

新引进苹果矮化中间砧木的抗旱性评价

赵秀明¹, 王 飞¹, 韩明玉¹, 张文娥^{1,2}, 田治国³, 赵 丹³

(1. 西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 贵州大学农学院, 贵州 贵阳 550025;

3. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以法国新引进的矮化砧木法国1号、2号、3号、4号为中间砧,与当前生产上主要应用的M26中间砧(5号)进行比较研究,通过盆栽试验研究了自然干旱胁迫下5种矮化砧穗组合的外观形态和生理代谢变化及解剖结构的变化。结果表明:胁迫50 d复水后的成活率4号组合最高,为100%,3号组合最低,为75%。随着干旱胁迫的加剧各组合的早害指数呈上升趋势,胁迫40 d时4号组合的早害指数最低,为40.00%,3号组合的早害指数最高,为63.78%;胁迫35 d的光合指标表明4号组合的光合作用最强,3号组合最弱。随着胁迫时间的延长,叶片相对含水量呈降低趋势,其中4号组合下降的最少,3号组合下降的最多;脯氨酸与可溶性蛋白的含量呈上升的趋势,其中4号组合的含量最高,保护酶呈先升高后降低的趋势,3种保护酶之间相互协同作用保护植株。解剖结构的结果表明与抗旱指标呈正相关的指标1号组合和4号组合的值较大。利用隶属函数法通过对5种砧木的多种抗旱指标的综合分析,筛选出抗旱性强的砧穗组合并排序,抗旱性强弱为:4号>1号>5号>2号>3号。

关键词:矮化中间砧;抗旱性;隶属函数分析

中图分类号: S661.101 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)04-0105-08

目前,矮化密植栽培是世界苹果生产发展的趋势,应用矮化砧木可使树体矮化、早果丰产,提高果实品质 and 经济效益^[1-2]。前人对于常用的基础以及矮化砧的抗旱性研究较多,但对矮化中间砧与基础组合的抗旱性研究报道较少,我国应用最多的矮化中间砧是M26与M9,目前在所有海棠系基础的应用中,以八棱海棠根系在抗旱、抗涝、抗根部病、耐盐碱方面最为理想,因此在生产中应用最多。由于自根生的矮化砧木抗性相对较差,所以生产上多采用抗性强的基础与矮化中间砧组合。课题组从法国新引进的矮化砧木1、2、3、4号,与生产上主要应用的M26中间砧进行比较研究,基础均为八棱海棠的2年生苗,通过自然干旱胁迫以及抗旱指标的测定分析,筛选出抗旱性强的砧穗组合,为生产上砧木的栽培利用及其杂交育种中砧木亲本的选择奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

2011年3月中旬选取长势均匀一致的八棱海棠为基础,中间砧为M26、法国1号、2号、3号、4号的2年生苗进行盆栽,将发育良好的各砧木组合苗栽入内径为40 cm、高为38 cm的瓦盆中,每盆一株,

盆中装土至盆沿8 cm,土壤为园土:育苗基质=2:1组成。4月中下旬采用插皮接的方法将品种长富2号嫁接到各个砧木组合苗上放入防雨棚内进行试验研究,每组合选择30株,每株主干上留2个枝条,进行正常的栽培管理,等到砧木组合苗生长健壮后再进行水分胁迫处理。

1.2 方法

1.2.1 试验处理及样品采集 对每组合进行两种水分处理,分别为对照(T1):正常水分供应;处理(T2):持续水分胁迫(从开始处理到处理结束不浇水,使其一直干旱)。

将试验盆移入网室的防雨棚内以避免外界水分漏入。从开始控水当天起,每天对处理盆土壤的相对含水量(烘干称重法)进行测量,计算土壤的相对含水量,当土壤含水量达到中度胁迫(土壤含水量达到土壤最大持水量的45%~50%,本研究测得土壤田间持水量为27%)时开始采样并进行相关指标的测量。每隔8 d采样一次,每次采样均用土钻取土测量土壤的含水量,取土深度为15 cm,采样时间为早上8~9点,共采样5次,每处理9株,分3组,每组3株,每次采样在每株枝条的上面数8~10片叶中采集一片健康的叶片,然后将每组的3片叶混合后测量相关指标,测量时每份重复3次。

收稿日期:2011-07-12

基金项目:国家现代农业产业技术专项:陕西省苹果工程技术中心(2008ZDGC-0)

作者简介:赵秀明(1985—),女,辽宁葫芦岛人,硕士研究生,主要从事果树生理与生态的研究。E-mail:zhaoxiuming00@126.com。

通讯作者:王 飞,教授,博士生导师,主要从事果树及花卉生理与生态的研究。E-mail:wangfei521@126.com。

1.2.2 叶片旱害症状观察和旱害指数鉴定及生长形态指标的测定 当土壤含水量达到中度胁迫后,每次采样时调查植株萎蔫状况。按照以下标准进行旱害分级:0级,没有明显的旱害症状;1级,轻度萎蔫,基部有1~2片叶发黄;2级,中度萎蔫,基部有3~5片叶发黄;3级,轻重度萎蔫,1/4~1/3叶片焦枯;4级,中重度萎蔫,1/2叶片焦枯;5级,重度萎蔫,2/3叶片焦枯。然后按下式计算每种砧木组合的旱害指数^[3]。

