	1							
T_r	0.989**	1						
G_s	0.982**	0.996**	1					
C_i	-0.762*	-0.765*	-0.713*	1				
WUE	0.737*	0.745*	0.692*	-0.995**	1			
LUE	1**	0.990**	0.983**	-0.762*	0.736**	1		
CUE	0.994**	0.978**	0.977**	-0.696*	0.668*	0.994**	1	
L_s	0.693*	0.702*	0.646*	-0.990**	0.997**	0.693*	0.619	1

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$ 。

2.4 主成分分析

对8个单项光合指标的耐涝系数进行主成分分析。前2个综合指标(Z_1 、 Z_2)的贡献率分别为86.0931%和13.3449%,累计贡献率达99.4380%。这表明,前2个综合指标代表了原有8个指标的99.4380%的信息,可分别用这2个主成分对桃砧木品种耐涝性进行概括分析。它们对应的特征向量表达式分别为:第一主成分 $Z_1 = 0.3694 P_n + 0.3697 T_r + 0.3612 G_s - 0.3405 C_i + 0.3344 WUE + 0.3695 LUE + 0.3581 CUE + 0.3223 L_s$;第二主成分 $Z_2 = 0.2295 P_n + 0.2173 T_r + 0.2855 G_s + 0.4302 C_i - 0.4626 WUE + 0.2307 LUE + 0.3176 CUE - 0.5150 L_s$ 。

由以上表达式可知, Z_1 式中 P_n 、 T_r 、 G_s 、 LUE 和 CUE 的系数较大, Z_2 式中 C_i 的系数最大。

2.5 综合分析

以所有综合指标的数值为原始依据,进行隶属函数分析,所得隶属函数值见表5。对同一综合指标,如 Z_1 而言,GF43的 $U(X_1)$ 最大,在 Z_1 这一综合指标上表现最耐涝,而山桃则最小,在这一综合指标上表现最不耐涝,由主成分表达式可知 Z_1 中系数较大的指标与耐涝性均正相关,从而真实反映了各砧木品种的耐涝性。而山桃的 $U(X_2)$ 最大,在 Z_2 这一综合指标上表现最耐涝,Nemaguard

表5 各品种的综合指标值、隶属函数值、D值及综合评价
Table 5 The value of each cultivar's comprehensive index, subordinate function value, value D and comprehensive valuation

品种名称 Cultivar	综合指标值 Comprehensive index		隶属函数值 Subordinate function value		D	耐涝性 Waterlogging tolerance
	Z_1	Z_2	$U(X_1)$	$U(X_2)$		
毛桃 Maotao	-1.1480	-0.3597	0.3169	0.2106	0.3026	中等 Medium
毛桃2号 Maotao 2	-0.6996	-0.5869	0.3644	0.1473	0.3353	中等 Medium
山桃 Shantao	-4.1384	2.4738	0	1.0000	0.1342	弱 Poor
筑波5号 Tsukuba 5	-0.9497	-0.3748	0.3379	0.2064	0.3202	中等 Medium
桃巴旦 Taobadan	-1.2405	-0.3055	0.3071	0.2257	0.2962	中等 Medium
陕西桃巴旦 Shaanxi Taobadan	-1.1983	-0.5090	0.3115	0.1690	0.2924	中等 Medium
Nemaguard	0.1739	-1.1157	0.4569	0	0.3956	中等 Medium
GF305	-0.3232	-0.7929	0.4043	0.0899	0.3621	中等 Medium
GF43	5.2989	1.2766	1.0000	0.6665	0.9552	强 High
GF1869	4.2251	0.2940	0.8862	0.3927	0.8200	强 High
权重 Index weight			0.8658	0.1342		

则表现为最不耐涝, 由主成分表达式可看出 C_1 在 Z_2 表达式中系数最大, 其与耐涝性负相关, 因此山桃的最耐涝表现是一种假象。

根据综合评价值(D 值), 对供试桃砧木品种的耐涝性进行排序。发现 GF43 的 D 值最大(0.9552), 表明其最耐涝; GF1869 的 D 值为 0.8200, 耐涝性次之; 山桃的 D 值最小(0.1342), 表明其最不耐涝; 其他桃砧木品种的 D 值介于 0.2924~0.3956 之间, 耐涝性中等。

