

尹鹏龙,田国杰,王祖光,等. 6 种苹果砧穗组合抗旱性评价[J]. 江苏农业科学,2023,51(4):133-138.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.04.020

## 6 种苹果砧穗组合抗旱性评价

尹鹏龙,田国杰,王祖光,石晓英,徐继忠,张学英

(河北农业大学园艺学院,河北保定 071001)

**摘要:**研究河北农业大学自主选育的 5 种砧木优系抗旱性差异,为苹果抗旱砧木的选育与利用提供经验,以一年生苹果砧木盆栽苗为试验材料,平邑甜茶做基础,5 种砧木优系为中间砧,冀砧 3 号为对照,通过自然干旱胁迫处理,测定 5 种砧木优系的相关生理指标;第 2 年在不同砧木上嫁接天红 2 号,在自然条件下进行干旱胁迫处理,测定所嫁接的天红 2 号叶片相关生理指标,将各项测定指标利用隶属函数法进行综合分析评价。结果表明,6 种砧木优系在自然干旱胁迫处理下叶片的蒸腾速率、净光合速率、根系活性等参数呈现下降的趋势,丙二醛含量呈现上升的趋势,其中砧木 14-7 在干旱胁迫处理下光合参数指标等均最高,综合评价分析认为,砧木优系 14-7 表现最为抗旱,而砧木优系 22-46 的抗旱性最弱,综合分析 6 种砧木,14-7、冀砧 3 号、15-1 的抗旱性较强,10-1、1-8、22-46 的抗旱性较弱。

**关键词:**苹果;砧木;抗旱;隶属函数;光合指标;干旱胁迫

**中图分类号:**S661.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)04-0133-06

在当前的苹果栽培生产中,干旱<sup>[1]</sup>是影响果树产业发展的重要因素之一,然而在苹果栽培生产过程中对水的需求量较大,如果树体不够耐旱,则会导致苹果产量以及品质的严重下降。

目前,在全球范围内苹果的栽培生产中,生产中主要通过提高苹果对干旱的适应性及抗性<sup>[2]</sup>,来提高苹果产量和品质,对于苹果筛选抗旱品种方面主要有 2 种途径,一是培育出新的耐旱品种,但是新品种的筛选往往出现苹果植株抗旱,而果实产量或者品质降低,并且培育时间周期较长的问题。二是通过嫁接砧木的方法<sup>[3-4]</sup>来培育具有矮化和抗旱性的优良品种,优良砧木在苹果果实品质、产量及嫁接品种后抗逆性方面发挥着至关重要的作用。

目前,我国苹果种植产业对于抗旱性矮化砧木的需求较为强烈,本研究以河北农业大学自主选育的 5 种苹果矮化砧木优系为材料,对其抗旱性进行综合评价。

本试验在自然条件下进行短期干旱胁迫处理后,测定植株整体旱害程度、叶片叶绿素含量、丙二

醛(MDA)含量等,应用隶属函数分析法<sup>[5]</sup>对 5 种砧木优系抗旱性进行综合评价,以期苹果抗旱矮化砧木的选育及推广利用提供相关理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料与试验实施

本试验在河北农业大学创新试验园抗旱棚内进行。以平邑甜茶为基础,栽植于塑料花盆(30 cm×20 cm×22 cm)中,使用育苗基质养护,2020 年 4 月分别嫁接河北农业大学选育的矮化砧木优系 15-1、1-8、14-7、10-1、22-46 和冀砧 3 号 6 种矮化中间砧;2021 年 4 月在 6 种中间砧上分别嫁接天红 2 号,2020 年 7 月 25 日和 2021 年 7 月 18 日选择生长一致的试材,所选试材浇透水后开始自然条件下持续干旱胁迫处理,对照试材盆内基质保持土壤相对含水量在 70%~80%。处理后每天傍晚 17:30 调查试材生长情况,分别在 2020 年 8 月 3 日和 2021 年 7 月 30 日出现 1 级旱害,开始取样,取样部位为中上部功能叶片,临时置于液氮中暂存后,置于-80℃超低温冰箱内保存,用于 MDA 含量的测定,每隔 1 d 取样 1 次。2020 年 8 月 9 日、2021 年 8 月 7 日大部分试验材料出现 4 级旱害症状,取样结束。