旱害指数 = $\sum(\text{代表级值} \times \text{株数}) / (\text{最高级数值} \times \text{处理总株数}) \times 100\%$

1.2.3 生理生化指标测定 叶片相对含水量采用打孔器打孔的方法测得鲜重、饱和重及干重,质膜透性采用电导率法^[4],脯氨酸采用磺基水杨酸法^[5],可溶性蛋白采用考马斯亮蓝 G250 染色法^[6],SOD 采用氮兰四唑法^[7],POD 采用愈创木酚法^[8],CAT 采用双氧水法^[9],具体测定方法参照孙群的植物生理研究技术^[10],稍作改动。胁迫 35 d 后用美国进口的 LI-6400 便携式光合仪进行光合测量。

1.2.4 叶片解剖结构测定 在胁迫的第 40 天采取枝条中上部的成熟健康叶片,在靠近基部的侧脉处切取 5 mm × 5 mm 的小块,立即放入 FAA 固定液中固定,采用常规石蜡切片法制片。用光学显微镜分别观察叶片厚度、上表皮厚度、下表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度和维管束的直径,每一处理观察 30 个视野,并计算以下参数:

栅海比 = 栅栏组织厚度/海绵组织厚度;

叶片栅栏组织结构紧密度(CTR) = (栅栏组织厚度/叶片厚度) × 100%;

叶片海绵组织结构紧密度(SR) = (海绵组织厚度/叶片厚度) × 100%。

1.3 数据统计分析方法

用 Microsoft Excel 和 SASS 软件对数据进行计算、方差分析及多重比较分析,最后用隶属函数法^[11]综合评价出 5 种砧木组合的抗旱性强弱。按照平均隶属度(Subordinate function, SF)分为 4 种抗旱类型:0~0.30 为不抗;0.31~0.65 为低抗;0.66~0.80 为中抗;0.81~1.00 为高抗^[12]。

(1) 各指标隶属函数值的计算方法:如某一指标与抗旱性呈正相关,则公式为: $X(U) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$;如某一指标与抗旱性呈负相关,则公式为: $X(U) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。X 为某一指标的测定值; $X_{\min}$ 为某一指标测定值中的最小值; $X_{\max}$ 为某一指标测定值中的最大值^[12]。

(2) 各指标隶属函数值的平均值(Δ)

用隶属函数法评定时, Δ 越大,抗旱性越强。并且结合形态指标,能够比较客观、准确地评定出植物的抗性强弱^[12]。

2 结果与分析

2.1 土壤含水量变化

由图 1 可以看出土壤含水量随着干旱胁迫不断加重,土壤含水量为整体下降趋势。但是在第 1 次与第 2 次采样时下降最快,因为在水分胁迫前期,土壤以渗漏、蒸发和植物蒸腾三种途径散失水分,其中以蒸发和蒸腾为主,所以失水速率相对较高;当含水量较低时植物自身保护机制使蒸腾量减少,所以土壤水分以相对较低的速率下降。由图中看出第 2 次与第 3 次取样及第 4 次与第 5 次取样土壤含水量下降更为缓慢,因为此期间多为阴雨天,空气湿度大,蒸发蒸腾量较少。

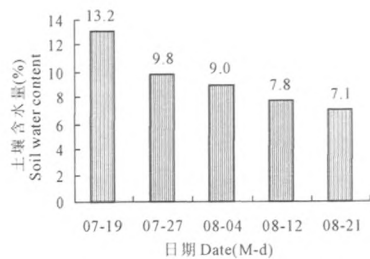


图 1 土壤含水量变化

Fig.1 The changes of soil water content

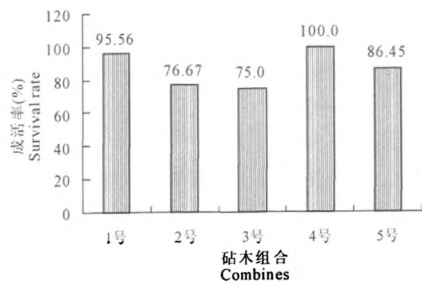


图 2 复水后各个砧木组合的成活率

Fig.2 The survival rate of the combinations after re-watering

注:1号,八棱海棠+法国1号;2号,八棱海棠+法国2号;3号,八棱海棠+法国3号;4号,八棱海棠+法国4号;5号,八棱海棠+M26。下同。

Note:1, *Malus robusta* Rehd. + F1; 2, *Malus robusta* Rehd. + F2; 3, *Malus robusta* Rehd. + F3; 4, *Malus robusta* Rehd. + F4; 5, *Malus robusta* Rehd. + M26. The same as below.