3 讨论

叶片是植物外部形态对逆境胁迫反应最敏感的器官, 也是光合作用的主要机构, 用叶片光合生理特性的变化可指示植物的耐涝性, 且光合测定具有无损、方便、快速等优点, 在植物耐涝性评价中具有较高的利用价值。多数研究表明, 植物在淹水胁迫下光合作用降低 (Mcfarlane et al., 2003; Ashraf, 2012), 有研究指出, 淹水植物早期光合速率的降低跟气孔的关闭有关, 从而导致了叶片吸收的 CO_2 降低 (Pezeshki et al., 1996; Malik et al., 2001)。本研究中, 淹水处理下 GF1869 的 P_n 较对照降低了 15.6%, C_i 降低而 L_s 升高, 表明气孔导度降低是叶片光合速率降低的主要原因 (Farquhar & Sharkey, 1982); 淹水处理的毛桃、毛桃 2 号、山桃、筑波 5 号、桃巴旦、陕西桃巴旦、Nemaguard 和 GF305 的 P_n 下降, 同时伴随着 C_i 升高和 L_s 降低, 表明叶片光合速率降低的主要原因是非气孔因素, 从表 3 可反映出, 这 8 个品种的 WUE 、 LUE 和 CUE 均显著降低, 说明试验测定时叶片的水分利用机能、光能利用机能和羧化机能已遭胁迫破坏。

桃的砧木育种目前在北美、南美、欧洲、非洲、澳大利亚和亚洲研究较多 (Reighard, 2001), 耐涝砧木的筛选和推广对降水频繁、降水量大地区的桃栽培具有重要意义。植物耐涝性是一个综合性状, 耐涝指标的准确选取影响到评价结果的科学性。周广生等 (2003a, 2003b) 分别用不同数量 (13 个和 30 个) 单项指标对相同的 12 份小麦种质资源耐涝性进行了评价, 所得结果趋于一致。因此, 多指标综合对植物耐涝性评价和预测是可行的, 指标的分类选取是关键。前人进行种质资源耐涝性评价筛选多集中于农艺性状 (王军 等, 2007) 和生理生化性状 (曾小玲 等, 2011) 等的比较研究, 利用光合指标结合主成分分析法和隶属函数分析法进行耐涝种质筛选的研究尚不多见。研究表明, 李的耐涝性极强 (郭洪 等, 1999), 筑波 5 号、毛桃和山桃的耐涝性排序为由强到弱 (马焕普 等, 2006), 本研究中, 李品种 GF43 和 GF1869 的耐涝性在供试砧木中最强, 筑波 5 号、毛桃和山桃的综合评价值 (D) 分别为 0.3202、0.3026 和 0.1342, 耐涝性排序与前人的评价结果一致。

作物的抗逆性是一个受多种因素影响的复杂的数量性状, 且不同品种的抗逆机制存在差异, 从而使得不同品种在逆境条件下对某一具体指标的反应也不尽相同。因而单一指标难以全面准确地反映作物品种抗逆性的强弱, 应用多指标来综合评价作物对逆境的适应能力 (王树刚 等, 2011)。采用综合指标方法进行评价能克服单一指标评价的缺点, 可全面、准确地评价植物的抗性 (隋德宗 等, 2011)。该过程的实现首先需计算出每个品种的抗逆系数, 通过主成分分析得到各综合指标值, 根据各综合指标的贡献率, 运用隶属函数法和综合 D 值法进行计算分析, 它提供了一条在多指标测定基础上对材料抗逆性进行综合评价的途径 (张智猛 等, 2011)。本研究中用主成分分析法对 10 个桃砧木品种 8 个光合生理指标的耐涝系数进行了分析, 将 8 个独立指标转化成 2 个独立的综合指标, 对综合指标值及相应的隶属函数值加权, 得到耐涝性的综合评价值 (D), 同时对 10 个品种的耐涝性进行了排序, 耐涝性强弱依次为 GF43、GF1869、Nemaguard、GF305、毛桃 2 号、筑波 5 号、毛桃、桃巴旦、陕西桃巴旦和山桃, 由此可见, 山桃为所选试验材料中耐涝性最差的砧木, 而从表 2 看, 其出现黄叶时间和涝致死时间并非最短, 可能短期淹水胁迫锻炼使其细胞膜稳定性短时增强, 使表观变化与光合指标反应不一致, 其机理有待进一步研究。淹水的主要危害在于水分过多导致的低氧