#### 1.2 测定与分析

1.2.1 土壤含水量测定 采取环刀法取土,试材出现 1 级旱害症状时开始取样,每隔 1 d 取样 1 次,取

收稿日期:2022-03-19

基金项目:河北省重点研发计划(编号:19226317D);河北省现代农业产业技术体系苹果创新团队资金项目(编号:HBCT2021100210)。

作者简介:尹鹏龙(1997—),男,河北承德人,硕士研究生,主要研究方向为果树栽培生理。E-mail:y15632211661@163.com。

通信作者:张学英,教授,硕士研究生导师,主要从事果树生物技术及果树栽培生理与生态研究。E-mail:zhangxueying1996@163.com。

土的深度距盆土表面 10 cm,通过烘干法测定土壤含水量。

公式如下:

土壤绝对含水量 = (原土质量 - 烘干土质量) / 烘干土质量 × 100% ;

土壤相对含水量 = 土壤绝对含水量 / 田间最大持水量 × 100% 。

1.2.2 旱害指数测定 旱害分级参考标准<sup>[6]</sup>:0 级为无旱害症状,试材生长发育表现正常;1 级为叶片出现轻度萎蔫症状,叶片开张角度 > 90°;2 级为叶片出现重度萎蔫症状,叶片软化并出现卷曲状况;3 级为叶片出现重度萎蔫症状,1/4 ~ 1/3 叶片焦枯变黄;4 级为叶片重度萎蔫,1/2 及以上叶片焦枯变黄。

旱害指数 (DI) = [  $\sum$  (各级代表值 × 各级株数) / (最高级数值 × 处理总株数) ] × 100% 。

1.2.3 生理指标的测定 叶绿素含量测定采用 95% 乙醇浸泡法。避开主叶脉,将叶片剪成细丝状称取 0.1 g 放入 10 mL 离心管中并加入 10 mL 95% 乙醇,保证完全浸提,置于黑暗条件下浸泡 24 h,期间摇晃 2 ~ 3 次。使用紫外分光光度计测量 663、649、470 nm 处的吸光度。

叶绿素 a 含量 =  $13.95 \times D_{665 \text{ nm}} - 6.88 \times D_{649 \text{ nm}}$  ;

叶绿素 b 含量 =  $24.96 \times D_{649 \text{ nm}} - 7.32 \times D_{665 \text{ nm}}$  ;

总叶绿素含量 =  $(1\ 000 \times D_{470 \text{ nm}} - 3.27 \times C_a - 114.8 \times C_b) / 245$  。

光合参数的测定:在晴天 09:00—11:00 使用 LI-6400 型便携式光合仪进行测定,主要测定中部功能叶片的蒸腾速率 ( $T_r$ )、净光合速率 ( $P_n$ )、气孔导度 ( $G_s$ ) 等,并计算叶片瞬时水分利用效率 ( $WUE = P_n / T_r$ ),出现旱害症状开始测定,选择自然干旱胁迫 13 d 的数据结果进行呈现。

采用硫代巴比妥酸 (TAB) 法<sup>[7-8]</sup>测定砧木及砧穗组合叶中丙二醛 (MDA) 含量。砧穗组合根系活性的测定采用 TTC 法<sup>[9]</sup>。

1.2.4 隶属函数分析 将 6 种苹果砧木及砧穗组合相关指标进行隶属函数综合分析,进行抗旱性评价,根据不同中间砧及砧穗组合平均隶属值的大小进而确定砧木抗旱性的强弱。计算公式如下:

若测定指标与其抗旱性呈正相关,则隶属函数值  $U(X) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ;若测定指标与其抗旱性呈负相关,则  $U(X) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。式中: $X$  指各指标的隶属函数平均值; $X_{\max}$  指砧木与其对应测定指标的最大值; $X_{\min}$  指

砧木与其对应测定指标的最小值。

### 1.3 数据处理及相关性分析

采用 Excel 和 DPS 9.01 进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫条件下不同砧木、砧穗组合土壤相对含水量