2.2 各砧木组合的形态指标

2.2.1 复水后成活率 图 2 为 5 个砧木组合在干

旱胁迫 50 d 后复水的成活率,4 号组合的成活率最高,全部成活;1 号组合为 95.56%;3 号组合最低,为 75%,2 号和 5 号组合分别为 76.67%和 86.45%。从成活率看各组合的抗旱性为 4 号>1 号>5 号>2 号>3 号。

2.2.2 各级旱害症状出现的时间 植物干旱胁迫后最直接的反应就是叶片萎蔫,随着胁迫时间的延长叶片发黄、焦枯脱落直至死亡。在干旱胁迫下,各组合各级旱害症状出现的时间存在差异(表 1)。各

组合均在进入胁迫的第 8 天出现 1 级旱害症状,除 4 号组合外其余 4 个组合均在 16 d 和 24 d 分别出现 2 级、3 级旱害症状。1 号组合在 32 d 出现 4 级旱害症状,40 d 出现 5 级旱害症状;2 号与 3 号组合在 24 d 出现 4 级旱害症状,32 d 出现 5 级旱害症状,说明其抗旱性较差;5 号组合在 40 d 同时出现 4 级和 5 级旱害症状,说明其在胁迫后期抗旱性较差;4 号组合到 40 d 才出现 3 级旱害症状,说明其抗旱性最强。

表 1 各砧木组合各级旱害症状开始出现时间及不同胁迫时期的旱害指数

Table 1 The appearing time of different drought symptoms and drought indexes of various combinations in different water stress periods

砧木组合 Combination	1 级旱害 症状时间 Time of 1st grade drought symptom	8d 旱害 指数(%) Drought index of 8d	2 级旱害 症状时间 Time of 2nd grade drought symptom	16d 旱害 指数(%) Drought index of 16d	3 级旱害 症状时间 Time of 3rd grade drought symptom	24d 旱害 指数(%) Drought index of 24d	4 级旱害 症状时间 Time of 4th grade drought symptom	32d 旱害 指数(%) Drought index of 32d	5 级旱害 症状时间 Time of 5th grade drought symptom	40d 旱害 指数(%) Drought index of 40d
1 号	8	10.00	16	22.25	24	33.45	32	40.00	40	51.11
2 号	8	11.11	16	26.67	24	35.68	24	43.00	32	62.50
3 号	8	6.67	16	26.67	24	34.22	24	44.44	32	63.78
4 号	8	4.44	24	13.33	40	16.67	—	26.67	—	40.00
5 号	8	6.67	16	33.33	24	34.10	40	43.44	40	55.55

2.2.3 旱害指数 旱害指数能更客观全面地反映植物在干旱胁迫下的旱害程度和抵抗旱害的能力。各组合在前 32 d 的旱害指数(除 4 号组合外)均逐渐增加,2 号组合旱害指数最高,4 号组合旱害指数始终低于其它组合(表 1)。从旱害指数看抗旱能力为 4 号>1 号>5 号>2 号>3 号。

2.3 各砧木组合胁迫 35 d 光合指标的变化

2.3.1 净光合速率与蒸腾速率 图 3 为 5 个组合胁迫 35 d 后对照与处理的净光合速率和蒸腾速率

的变化,从图中可以看出各组合的蒸腾速率与净光合速率的变化趋势一致。在对照中 1 号组合的光合作用最强,2 号组合的蒸腾作用最强;处理中 4 号组合的光合作用及蒸腾作用最强且都远高于其它组合,说明干旱胁迫对 4 号组合的光合作用影响最小,2 号、3 号与 5 号组合的光合作用与蒸腾速率较低且相差不大。从光合速率与蒸腾速率的变化看各组合的抗旱性强弱为 4 号>1 号>5 号>2 号>3 号。

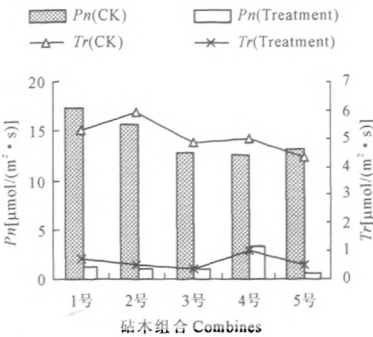


图 3 胁迫 35 d 的净光合速率与蒸腾速率

Fig.3 The P_n and T_r of these combinations after water stress 35 d

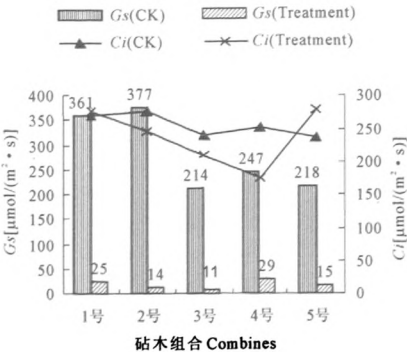


图 4 胁迫 35 d 的气孔导度与胞间 CO_2 浓度

Fig.4 The G_s and C_i of these combinations after water stress 35 d

2.3.2 气孔导度与胞间 CO₂ 浓度 图 4 为 5 个组合胁迫 35 d 后对照与处理的气孔导度与胞间 CO₂ 浓度,从图中可看出 1 号、2 号组合对照的气孔导度较高,其它 3 个较低,但是胁迫 35 d 后 4 号组合最高,3 号组合最低,从胁迫后气孔导度的变化看各组合抗旱性为 4 号>1 号>5 号>2 号>3 号。图 4 中各组合对照的胞间 CO₂ 浓度与气孔导度对照变化一致,但胁迫后 4 号的大幅降低,1 号变化不大,5 号升高,从胁迫后气孔导度与胞间 CO₂ 浓度的变化看各组合抗旱性强弱为 4 号>1 号>2 号>3 号>5 号。