或缺氧胁迫, 这种胁迫可导致桃砧木品种光合能力的下降, 与根际缺氧引起的电子传递下降, 根系呼吸作用变化和氧化磷酸化过程受阻等密切相关。从文中不同光合指标尤其是 P_n 的耐涝系数可以看出, 其与综合评价值 (D) 大小顺序基本一致, 而从植株对淹水的直观表现可知, 对 GF43、GF1869、GF305 和 Nemaguard 而言与 D 值相吻合, 其他品种则与 D 值不尽一致, 推测淹水胁迫下植株内部机能的失调与表观适应性的变化不同步。以桃砧木品种叶片的光合响应为衡量指标结合隶属函数法和主成分分析法评价其耐涝性, 应以综合评价值 (D) 为参考依据, 方可使评价结果更为可靠、可行。

References

- Aschi-smiti S, Chaïbi W, Brouquisse R, Ricard B, Saglio P. 2003. Assessment of enzyme induction and aerenchyma formation as mechanisms for flooding tolerance in *Trifolium subterraneum* 'Park'. *Annals of Botany*, 91 (2): 195 - 204.
- Ashraf M A. 2012. Waterlogging stress in plants: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 7 (13): 1976 - 1981.
- Baciu A, Cosmulescu S, Botu I, Gruia M, Visanu F. 2009. Research on new generative rootstocks for peach trees (*Prunus persica* L. Batsch). *Bulletin UASVM Horticulture*, 66 (1): 115 - 119.
- Farquhar G D, Sharkey T D. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 33: 317 - 345.
- Guo Hong, Zhao Mi-zhen, Zhou Jian-tao. 1999. Waterlogging resistance of lots of peach rootstocks. *South China Fruits*, 28 (2): 47 - 48. (in Chinese)
- 郭洪, 赵密珍, 周建涛. 1999. 若干桃砧木的抗涝性. *中国南方果树*, 28 (2): 47 - 48.
- He Wei-ming, Ma Feng-yun. 2000. Effects of water gradient on fluorescence characteristics and gas exchange in *Sabina vulgaris* seedlings. *Acta Phytocologica Sinica*, 24 (5): 630 - 634. (in Chinese)
- 何维明, 马风云. 2000. 水分梯度对沙地柏幼苗荧光特征和气体交换的影响. *植物生态学报*, 24 (5): 630 - 634.
- Irfan M, Hayat S, Hayat Q, Afroz S, Ahmad A. 2010. Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging. *Protoplasma*, 241 (1 - 4): 3 - 17.
- Li De-ming, Zhang Xiu-juan, Chen Juan. 2010. Photosynthesis and related physiological characteristics affected by waterlogging in plant. *Northern Horticulture*, (5): 210 - 212. (in Chinese)
- 李德明, 张秀娟, 陈娟. 2010. 涝渍对植物光合作用的影响及其生理危害. *北方园艺*, (5): 210 - 212.
- Lin K H R, Weng C C, Lo H F, Chen J T. 2004. Study of the root antioxidative system of tomatoes and eggplants under waterlogged conditions. *Plant Science*, 167 (2): 355 - 365.
- Long S P, Baker N R, Rains C A. 1993. Analyzing the responses of photosynthetic CO_2 assimilation to long-term elevation of atmospheric CO_2 concentration. *Vegetatio*, 104/105 (1): 33 - 45.
- Malik A I, Colmer T D, Lambers H, Schortemeyer M. 2001. Changes in physiological and morphological traits of roots and shoots of wheat in response to different depths of waterlogging. *Australian Journal of Plant Physiology*, 28 (11): 1121 - 1131.
- Ma Huan-pu, Liu Zhi-min, Zhu Hai-wang, Jia Ke-gong. 2006. Comparison and observation of waterlogging resistance and anatomical structure of peach rootstocks. *Journal of Beijing Agricultural College*, 21 (2): 1 - 4. (in Chinese)
- 马焕普, 刘志民, 朱海旺, 贾克功. 2006. 几种桃砧木的耐涝性及其解剖结构的观察比较. *北京农学院学报*, 21 (2): 1 - 4.
- Ma Qing-hua, Li Yong-hong, Liang Li-song, Li Qin, Wang Hai, Xu Yuan-feng, Sun Yu-bo, Wang Gui-xi. 2010. Factor analysis and synthetical evaluation of the fruit quality of Dongzao (*Ziziphus jujuba* Mill. 'Dongzao') advanced selections. *Scientia Agricultura Sinica*, 43 (12): 2491 - 2499. (in Chinese)
- 马庆华, 李永红, 梁丽松, 李琴, 王海, 许元峰, 孙玉波, 王贵禧. 2010. 冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合评价. *中国农业科学*, 43 (12): 2491 - 2499.
- Mcfarlane N M, Ciavarella T A, Smith K F. 2003. The effects of waterlogging on growth, photosynthesis and biomass allocation in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) genotypes with contrasting root development. *The Journal of Agricultural Science*, 141 (2): 241 - 248.
- Nijs I, Ferris R, Blum H. 1997. Stomatal regulation in a changing climate: A field study using free air temperature increase (FATI) and free air CO_2 enrichment (FACE). *Plant Cell and Environment*, 20 (8): 1041 - 1050.