从图 1、图 2 可以看出,随着干旱胁迫的时间延长,6 种砧木及砧穗组合的盆土土壤相对含水量逐渐降低。干旱胁迫 14 d 时,6 种砧木的土壤相对含水量达到重度干旱水平,6 种砧木优系在同一时间段的干旱程度差异不明显,6 种砧穗组合在干旱 16 d 时达到重度干旱水平。

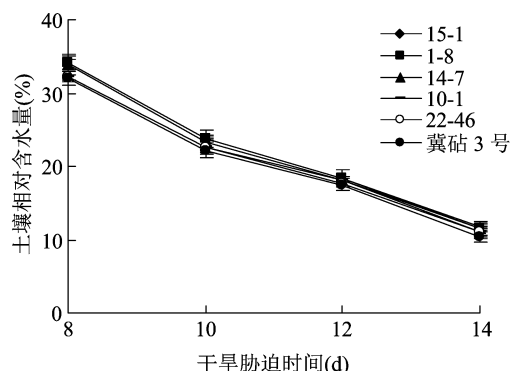


图1 干旱胁迫条件下不同砧木土壤相对含水量

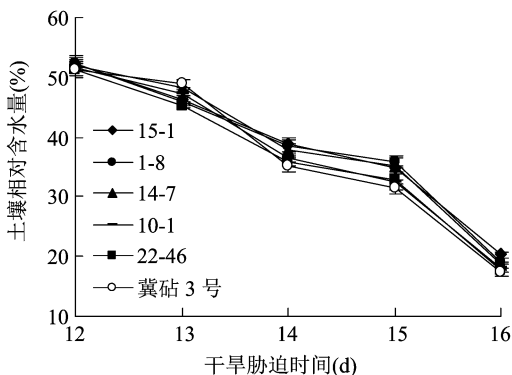


图2 干旱胁迫条件下不同砧穗组合土壤相对含水量

### 2.2 干旱胁迫条件下不同砧木、砧穗组合的旱害指数变化

从表 1 可以看出,在干旱胁迫处理后 9 d 时,砧木优系 1-8 的旱害指数为 29.69%,旱害指数最高,22-46 在干旱处理 9 d 时较耐旱,到胁迫 12 d 时旱害指数上升幅度较大,胁迫 14 d 时,14-7 的旱害指数最低,为 23.53%,22-46 的旱害指数最高,为 53.70%;由表 2 可知,不同砧穗组合在干旱胁迫 12 d 时旱害指数较低,在干旱 15、16 d 时 6 种砧穗

组合的旱害指数均增长较小,在干旱 16 d 时旱害指数都在 64% 以上,表明已达到重度干旱水平。由表 1、表 2 得知,砧木 14-7、22-46 与其砧穗组合的旱害指数排序表现一致。

表 1 干旱胁迫条件下不同砧木旱害指数的变化

砧木	旱害指数(%)					
	9 d	10 d	11 d	12 d	13 d	14 d
14-7	8.33	9.80	10.29	12.75	15.20	23.53
冀砧 3 号	8.75	12.50	15.00	18.75	23.75	35.00
15-1	8.77	9.21	11.84	15.35	17.98	39.47
10-1	19.12	22.79	23.53	24.26	37.5	47.79
1-8	29.69	30.73	30.73	32.29	43.23	51.56
22-46	14.81	25.00	25.93	34.26	40.74	53.70

2.3 干旱胁迫条件下不同砧木、砧穗组合的叶绿素含量变化

由表 3 可知,砧木 14-7 的叶绿素含量在干旱胁迫 8~12 d 时呈下降趋势,在胁迫 14 d 时出现峰

表 3 干旱胁迫条件下对不同砧木叶绿素含量的影响

砧木	叶绿素含量(mg/g)					
	对照	干旱 8 d	干旱 10 d	干旱 12 d	干旱 14 d	覆水 3 d
15-1	1.92±0.52c(b)	2.77±0.20ab(a)	1.92±0.07bc(b)	1.35±1.26c(d)	1.74±0.12c(bc)	1.49±0.04d(cd)
1-8	3.24±0.31a(abc)	2.69±0.18c(bc)	2.73±1.45ab(bc)	3.79±0.40a(a)	3.41±0.07a(ab)	2.42±0.21b(c)
14-7	1.95±0.35c(a)	1.89±0.63e(a)	1.68±0.08c(ab)	1.25±0.74c(bc)	2.12±0.06b(a)	0.82±0.08e(c)
10-1	2.55±0.39b(c)	2.94±0.12ab(bc)	3.12±0.13a(ab)	3.55±0.86a(a)	3.50±0.11a(a)	2.90±0.13a(bc)
22-46	2.62±0.17b(c)	2.96±0.10a(b)	2.00±0.08bc(d)	3.18±0.16a(a)	1.73±0.11c(e)	1.58±0.10d(e)
冀砧 3 号	1.53±0.14c(c)	2.26±0.12d(ab)	2.32±0.07abc(ab)	2.37±0.12b(a)	1.56±0.41c(c)	2.08±0.09c(b)