表 2 干旱胁迫下不同砧木组合叶片相对含水量的变化

Table 2 The changes of drought stress on relative moisture content among various combinations

胁迫时间 Stress time (d)	相对含水量 Relative moisture(%)				
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
8	70.54 ± 8.08Aa	66.17 ± 4.04Bb	70.31 ± 4.04Aa	69.74 ± 3.03Aa	65.70 ± 5.05Bb
16	73.87 ± 1.01BCbc	71.20 ± 1.00Cc	74.31 ± 2.02ABab	75.61 ± 4.01Aa	71.21 ± 0.45Cc
24	62.94 ± 0.71BCab	55.67 ± 0.61Dc	66.00 ± 0.71ABab	67.05 ± 1.07Aa	60.86 ± 0.31Cb
32	60.82 ± 2.73Bb	53.66 ± 0.41Dd	58.21 ± 1.61Cc	65.19 ± 0.41Aa	59.10 ± 0.62BCc
40	57.00 ± 0.70Aa	44.83 ± 1.21Cc	47.04 ± 1.41Cc	58.86 ± 2.20Aa	51.55 ± 0.81Bb

注:大写字母表示 0.05 水平,小写字母表示 0.01 水平,下同。

Note: Capital letters mean 0.05 level, lowercase letters mean 0.01 level, and they are the same as below.

2.4.2 干旱胁迫下电导率的变化 电导率能反映细胞的破坏程度,电导率越高说明细胞受损越严重。由表 3 可以看出各组合在不同胁迫时期的电导率差异显著。各组合电导率除了 4 号组合在干旱胁迫下电导率先上升后又略下降外,其余 4 个组合在干旱胁迫下电导率均一直上升,其中 2 号组合和 5 号组合上升的较快,从电导率变化得出各组合抗旱性强弱依次为 4 号>1 号>5 号>2 号>3 号。

表 3 干旱胁迫下不同砧木组合电导率的变化

Table 3 The changes of drought stress on relative electric conductivity of these combinations

胁迫时间 Stress time (d)	相对电导率(%) Relative electric conductivity				
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
8	26.53 ± 4.03Bb	25.26 ± 1.71Bbc	40.42 ± 3.12Aa	22.29 ± 3.61Bbc	21.14 ± 3.51Bc
16	25.91 ± 1.64Aa	26.07 ± 2.37Aab	26.33 ± 2.13Aab	23.71 ± 2.52Ba	34.01 ± 3.68Aa
24	28.73 ± 2.39Bb	25.28 ± 2.45Bb	25.49 ± 2.18Bb	24.13 ± 2.61Bb	42.89 ± 3.78Aa
32	28.37 ± 3.81Bbc	31.05 ± 5.41Bb	32.51 ± 1.90Bb	22.54 ± 2.86Cc	23.36 ± 6.27Aa
40	26.31 ± 3.65ABb	35.42 ± 4.78Aa	36.20 ± 7.56Aa	22.21 ± 5.45Bb	35.33 ± 5.23Aa

2.4.4 干旱胁迫下脯氨酸的变化 研究发现,在中、轻度土壤干旱时,随着土壤干旱时间的延长,苹果叶片 Pro 含量增加直至最大值;土壤干旱严重时,Pro 含量有所下降。由表 5 可以看出,随着干旱时间的延长,1 号、3 号、4 号与 5 号组合的变化趋势为先升高后降低最后又升高,2 号组合的变化趋势为先

2.4 干旱胁迫下不同砧木的生理生化反应

2.4.1 干旱胁迫下叶片含水量的变化 从表 2 可以看出不同胁迫时期各组合叶片相对含水量差异显著,各组合叶片相对含水量的变化趋势均在胁迫的 16 d 升高,后一直下降,可能因为阴雨天气导致空气湿度大叶片吸收了空气中的水分。胁迫进入 40 d 时可以看出 4 号组合的含水量最高,2 号组合最低,3 号组合次之。从叶片含水量看各组合抗旱性为 4 号>1 号>5 号>3 号>2 号。

2.4.3 干旱胁迫下可溶性蛋白变化 由表 4 可以看出随着水分胁迫的增强,各组合总体表现为先降低后升高的趋势,在处理 24 d 后 1 号的蛋白质含量几乎一直是最高,到处理 40 d 时 4 号组合的蛋白质含量急剧上升,总之 1 号和 4 号的可溶性蛋白含量较高,2 号、3 号与 5 号组合的可溶性蛋白含量较少,通过可溶性蛋白含量评价各组合抗旱性为 4 号>1 号>2 号>3 号>5 号。

降低后升高。各组合的脯氨酸含量在处理 32 d 以前变化幅度较小,在处理 40 d 时升高幅度较大,其中 2 号组合变化最大,其次为 4 号组合,1 号与 5 号组合升高幅度较小。这表明 2 号与 4 号组合受干旱胁迫后脯氨酸对植株的保护作用较强。

表 4 干旱胁迫下不同砧木组合可溶性蛋白含量的变化

Table 4 The changes of drought stress on soluble protein content among these combinations