- Niu Fu-xiang, Hua Xi-xin, Guo Xiao-ding, Zou Jing-yu, Li Hong-min, Ding Cheng-wei. 1999. Studies on several physiological indexes of the drought resistance of sweet potato and its comprehensive evaluation. *Acta Agronomica Sinica*, 22 (4): 393 - 398. (in Chinese)
- 钮福祥, 华希新, 郭小丁, 邹景禹, 李洪民, 丁成伟. 1999. 甘薯品种抗旱性生理指标及其综合评价初探. *作物学报*, 22 (4): 393 - 398.
- Pezeshki S R, Pardue J H, DeLaune R D. 1996. Leaf gas exchange and growth of flood-tolerant and flood-sensitive tree species under low soil redox conditions. *Tree Physiology*, 16 (4): 453 - 458.
- Philipson J J, Coutts P P. 1980. The tolerance of tree roots to waterlogging. *New Physiologists*, 85: 489 - 531.
- Reighard G L. 2001. Current directions of peach rootstock programs worldwide. *Acta Horticulturae*, 592: 421 - 428.
- Sairam R K, Kumutha D, Ezhimathi K, Deshmukh P S, Srivastava G C. 2008. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. *Biologia Plantarum*, 52 (3): 401 - 412.
- Sui De-zong, Wang Bao-song, Shi Shi-zheng, Jiao Zhong-yi. 2011. Selection of identification index and comprehensive evaluation of salt tolerance at seeding stage of shrub willow clones. *Journal of Northwest Forestry University*, 26 (1): 61 - 64. (in Chinese)
- 隋德宗, 王保松, 施士争, 教忠意. 2011. 灌木柳无性系苗期耐盐性指标的筛选和综合评价. *西北林学院学报*, 26 (1): 61 - 64.
- Wang Jun, Zhou Mei-xue, Xu Ru-gen, Lü Chao, Huang Zu-liu. 2007. Studies on selecting indices and evaluation methods for barley's (*Hordeum vulgare* L.) waterlogging tolerance. *Scientia Agricultura Sinica*, 40 (10): 2145 - 2152. (in Chinese)
- 王 军, 周美学, 许如根, 吕 超, 黄祖六. 2007. 大麦耐湿性鉴定指标和评价方法研究. *中国农业科学*, 40 (10): 2145 - 2152.
- Wang Shu-gang, Wang Zhen-lin, Wang Ping, Wang Hai-wei, Li Fu, Huang Wei, Wu Yu-guo, Yin Yan-ping. 2011. Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress. *Acta Ecologica Sinica*, 31 (4): 1064 - 1072. (in Chinese)
- 王树刚, 王振林, 王 平, 王海伟, 李 府, 黄 玮, 武玉国, 尹燕萍. 2011. 不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价. *生态学报*, 31 (4): 1064 - 1072.
- Xie Zhi-jian. 1983. Method of fuzzy mathematics in agricultural science. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press. (in Chinese)
