

# 模拟干旱胁迫对八棱海棠根系生理生化指标的影响

张 灏<sup>1,2</sup>, 曹 慧<sup>1</sup>

(1. 山东省高校生物化学与分子生物学重点实验室, 潍坊学院, 山东 潍坊 261061; 2. 山西农业大学 园艺学院, 山西 太谷 030801)

**摘 要:**以八棱海棠幼苗为试材,研究了不同浓度的 PEG-6000 模拟干旱胁迫对八棱海棠根系生理生化指标的影响。结果表明:不同程度干旱胁迫均使八棱海棠根系丙二醛(MDA)和游离脯氨酸(Pro)含量增多,过氧化物酶(POD)活性提高;过氧化氢酶(CAT)活性、可溶性蛋白质含量在干旱胁迫前期比对照均有不同程度的提高,随着胁迫时间的延长,CAT 活性、可溶性蛋白质含量大幅度下降,且下降幅度为:20%PEG>15%PEG>10%PEG>5%PEG;5%PEG、10%PEG、15%PEG 胁迫 CAT 活性和可溶性蛋白含量虽下降,但仍高于对照水平;20%PEG 胁迫使CAT 活性、可溶性蛋白质含量低于对照水平,这说明干旱胁迫使植物体内正常的蛋白质合成受到抑制,根系可能已经失去了对于干旱胁迫的适应性与可调控性,细胞内膜系统受到严重损伤;干旱逆境对膜系统的伤害是脂质过氧化作用增强的结果。

**关键词:**干旱胁迫;八棱海棠;根系;生理生化指标;PEG-6000

**中图分类号:**S 661 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)03-0069-05

目前,全世界有三分之一的可耕地处于供水不足状态,干旱是制约农业生产的主要非生物逆境因子<sup>[1]</sup>,

**第一作者简介:**张灏(1988-),男,硕士研究生,现主要从事果树生理等研究工作。

**责任作者:**曹慧(1966-),女,博士,教授,现主要从事果树生理等研究工作。E-mail:hui5232@163.com。

**基金项目:**山东省科学技术发展计划资助项目(2011GNC11201);山东省高等学校科技计划资助项目(J10LC64);潍坊市科技发展计划资助项目(201003037)。

**收稿日期:**2013-10-24

对植物的危害在所有非生物危害中居首位<sup>[2]</sup>,也是造成苹果属植物产量不高不稳的一个重要因素<sup>[3]</sup>。植物在遭受干旱胁迫时,植株体可根据水势大小进行水分重新分配,加速失水器官和组织的衰老死亡,从而对植物造成永久性伤害<sup>[4]</sup>。深入研究苹果属植物抗旱机理提高水分利用效率,已经成为当前种植果树迫切需要解决的问题<sup>[5]</sup>。

八棱海棠(*Malus robusta* Rehd.)是北方常用砧木。近年来,由于气候变化带来的苹果产区降水量、降水时间及降水年际分布不均衡等现象,使苹果生产面临的干旱缺水问题更加严峻。解决苹果生产中面临的干旱缺

## Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on Growth of Butch Clover Stressed with NaCl

LIU Jun<sup>1</sup>, XIN Shu-quan<sup>2</sup>, ZHAO Ji-min<sup>2</sup>

(1. Logistics Service, Changchun Normal University, Changchun, Jilin 130032; 2. College of Life Science, Changchun Normal University, Changchun, Jilin 130032)

**Abstract:** The seeds of Butch clover were used as experimental materials and were soaked with suspension of bacteria ACC9-1, then the seeds were planted through plate-plate method with different concentration of NaCl solution (Hydroponics). The physical and biochemistry indexes were detected to compare the influencing effects on the growth of Butch clover. The results showed that Butch clover seedlings had a greater damage when the concentration of NaCl was higher. Additionally, if seeds were treated with ACC9-1, the damages decreased a bit. All in all, Butch clover had the capacity of buffering, moderating and adapting to the NaCl stress after adding plant growth promoting bacteria. Therefore, plant growth promoting bacteria could play an important role in reducing damages arise from NaCl in Butch clover.

**Key words:** NaCl; plant growth promoting bacteria; stress; Butch clover

水问题,利用果树本身的生物学特性,充分挖掘其自身的抗旱潜力是一个非常重要的课题。因此,研究果树根系对干旱胁迫的响应对果树抗旱栽培具有重要意义<sup>[6]</sup>。现以八棱海棠幼苗为试材,研究了 PEG-6000 模拟不同程度干旱胁迫对幼苗根系的生理生化指标的研究,探讨八棱海棠对不同干旱胁迫的抗旱能力,以期为干旱地区的果树种植提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为八棱海棠。