注:同列数据括号处不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ );同行数据后括号内不同小写字母表示干旱处理间差异显著( $P<0.05$ )。表 4、表 5、表 6 同。

表 4 干旱胁迫条件下对不同砧穗组合叶绿素含量的影响

砧穗组合	叶绿素含量(mg/g)				
	对照	干旱 12 d	干旱 14 d	干旱 16 d	覆水 3 d
15-1	2.99±0.81c(a)	2.63±0.19b(a)	3.45±0.60ab(a)	3.02±0.79a(a)	3.70±0.16a(a)
1-8	3.19±0.50bc(b)	3.37±0.22a(ab)	3.15±0.21ab(b)	3.09±0.08a(b)	3.96±0.20a(a)
14-7	3.59±0.64ab(a)	2.83±0.46ab(a)	3.70±0.37a(a)	3.55±0.26a(a)	3.68±0.40a(a)
10-1	3.25±0.39bc(ab)	2.9±0.07ab(b)	3.18±0.27ab(ab)	3.45±0.06a(a)	3.59±0.23a(a)
22-46	3.77±0.33abc(a)	3.10±0.43ab(a)	3.60±0.25b(a)	3.49±0.30a(a)	3.75±0.10a(a)
冀砧 3 号	3.38±0.49a(a)	2.81±0.22ab(b)	2.84±0.44a(ab)	3.16±0.25a(ab)	3.32±0.60a(a)

2.4 干旱胁迫条件下不同砧木、砧穗组合的光合参数变化

由图 3 可知,在干旱胁迫 13 d 时 6 种砧木及砧穗组合的净光合速率、气孔导度均受到不同程度抑制。6 种砧木在干旱胁迫 13 d 的瞬时水分利用率均

表 2 干旱胁迫条件下不同砧穗组合旱害指数变化

砧穗组合	旱害指数(%)				
	12 d	13 d	14 d	15 d	16 d
14-7	6.25	20.83	41.67	56.25	64.58
15-1	4.17	21.88	50.00	61.46	67.71
冀砧 3 号	10.89	31.67	42.78	59.44	69.22
10-1	11.54	26.92	50.00	61.54	69.23
1-8	7.81	21.88	53.13	60.94	72.75
22-46	25.00	41.67	61.11	69.44	75.00

值,且峰值显著高于 15-1、22-46、冀砧 3 号,与对照相比差异不显著,另外 5 种砧木叶片叶绿素含量先增加随后减少,干旱对砧木 15-1、砧木 1-8 的叶绿素含量影响较小,对砧木 22-46 的叶绿素含量影响较大。由表 4 可知,砧木 14-7 在干旱胁迫 14 d 时出现峰值,其他 5 种砧木在干旱胁迫期间叶片叶绿素含量整体呈现上升趋势。

高于对照,冀砧 3 号瞬时水分利用率最高(图 3-A)。砧木 1-8 的气孔导度表现为最高,但同砧木 14-7 相比差异性较小(图 3-B);砧木 14-7 的净光合速率表现为最高(图 3-C)。干旱胁迫 13 d 时,各砧穗组合叶片瞬时水分利用效率均明显升

高,其中砧穗组合天红 2 号/10-1 的瞬时水分利用率最高(图 4-A);砧穗组合天红 2 号/14-7 在干旱胁迫处理条件下的气孔导度表现较高(图 4-B),砧穗组合天红 2 号/14-7、天红 2 号/15-1、天红 2 号/冀砧 3 号净光合速率表现较高(图 4-C),该结果与砧木处理表现一致。