胁迫时间 Stress time (d)	可溶性蛋白含量(FW $\mu\text{g/g}$) Soluble protein content				
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
8	0.020 $\pm$ 0.003ABab	0.018 $\pm$ 0.007ABbc	0.017 $\pm$ 0.001BCbc	0.021 $\pm$ 0.001Aa	0.016 $\pm$ 0.002Bc
16	0.021 $\pm$ 0.001Aa	0.018 $\pm$ 0.001Aa	0.017 $\pm$ 0.001Aa	0.0214 $\pm$ 0.001Aa	0.019 $\pm$ 0.001Aa
24	0.020 $\pm$ 0.002Aa	0.017 $\pm$ 0.002BCb	0.017 $\pm$ 0.001Cb	0.020 $\pm$ 0.001ABa	0.017 $\pm$ 0.006ABCb
32	0.022 $\pm$ 0.002Aa	0.018 $\pm$ 0.001ABb	0.017 $\pm$ 0.001Bb	0.019 $\pm$ 0.001ABb	0.019 $\pm$ 0.008Ab
40	0.027 $\pm$ 0.005ABb	0.023 $\pm$ 0.005Bb	0.023 $\pm$ 0.003Bb	0.030 $\pm$ 0.003Aa	0.022 $\pm$ 0.005Bb

表 5 干旱胁迫下不同砧木组合脯氨酸含量的变化

Table 5 The changes of drought stress on praline content among these combinations

胁迫时间 Stress time (d)	脯氨酸含量(FW $\mu\text{g/g}$) Praline content				
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
8	0.32 $\pm$ 0.25Cc	0.40 $\pm$ 0.12Bb	0.38 $\pm$ 0.01ABab	0.39 $\pm$ 0.01Bb	0.40 $\pm$ 0.08ABab
16	0.34 $\pm$ 0.01BCc	0.37 $\pm$ 0.02Bb	0.42 $\pm$ 0.01ABab	0.43 $\pm$ 0.03Bb	0.47 $\pm$ 0.03Aa
24	0.43 $\pm$ 0.09ABab	0.33 $\pm$ 0.01Bb	0.33 $\pm$ 0.02ABb	0.38 $\pm$ 0.02Bb	0.41 $\pm$ 0.02ABa
32	0.36 $\pm$ 0.03BCbc	0.43 $\pm$ 0.10Bb	0.31 $\pm$ 0.04Bb	0.43 $\pm$ 0.24Bb	0.31 $\pm$ 0.01Bb
40	0.46 $\pm$ 0.13Aa	1.30 $\pm$ 0.93Aa	0.53 $\pm$ 0.33Aa	0.99 $\pm$ 0.51Aa	0.40 $\pm$ 0.14ABab

2.4.5 干旱胁迫下 SOD 的变化 由表 6 可以看出,在处理 8 d 时 3 号组合与 4 号组合的 SOD 活性就已分别达到 624.3 FW U/(g·h)和 577.3 FW U/(g·h),之后 3 号组合的 SOD 活性一直下降,4 号组合的变化趋势为先降低后升高之后又下降,处理 32 d 以前时值较大。说明在胁迫不严重时 3 号和 4 号组合 SOD 保护作用较强;1 号组合与 5 号组合的 SOD 活

性先上升后下降,但是 1 号组合的活性比 5 号组合先下降,说明在相同胁迫条件下 5 号组合的 SOD 活性比 1 号组合的保持作用持久;2 号组合的 SOD 活性先升高后降低之后又升高最后降低,2 号组合 SOD 的第二次升高可能是其它因素起作用缓解了旱害使保护酶继续起作用。

表 6 干旱胁迫下不同砧木组合 SOD 活性的变化

Table 6 The changes of drought stress on SOD activities of these combinations

胁迫时间 Stress time (d)	SOD 活性(FW U/(g·h)) SOD activity				
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
8	561.5 $\pm$ 15.6Bb	477.6 $\pm$ 28.9Cc	624.3 $\pm$ 18.0Aa	577.3 $\pm$ 19.9ABab	359.3 $\pm$ 48.7Dd
16	570.9 $\pm$ 69.2Aa	507.1 $\pm$ 42.1Aa	555.2 $\pm$ 59.2Aa	517.2 $\pm$ 44.7Aa	409.9 $\pm$ 37.5Bb
24	605.6 $\pm$ 8.8Aa	471.8 $\pm$ 46.7Bb	551.1 $\pm$ 60.2ABab	599.6 $\pm$ 23.5Aa	557.9 $\pm$ 55.5ABab
32	570.5 $\pm$ 26.6Aab	609.7 $\pm$ 58.9Aa	537.1 $\pm$ 47.9Ab	578.1 $\pm$ 19.9Aab	585.4 $\pm$ 19.2Aab
40	461.3 $\pm$ 19.6Aa	489.8 $\pm$ 49.5Aa	519.2 $\pm$ 38.4Aa	416.7 $\pm$ 8.0Bb	497.0 $\pm$ 49.7Aa

2.4.6 干旱胁迫下 POD 的变化 由表 7 可以看出,随着干旱强度的加大,除 1 号组合 POD 活性先升后降外,其它组合的 POD 总体变化趋势是先上升后下降最后又上升,其中 3 号、2 号、5 号组合变化幅度较大,上升较快,这说明这两组合在干旱胁迫下受害严重,产生了较多的起调节保护作用的过氧化氢酶。1 号与 4 号组合的 POD 活性较为稳定,表明其