- 谢志坚. 1983. 农业科学中的模糊数学方法. 武汉: 华中理工大学出版社.
- Zadeh L A. 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8: 338 - 353.
- Zeng Xiao-ling, Fang Shu-gui, Chen Wen-hui, Zhong Kai-qin, Huang Jian-du. 2011. Waterlogging tolerance of seventeen chinese cabbages of different genotypes. *Fujian Journal of Agricultural Science*, 26 (1): 64 - 69. (in Chinese)
- 曾小玲, 方淑桂, 陈文辉, 钟开勤, 黄建都. 2011. 不同基因型大白菜耐湿性综合评价. *福建农业学报*, 26 (1): 64 - 69.
- Zhang Bin-bin, Yu Ming-liang, Xu Jian-lan, Zhang Yu-yan, Song Hong-feng. 2011a. Study on photosynthetic characteristics in leaves and individual-plant selection from filial generation (F_1) of willow-leaf peach and standard-leaf peach. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 20 (7): 138 - 142. (in Chinese)
- 张斌斌, 俞明亮, 许建兰, 张好艳, 宋宏峰. 2011a. 窄叶桃与普通叶片桃杂交子代 (F_1) 光合特性评价及单株优选. *西北农业学报*, 20 (7): 138 - 142.
- Zhang Bin-bin, Jiang Wei-bing, Han Jian, Hua Xiang-ping, Xie Zhi-hua, Yu Ming-liang. 2011b. Research on heterosis of photosynthetic characteristics of peach. *Acta Horticulturae Sinica*, 38 (1): 25 - 34. (in Chinese)
- 张斌斌, 姜卫兵, 韩 键, 化香平, 谢智华, 俞明亮. 2011b. 桃光合性状杂种优势研究. *园艺学报*, 38 (1): 25 - 34.
- Zhang Zhi-meng, Wan Shu-bo, Dai Liang-xiang, Song Wen-wu, Chen Jing, Shi Yun-qing. 2011. Response of different peanut varieties to drought stress. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 19 (3): 631 - 638. (in Chinese)
- 张智猛, 万书波, 戴良香, 宋文武, 陈 静, 石运庆. 2011. 不同花生品种对干旱胁迫的响应. *中国生态农业学报*, 19 (3): 631 - 638.
- Zhou Guang-sheng, Mei Fang-zhu, Zhou Zhu-qing, Zhu Xu-tong. 2003a. Comprehensive evaluation and forecast on physiological indices of waterlogging resistance of different wheat varieties. *Scientia Agricultura Sinica*, 36 (11): 1378 - 1382. (in Chinese)
- 周广生, 梅方竹, 周竹青, 朱旭彤. 2003a. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测. *中国农业科学*, 36 (11): 1378 - 1382.
- Zhou Guang-sheng, Mei Fang-zhu, Zhou Zhu-qing, Zhu Xu-tong. 2003b. Comprehensive evaluation on waterlogging resistance of different wheat varieties. *Journal of Biomathematics*, 18 (1): 98 - 104. (in Chinese)
- 周广生, 梅方竹, 周竹青, 朱旭彤. 2003b. 不同小麦品种 (系) 耐湿性的综合评价. *生物数学学报*, 18 (1): 98 - 104.