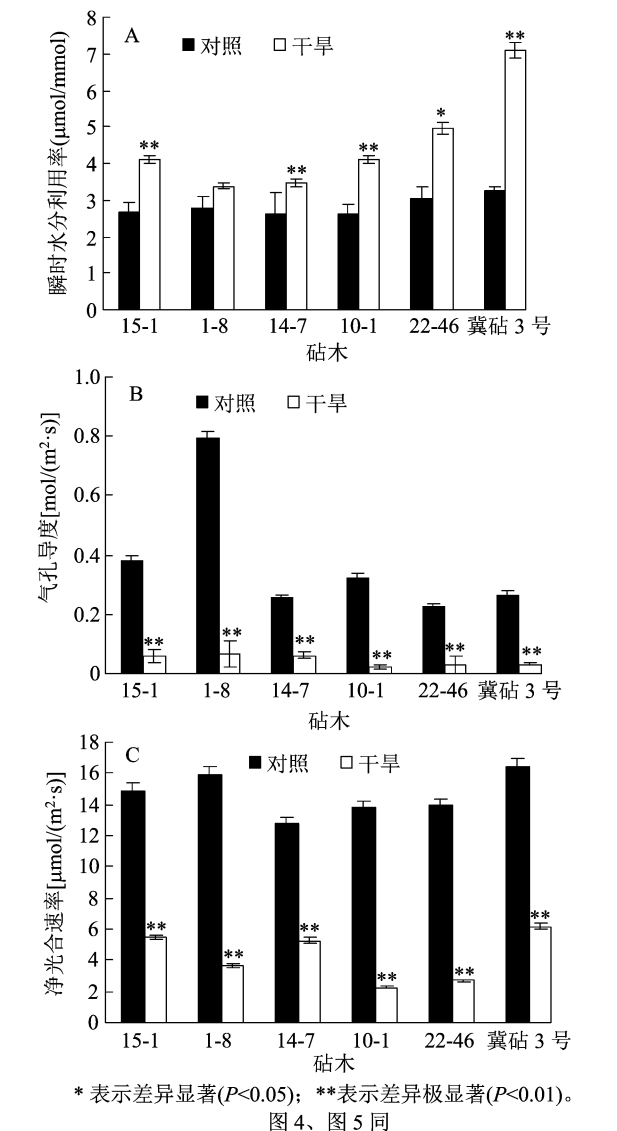


图3 干旱胁迫条件下不同砧木光合参数的变化

2.5 干旱胁迫条件下不同砧穗组合根系活性的变化

由图 5 可知,在干旱胁迫处理 14 d 时不同砧穗组合根系活性与对照比较差异极显著,砧穗组合 14-7 的根系活性表现最高,砧穗组合 15-1、冀砧 3 号次之,22-46 对照的根系活性是胁迫处理的 3.13 倍,而对照的各砧穗组合之间根系活性无明显差异。