PEG-6000 为北京双环化学试剂厂进口分装,粉末状,易溶于水,浓度为质量体积百分比。

### 1.2 试验方法

试验于 2012 年 3 月至 2013 年 3 月在山东省高校重点实验室(潍坊学院生物与农业工程学院)进行。

八棱海棠砧木种子经 4℃ 层积处理,蛭石培养。待幼苗长出 3~4 片真叶时,选取长势良好一致的幼苗转至 1/2 Hoagland 营养液中培养。培养 1 周后转为全 Hoagland 营养液培养,每周更换 1 次营养液。当幼苗长到 14~15 片叶时,选择生长相对一致的幼苗进行试验。

以 PEG-6000 处理模拟干旱胁迫,按照统计学中的析因设计,每个浓度处理 8 株,3 次重复。为了保证处理浓度的稳定性,处理期间每天更换 1 次处理液。

试验设 4 个处理,I: Hoagland 营养液+5% PEG-6000 溶液;II: Hoagland 营养液+10% PEG-6000 溶液;III: Hoagland 营养液+15% PEG-6000 溶液;IV: Hoagland 营养液+20% PEG-6000 溶液;以不加 PEG-6000 的 Hoagland 营养液为对照,各处理和对照分别于干旱胁迫处理后第 0、3、6、9、12 天取样,测定各项生理指标。

### 1.3 项目测定

游离脯氨酸(Pro)含量的测定采用酸性茚三酮比色法;可溶性蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝法;过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法;过氧化氢酶(CAT)活性的测定采用紫外分光光度法;丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法,以上指标的测定方法均参照李合生<sup>[7]</sup>的方法。

### 1.4 数据分析

所有数据均用 Microsoft Excel 2010 录入并绘图,应用 SAS 9.2 两因素析因设计定量资料的五元方差分析处理试验数据,用 Pearson 相关系数评价不同生理指标间的相关关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对八棱海棠根系游离脯氨酸含量的影响

植物遇到逆境时,游离脯氨酸便会大量积累。由图 1 和表 1 可知,随着胁迫程度的加深和时间的延长,幼苗根系游离脯氨酸含量逐渐升高,各胁迫处理的游离脯氨

酸含量均大于对照。处理 I 下,游离脯氨酸含量随胁迫时间延长而缓慢上升。方差分析表明,在同一处理下不同胁迫时间(图 1),除 CK 外,干旱胁迫对游离脯氨酸含量均具有显著影响,在同一胁迫时间不同处理间(表 1),除处理当天外,不同浓度的 PEG 处理根系游离脯氨酸含量间有显著差异性。

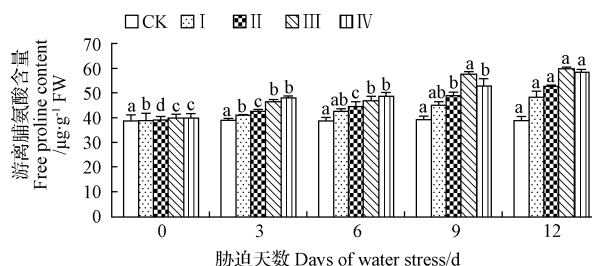


图 1 同一处理下不同干旱胁迫时间对八棱海棠根系游离脯氨酸含量的影响

注:不同小写字母表示同一处理下不同时间差异达显著水平( $P < 0.05$ )。下同。

Fig. 1 Effect of drought stress on free proline content of *Malus robusta* Rehd. at different time in the same treatment

Note: Different lowercase letters indicate difference significantly at 0.05 level within the same treatment but different time. The same below.

表 1 同一胁迫时间不同干旱胁迫处理对八棱海棠根系游离脯氨酸含量的影响

Table 1 Effect of water stress on free proline content of *Malus robusta* Rehd. at same time among different treatments

处理	胁迫天数 Days of stress/d				
	0	3	6	9	12
CK	38.73±2.32a	38.75±0.79c	38.83±1.23b	38.92±1.92d	39.01±1.65d
I	38.89±2.80a	40.93±0.47bc	42.51±1.09ab	44.96±1.12c	48.18±2.50c
II	39.14±1.48a	42.59±0.82b	44.59±2.10a	48.89±1.17bc	52.76±0.45b
III	39.86±1.56a	46.33±1.07a	46.72±1.68a	57.63±0.92a	59.55±0.88a
IV	39.9±1.57a	47.98±0.98a	48.36±1.98a	52.69±2.86b	58.31±1.09a

注:不同小写字母表示同一时间不同处理间差异达显著水平( $P < 0.05$ )。下同。  
Note: Different lowercase letters within the same time but different treatment indicate significant difference at 0.05 level. The same was in the following figures.