受害程度较轻。

2.4.7 干旱胁迫下 CAT 的变化 由表 8 可以看出,1 号、3 号和 4 号组合的 CAT 活性均是先降低,到 32 d 采样时升高,之后又下降;而 2 号组合和 5 号组合是 16 d 时就升高随后又下降,40 d 时又升高。在 40 d 时 3 号组合的 CAT 活性最高,说明其受害程度较重,1 号和 2 号组合 CAT 活性较低。

表 7 干旱胁迫下不同砧木组合 POD 活性变化

Table 7 The changes of drought stress on POD activities among these combinations

胁迫时间 Stress time (d)	POD 活性[FW μg/(g·min)] POD activity				
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
8	3.18 ± 0.37Bh	4.82 ± 0.43Aa	5.27 ± 0.78Aa	4.53 ± 0.43ABa	4.79 ± 0.42Aa
16	3.96 ± 0.63Cc	5.76 ± 0.43Bb	6.44 ± 0.71AbaB	6.29 ± 0.54ABb	7.49 ± 0.94Aa
24	4.06 ± 0.36Aa	5.01 ± 0.46Aa	4.85 ± 0.87Aa	4.23 ± 0.40Aa	5.42 ± 1.61Aa
32	3.15 ± 0.99Bc	5.32 ± 0.82Aba	4.35 ± 0.65BAb	5.51 ± 0.35Aa	5.54 ± 0.21Aa
40	2.89 ± 0.84Cc	6.15 ± 0.48BAb	9.09 ± 0.30Aa	5.47 ± 0.85BCb	6.40 ± 0.43ABb

表 8 干旱胁迫下不同砧木组合 CAT 活性变化

Table 8 The changes of drought stress on CAT activities among these combinations

胁迫时间 Stress time (d)	CAT 活性 [FW U/(g·min)] CAT activity				
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
8	0.66 ± 0.75Aa	1.47 ± 0.24Aa	6.10 ± 0.24Aa	1.49 ± 0.10Aa	2.74 ± 0.19Aa
16	0.47 ± 0.35Aa	3.72 ± 0.67Bb	0.63 ± 0.31Aa	0.78 ± 0.56Aa	7.01 ± 4.17Cc
24	0.37 ± 0.44Aa	1.46 ± 0.43Aba	0.52 ± 0.23Aab	1.77 ± 0.49ABc	3.02 ± 0.36Bd
32	4.10 ± 0.19Aab	0.62 ± 0.91Aa	5.07 ± 0.29Aab	7.51 ± 1.13Ab	0.57 ± 0.45Aa
40	0.82 ± 0.74Aa	0.73 ± 0.72Aa	7.42 ± 2.01Bb	2.87 ± 1.28Aa	3.18 ± 2.28Aa

2.5 干旱胁迫下不同砧木的叶片解剖结构

表皮细胞的存在,一方面具有保护功能,另一方面还可以起贮水作用。叶片上、下表皮的厚度在一定程度上说明了其控制失水的能力,表皮细胞越厚,一般来说其控制水分的能力越强^[20]。从表 9 可以看出 4 号组合的上表皮最厚,其次为 1 号组合,说明它们有着较强的保水力。而 2 号与 5 号组合的上表皮较薄,保水力较差。

一般认为叶片小而厚是植物抗旱的特征,细小的叶型可以减少水分蒸发的面积,叶片越厚,储水能

力越强^[21]。表 9 中 1 号组合的叶片最厚,说明其储水能力强,2 号与 5 号组合的叶片较薄,说明其储水能力较差。

植物栅栏组织厚薄是反应植物在不良的水分平衡条件下生长的特征之一,栅栏组织厚度、栅栏组织与叶片厚度的比值(即叶紧密度)两项指标越大,植物在干旱条件下利用光能的效率越高^[22]。从表 9 中可以看出,5 号与 1 号组合的栅栏组织较厚且叶片紧密度也较高,说明其在干旱下利用光能的效率较高。2 号组合栅栏组织最薄,说明其抗旱性较差。

表 9 5 个砧穗组合叶片解剖结构的比较

Table 9 Comparison of leaf anatomical structures of 5 combinations

组合 Combination	上表皮厚度 (μm) Thickness of the upper cuticle	下表皮厚度 (μm) Thickness of the low cuticle	叶片厚度 (μm) Leaf thickness	栅栏组织 厚度(μm) Thickness of palisade tissue	海绵组织 厚度(μm) Thickness of spongy tissue	栅海比 Ratio of palisade tissue and spongy tissue	叶片紧密度 Tightness of leaf palisade tissue structure	叶片疏松度 Looseness of leaf sponge tissue structure
1 号	23.130B	16.825A	320.37A	152.88A	138.89A	1.10B	48.37 B	43.22CD
2 号	17.760C	16.690A	280.23C	117.73C	138.63A	0.85D	41.90D	41.90C
3 号	18.370C	15.025BC	298.09B	134.89B	129.92A	1.04C	45.71C	43.88B
4 号	25.340A	16.080AB	295.30B	134.06B	119.87B	1.13A	45.58C	40.33D
5 号	17.620C	14.500C	277.36C	154.63A	136.71A	1.09B	55.05A	51.24A