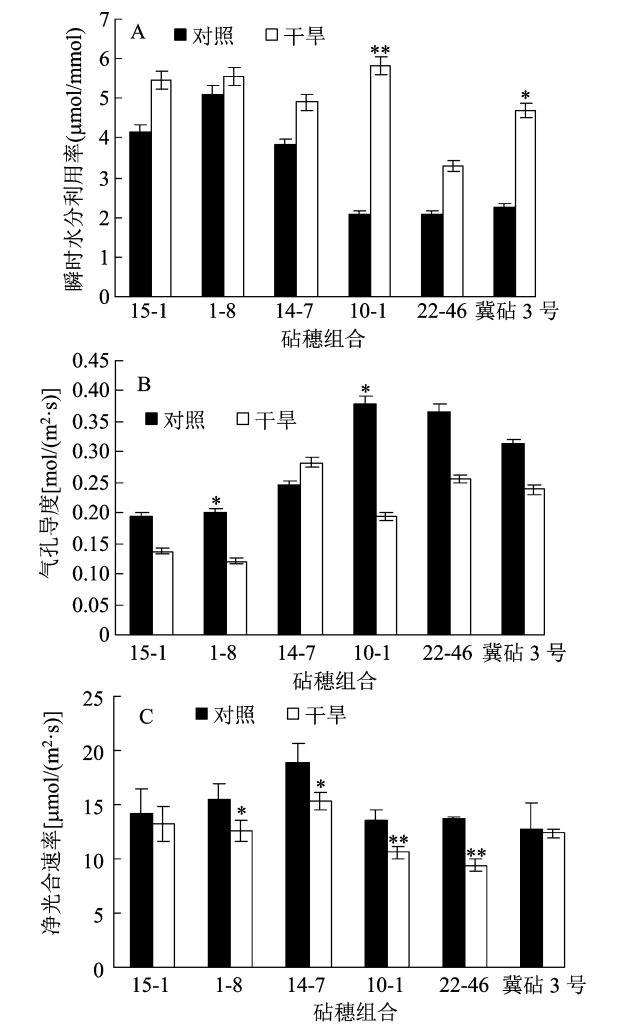


图4 干旱胁迫条件下不同砧穗组合光合参数的变化

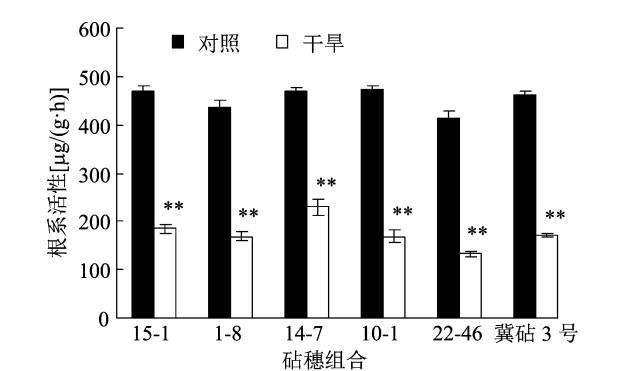


图5 干旱胁迫条件下不同砧穗组合根系活性的变化

2.6 干旱胁迫条件下不同砧木、砧穗组合叶片丙二醛含量的变化

由表 5、表 6 可知,干旱胁迫处理的砧木、砧穗组合叶片丙二醛含量明显升高,相同胁迫时间处理砧木的叶片中丙二醛含量差异不显著,砧木 22-46 在胁迫处理 8~14 d 时叶片中丙二醛含量增速相比其他 5 种砧木较快。由表 6 可知,不同砧穗组合的

叶片中丙二醛含量在相同胁迫时间差异显著,在干旱 2 号/15-1 叶片丙二醛含量低于其他砧穗组合,其旱胁迫处理 14 d 时砧穗组合天红 2 号/14-7、天红 中砧穗组合天红 2 号/14-7 表现最低。

表 5 干旱胁迫条件下不同砧木叶片丙二醛含量的变化

砧木	丙二醛含量(nmol/g FW)					
	对照	干旱 8 d	干旱 10 d	干旱 12 d	干旱 14 d	覆水 3 d
15-1	5.74±0.72a(d)	6.39±0.36a(cd)	7.69±0.72a(c)	10.28±0.12a(b)	18.07±1.61a(a)	9.41±1.06a(b)
1-8	6.51±0.25a(c)	6.57±1.04a(c)	8.20±1.03a(bc)	10.11±2.52a(b)	17.77±1.38a(a)	9.30±0.93a(b)
14-7	6.66±0.68a(cd)	6.98±0.40a(d)	8.75±0.63a(bc)	10.69±1.95a(b)	18.79±2.33a(a)	9.24±0.28a(b)
10-1	6.24±0.50a(d)	6.62±0.80a(d)	8.74±0.59a(c)	11.83±0.98a(b)	18.45±1.60a(a)	9.26±0.15a(c)
22-46	5.96±1.15a(d)	6.22±0.54a(d)	9.41±2.22a(c)	11.82±1.35a(b)	19.27±0.62a(a)	9.57±1.22a(c)
冀砧 3 号	6.44±0.41a(d)	6.60±0.55a(d)	8.17±0.47a(c)	12.10±1.10a(b)	20.17±0.26a(a)	9.25±0.51a(c)

表 6 干旱胁迫条件下不同砧穗组合叶片丙二醛含量的变化

砧木	丙二醛含量(nmol/g FW)				
	对照	干旱 8 d	干旱 10 d	干旱 12 d	干旱 14 d
15-1	7.78±0.31a(e)	9.79±0.54a(d)	14.00±0.67a(c)	15.25±0.16a(b)	18.82±0.41a(a)
1-8	7.60±0.13a(e)	11.68±0.99a(d)	15.51±1.25ab(c)	18.30±1.13ab(b)	24.32±0.32a(a)
14-7	8.25±0.88ab(d)	9.26±0.56ab(d)	12.92±0.25bc(e)	15.06±0.16bc(b)	18.12±0.80b(e)
10-1	8.97±0.42abc(e)	10.41±0.98b(d)	14.19±0.69cd(c)	16.76±0.41c(b)	21.75±0.42b(e)
22-46	8.59±0.14bc(e)	11.61±.56a(d)	16.36±0.44cd(c)	19.12±0.99d(b)	25.37±1.38c(a)
冀砧 3 号	8.65±0.24c(d)	8.68±0.44b(d)	14.87±0.46d(c)	17.40±0.09d(b)	20.62±0.90c(a)

2.7 干旱胁迫条件下不同砧木、砧穗组合隶属函数值

由表 7 可知,综合干旱胁迫下测定不同砧木的旱害指数、叶绿素含量、丙二醛含量等 6 个指标进行隶属函数分析,砧木 14-7 的平均隶属值最高,为 0.69;而砧木 22-46 的平均隶属值最低,为 0.24,6 种砧木优系的抗旱性由强到弱表现为 14-7>冀砧 3 号>15-1>1-8=10-1>22-46。由表 8 可知,对不同砧穗组合的旱害指数、光合参数、根系活

性等 7 个指标进行隶属函数分析,6 种砧穗组合中平均隶属值最高的为天红 2 号/14-7,为 0.77,天红 2 号/22-46 隶属值最低,为 0.08,综合分析 6 种砧穗组合的抗旱性表现为天红 2 号/14-7>天红 2 号/冀砧 3 号>天红 2 号/15-1>天红 2 号/10-1>天红 2 号/1-8>天红 2 号/22-46,综合砧木隶属函数值认为 6 种砧木优系抗旱性由强到弱表现为 14-7>冀砧 3 号>15-1>10-1>1-8>22-46。

表 7 干旱胁迫条件下不同砧木各项指标隶属函数值

砧木	隶属函数值						平均隶属值	排序
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>		
15-1	0.84	0.31	0.83	0.57	0.34	0.91	0.63	3
1-8	0.00	0.20	0.28	0.07	0.00	1.00	0.26	4
14-7	1.00	0.00	1.00	1.00	0.13	0.98	0.69	1
10-1	0.31	0.81	0.00	0.00	0.37	0.08	0.26	4
22-46	0.17	0.11	0.13	0.33	0.44	0.00	0.24	6
冀砧 3 号	0.76	1.00	0.86	0.32	1.00	0.32	0.66	2

注:X<sub>1</sub>~X<sub>6</sub> 分别为:旱害指数、叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、瞬时水分利用效率、MDA 含量。

3 讨论与结论

相关研究发现,当光合作用和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度

(C<sub>i</sub>)均降低时,光合作用受到了气孔限制因素的影响<sup>[10]</sup>。本试验中 6 种苹果砧木叶片光合作用出现显著降低趋势,分析可能受到气孔限制的影响。也

表 8 干旱胁迫条件下不同砧穗组合各项指标隶属函数值

砧穗组合	隶属函数值							平均隶属值	排序
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$		
15-1	0.81	0.13	0.87	0.29	0.13	0.88	0.44	0.51	3
1-8	0.72	0.57	0.45	0.14	0.00	0.19	0.39	0.35	5
14-7	1.00	0.84	0.44	1.00	0.12	1.00	1.00	0.77	1
10-1	0.64	0.39	0.35	0.00	1.00	0.55	0.23	0.45	4
22-46	0.00	0.00	0.00	0.29	0.30	0.00	0.00	0.08	6
冀砧 3 号	0.27	1.00	1.00	0.39	0.59	0.64	0.30	0.59	2

注： $X_1 \sim X_7$  分别为旱害指数、叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、瞬时水分利用效率、MDA 含量、根系活性。