植物的抗旱性是一个受多种因素影响的较为复杂的综合性状,这些因素的综合作用形成了不同植物的抗旱性强弱,因此对植物抗旱性的评价,应尽可能采用干旱引起的各种生理生化及形态指标进行综合评价,从而弥补与减少单个指标对于评定植物干

旱性所造成的片面影响^[13,16]。因此本文选取了形态、生理生化、解剖等多个指标进行综合评价。其中形态指标的变化最为直接地反应了植物的抗旱性。以隶属函数方法进行分析,隶属函数的总分数值越大,其抗旱性越强,从表 10 可看出,各砧木组合的抗

旱强弱排列顺序为:4号>1号>5号>2号>3号 组合。这与植株的外部形态表现基本一致。

表 10 干旱胁迫下 5 个砧木组合的隶属函数分析结果

Table 10 The subordinate function value of comprehensive indexes of 5 combinations under drought stress

组合 Combin- ations	隶属值 $U(x)$ value										S	SF
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1 号	0.342	0.867	0.238	0.867	1.00	0.625	0.438	0.565	1.000	0.986	0.693	中抗 Moderate resistance
2 号	1.000	0.000	0.146	0.000	0.000	0.125	0.000	0.287	0.474	1.000	0.303	不抗 No resistance
3 号	0.732	0.298	0.146	0.158	0.086	0.125	0.363	0.000	0.000	0.000	0.190	不抗 No resistance
4 号	0.0000	1.000	1.000	1.000	0.711	1.000	1.000	1.000	0.585	0.680	0.798	中抗 Moderate resistance
5 号	0.478	0.592	0.000	0.479	0.077	0.000	0.419	0.217	0.436	0.633	0.333	低抗 Low resistance

注:表中 1~10 分别代表:旱害指数、复水成活率、净光合速率、相对含水量、电导率、可溶性蛋白、脯氨酸、SOD、POD、CAT; S 代表各个组合各指标的隶属函数的平均值; SF 为平均隶属度。

Note: The numbers of 1 to 10 stand for drought index, survival rate, net photosynthetic rate, relative moisture, relativ electric conductivity, soluble protein content, praline content, SOD, POD and CAT; S and SF mean significant differences at average value of $U(x)$ and average degree.

3 讨论

抗旱性是植物对于干旱环境的适应性反应,作为一种遗传特性,不仅与外界环境条件和内部生理活动有关,而且还取决于自身形态结构特征^[12-13]。干旱胁迫对植物最直接的影响就是叶片的反应以及生长量。本实验通过观察叶片的旱害症状得出 4 号组合在 40 d 时只出现了 3 级旱害症状,同时结合在干旱胁迫 40 d 后对各个砧木组合进行复水观察成活率表明:4 号组合的成活率为 100%; 3 号组合的成活率为 75%,为 5 个组合最低。通过旱害症状与生理指标的结合说明 4 号砧木组合抗旱性最强,3 号组合的抗旱性最差。

水分胁迫对果树的生长和代谢的影响是多方面的,其中以对光合作用的影响尤为突出^[14-16]。光合作用强弱可作为判断植物长势和抗逆性强弱的指标,水分状况是影响光合作用的重要因素,干旱胁迫导致光合作用下降是干旱条件下作物减产的重要原因^[17-18]。本研究在胁迫 35 d 测定各组合的净光合速率,4 号净光合速率下降最少,3 号、2 号组合下降多,4 号砧木组合抗旱性最强,3 号、2 号组合的抗旱性差。

渗透调节是植物抵御干旱的一种重要方式,通过代谢活动增加细胞内的溶质浓度,降低细胞水势,从而促使植物从外界吸水,保持一定的膨压,维持植物体正常的代谢活动^[19]。电导率的高低反映了细

胞膜透性的大小。本研究通过测定电导率可以得出 4 号组合的电导率变化最小,这也说明 4 号组合受害程度最轻,3 号组合电导率变化最大,说明其膜透性受损严重,抗旱性较差;可溶性蛋白是植物渗透调节的重要物质之一,对渗透调节具有一定的贡献。植物可以通过积累可溶性蛋白的含量来增加渗透势抵御旱害。在胁迫过程中 1 号和 4 号砧木组合可溶性蛋白含量升高较快,表明调节能力较强,2 号、3 号及 5 号组合增加较少,说明其渗透调节能力较差。

脯氨酸是重要的渗透调节物质之一,本研究中各个砧木组合的脯氨酸含量是增加趋势,其中 3 号砧木组合受干旱胁迫后脯氨酸的变化最大,其它砧木组合变化相差不大。保护酶能够在植物体受到胁迫后活性提高来保护植物体减轻伤害,但是本实验的保护酶变化并不能直接说明植物的抗旱性强弱,这可能与不同品种间不同生理指标反应先后以及强弱程度有关,有待进一步研究。

隶属函数法提供了一个在多指标测定基础上对试材抗旱性进行综合评价的方法,比单一指标评价更具科学性和可靠性。本研究利用隶属函数法对各个砧木组合干旱胁迫后的形态和生理、生化指标的综合分析得出新引进苹果矮化中间砧木组合的抗旱性强弱顺序为 4 号>1 号>5 号>2 号>3 号组合。

参考文献:

[1] 樊秀芳,刘旭峰,张建堂,等.苹果矮化砧木在渭北地区适应性

- 比较试验[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(9):77-80.
- [2] 李丙智,韩明玉,张林森,等.我国苹果矮化砧木应用现状及适应性调查[J].果农之友,2010,(2):4-6.
- [3] 陈长兰,龚欣,贾敬贤.梨树野生砧木的抗盐性和抗旱性鉴定初报[J].作物品种资源,1996,(4):30-31.
- [4] 黎燕琼,刘兴良,郑绍伟,等.岷江上游干旱河谷四种灌木的抗旱生理动态变化[J].生态学报,2007,27(3):870-878.
- [5] 石永红,万里强,刘建宁,等.干旱胁迫对6个坪用多年生黑麦草品种抗旱性的影响[J].草地学报,2009,17(1):25-27.
- [6] 杜建雄,师尚礼,刘金荣,等.干旱胁迫和复水对草地早熟禾3个品种生理特性的影响[J].草地学报,2010,18(1):73-77.
- [7] 石永红,万里强,刘建宁,等.多年生黑麦草抗旱性主成分及隶属函数分析[J].草地学报,2010,18(5):670-672.
- [8] 杨玉珍,陈刚,彭方仁.干旱胁迫对不同种源香椿主要叶绿素荧光参数的影响[J].东北林业大学学报,2010,38(7):49-51.
- [9] Abraham E M, Huang B, Boons S A, et al. Evaluate on of drought resistance for Texas bluegrass, Ken tucks bluegrass and their hybrids[J]. Crop Science, 2004,44:1746-1753.
- [10] 孙群,胡景江.植物生理研究技术[M].杨凌:西北农林科技大学出版社,2005.
- [11] 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,(4):392-398.
- [12] 王跃进,杨亚州,张剑侠,等.中国葡萄属野生种及其种间 F1 代抗旱性鉴定初探[J].园艺学报,2004,31(6):711-714.
- [13] Ox borough K. Imaging of chlorophyll a f fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for them on intoring of photosynthetic performance[J]. Journal of Expires entails Botany, 2004,55(400):1195-1205.
- [14] 惠红霞,许兴,李前.外源甜菜碱对盐胁迫下枸杞光合功能的善[J].西北植物学报,2003,23(12):2137-2422.
- [15] 任红旭,陈雄,孙国钧,等.抗旱性不同的小麦幼苗对水分和 NaCl 胁迫的反应[J].应用生态学报,2000,11(5):718-722.
- [16] 姜卫兵,高光林,俞开,等.水分胁迫对果树光合作用及同化代谢的影响研究进展[J].果树学报,2002,19(6):416-420.
- [17] 姜伟,谭浩,翟衡.干旱胁迫对不同葡萄砧木光合特性和荧光参数的影响[J].应用生态学报,2006,(17)5:835-838.
- [18] 曹慧,许雪峰,韩振海,等.水分胁迫下抗旱性不同的两种苹果属植物光合特性的变化[J].园艺学报,2004,31(3):285-290.
- [19] 徐启贺,李壮,徐楷,等.持续干旱胁迫及复水对3种苹果砧木渗透调节能力的影响[J].中国果树,2010,(3):17-22.
- [20] 朱栗琼,李吉跃,招礼军.六种阔叶树叶片解剖结构特征及其耐旱性比较[J].广西植物,2007,27(3):431-434.
- [21] 孟庆杰,王光全,董绍峰,等.桃叶片组织解剖结构特征与其抗旱性关系的研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(3):123-126.
- [22] 赵祥,董宽虎,张垚,等.不同居群达乌里胡枝子叶片解剖结构研究[J].草地学报,2009,7(4):445-451.

Evaluation on drought resistance of introduced cultivars of apple dwarf rootstocks

ZHAO Xiu-ming¹, WANG Fei¹, HAN Ming-yu¹, ZHANG Wen-e², TIAN Zhi-guo³, ZHAO Dan³

(1. College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

3. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Five two-year-old apple drawing stock varieties (F1, F2, F3, F4 and M26) were grafted on the apple rootstock of Mauds prunifolia (Wild.) Bork. Physiological and biochemical indices were measured, and physiological responses of apple rootstocks to drought stress were studied. The results showed that: the survival rate of No. 4 was the highest up to 100%, No. 3 was the lowest of 75.00% after water stressed 50 d, the drought indices of combinations showed an upward trend as the stress increasing, and the minimum of No. 4 was 40.00%, the maximum of No. 3 was 63.78%. The photosynthetic indices showed that the photosynthesis of No. 4 was the most, while that of No. 3 was the weakest. As the stress time was prolonged, the leaf relative water content of combinations decreased, and No. 4 was the maximum, No. 3 was the minimum, while proline and soluble protein content of combinations showed a rising trend, and the content of No. 4 was the maximum, the trend of protective enzyme was increasing first and then decreasing, the 3 kinds of protective enzyme had synergism to protective plant. The values of No. 1 and No. 4 were lager of anatomical structure which was positively correlated with drought index. Drought resistance value of apple rootstocks was calculated to compare by the method of membership functions. The sequence of drought resistance was: 4 > 1 > 5 > 2 > 3.

Keywords: apple rootstock; drought resistance; response mechanism; membership function