有研究表明干旱胁迫处理下苹果幼苗叶片的  $P_n$ 、 $G_s$  和  $C_i$  均可能出现显著降低的变化<sup>[11]</sup>。本研究中 6 种砧木  $P_n$ 、 $G_s$  随着干旱胁迫程度的加重均呈下降趋势,这与前人研究结论<sup>[11]</sup>一致。

在土壤相对含水量在干旱处理下逐渐降低时,作物根系会最先感知到胁迫作用,并很快激发植物体所具备的特有抗旱响应机制,同时根系活力也会随着胁迫处理的持续出现显著变化,而根系活力是反映植物根部活动的主要指标之一<sup>[12]</sup>。路之娟等研究发现,当苦荞在苗期遭受干旱胁迫时其根系活力出现显著降低的变化趋势<sup>[13]</sup>。本试验结果表明,在干旱胁迫处理的 14 d 时,根系活力出现显著下降的趋势,与对照相比呈现极显著差异,可能由于旱害导致根系呼吸受到了抑制作用,进而影响根系活力出现显著下降的趋势。

相关研究表明,随着干旱胁迫程度的增加蓝莓叶片内 MDA 含量呈现递增趋势<sup>[14]</sup>,本试验中 6 种砧木表现出相同的变化趋势,与前人研究不同的是,在干旱胁迫 14 d 时各砧木优系叶片中 MDA 含量差异不显著,可能是严重的干旱胁迫导致的。

干旱是国际公认的制约苹果产量和果实品质的一个重要影响因子,而选育抗旱砧木是解决干旱对苹果生产造成严重影响的主要手段之一,本试验正是在以往的研究基础上采用模糊隶属函数的方法对叶绿素含量、旱害指数、光合参数、叶绿素荧光参数、丙二醛含量等生理指标对 6 种砧木进行综合分析,进而对各砧木优系进行抗旱性评价。结果表明,14-7 表现出较强的抗旱性,冀砧 3 号次之,优系 22-46、优系 10-1 的抗旱性相对较弱。通过对 6 种砧木优系进行抗旱性评价,进一步将砧木嫁接上天红 2 号进行了研究并得出了初步结论,但通过分子技术手段进行深入研究其抗旱性是否与此研

究结果保持一致,还有待进一步研究阐明。

参考文献:

[1] Ma P, Bai T H, Ma F W. Effects of progressive drought on photosynthesis and partitioning of absorbed light in apple trees[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(4): 681-690.

[2] 王健强, 李 佳, 苏 怡, 等. 7 种苹果矮化砧木的抗旱性评价[J]. 中国果树, 2019(6): 38-41.

[3] 姚允聪, 张大鹏, 王有年. JM 提高苹果幼树抗旱性的研究初报[J]. 园艺学报, 1999, 26(5): 333-334.

[4] 李兴亮, 张军科, 李民吉, 等. 不同类型苹果矮化砧木抗旱评价与基因表达分析[J]. 农业生物技术学报, 2018, 26(3): 401-409.

[5] 戚大伟. 9 种苹果矮化中间砧栽培抗旱性比较[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016: 28-45.

[6] 赵秀明, 王 飞, 韩明玉, 等. 新引进苹果矮化中间砧木的抗旱性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(4): 105-112.

[7] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

[8] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[9] 邵永博, 王世显, 魏 珉, 等. 氮磷钾用量对基质培茄子产量、根系形态和根际微生物数量与酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(21): 4623-4634.

[10] 郭爱霞, 石晓昀, 王延秀, 等. 干旱胁迫对 3 种苹果砧木叶片光合、叶绿体超微结构和抗氧化系统的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(1): 178-186.

[11] 牛铁泉, 田给林, 薛仿正, 等. 半根及半根交替水分胁迫对苹果幼苗光合作用的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(7): 1463-1468.

[12] 齐 健, 宋凤斌, 刘胜群. 苗期玉米根叶对干旱胁迫的生理响应[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1264-1268.

[13] 路之娟, 张永清, 张 楚. 干旱胁迫对不同苦荞品种苗期生长和根系生理特征的影响[J]. 西北植物学报, 2018, 38(1): 112-120.

[14] 陈文荣, 曾玮玮, 李云霞, 等. 高丛蓝莓对干旱胁迫的生理响应及其抗旱性综合评价[J]. 园艺学报, 2012, 39(4): 637-646.