### 2.2 干旱胁迫对八棱海棠根系可溶性蛋白质含量的影响

蛋白质参与植物体内各种代谢,是植物体活动的体现者。由图 2 和表 2 可知,在干旱胁迫过程中,CK、处理 I 和处理 II 根系可溶性蛋白质含量随胁迫浓度的升高而先增大后减小,处理 III 和 IV 随胁迫时间的延长,呈现出减小的趋势。处理 I 和处理 II 在第 3 天时达到最大值,说明可溶性蛋白质含量对干旱胁迫有积极的响应。从胁迫第 9 天开始(图 2),各处理均明显低于对照,PEG 胁迫可能已经严重影响了幼苗根系正常的生命活动,根系可能丧失了对干旱环境的可调控性。

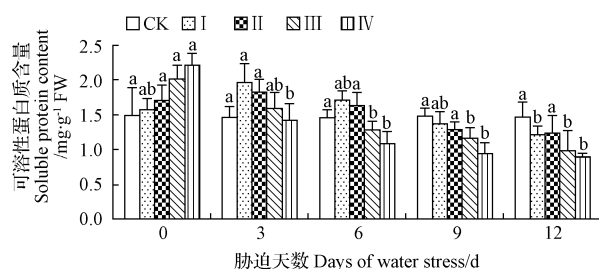


图2 同一处理下不同干旱胁迫时间对八棱海棠根系可溶性蛋白质含量的影响

Fig.2 Effect of drought stress on soluble protein content of *Malus robusta* Rehd. at different time in the same treatment

表2 同一胁迫时间不同干旱胁迫处理对八棱海棠根系可溶性蛋白质含量的影响

Table 2 Effect of drought stress on soluble protein content of *Malus robusta* Rehd. at same time among different treatments

处理	胁迫天数 Days of stress/d				
	0	3	6	9	12
CK	1.49±0.40a	1.46±0.16a	1.45±0.11a	1.48±0.11a	1.47±0.21a
I	1.57±0.16a	1.96±0.27a	1.71±0.13a	1.37±0.17a	1.21±0.13a
II	1.71±0.23a	1.82±0.18a	1.63±0.18ab	1.29±0.10a	1.23±0.25a
III	2.01±0.20a	1.59±0.23a	1.28±0.13ab	1.16±0.16a	0.98±0.30a
IV	2.21±0.17a	1.42±0.24a	1.08±0.18b	0.94±0.16a	0.89±0.06a

## 2.3 干旱胁迫对八棱海棠根系 POD 活性的影响

POD 能清除体内过多  $H_2O_2$  等过氧化物,是细胞内防御酶系统中体内自由基的清除剂。从图 3 和表 3 可看出,处理 I、II、III 和 IV 在整个胁迫期间均呈上升趋势,在第 12 天时达到最大值,上升幅度分别为 216.59%、238.01%、239.07%、250.85%。方差分析表明,在同一处理下不同胁迫时间(图 3),POD 活性差异显著,PEG 对其有显著影响,在同一时间不同胁迫处理间(表 3),处理当天 POD 活性无显著变化,随着胁迫时间的延长,4 种胁迫处理 POD 活性均达显著水平。

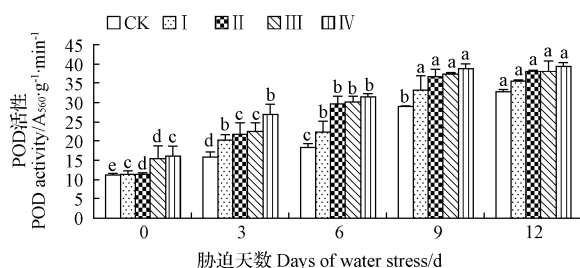


图3 同一处理下不同干旱胁迫时间对八棱海棠根系 POD 活性的影响

Fig.3 Effect of drought stress on POD activity of

*Malus robusta* Rehd. at different time in the same treatment

## 2.4 干旱胁迫对八棱海棠根系 CAT 活性的影响

图 4 和表 4 表明,在胁迫初期,4 种处理 CAT 活性均呈上升趋势,第 9 天后 CAT 活性变化有所不同。处理 I 于第 9 天达最高值之后呈下降趋势,而处理 II、III 和

表3 同一胁迫时间不同干旱胁迫处理对八棱海棠根系 POD 活性的影响

Table 3 Effect of drought stress on POD content of

*Malus robusta* Rehd. at same time among different treatments

$A_{560} \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$

处理	胁迫天数 Days of stress/d				
	0	3	6	9	12
CK	11.21±0.42a	15.85±1.22b	18.42±0.86b	28.99±0.10b	32.83±0.48b
I	11.18±1.00a	20.13±1.44ab	22.18±3.04b	33.23±3.73ab	35.49±0.25ab
II	11.20±0.40a	21.68±2.97ab	29.49±2.19a	36.61±2.02a	37.89±0.24a
III	15.39±3.39a	22.45±2.15ab	30.06±1.54a	37.23±0.45a	38.01±2.79a
IV	16.13±2.53a	26.79±2.73a	31.44±0.81a	38.81±1.22a	39.33±1.09a

IV CAT 活性均在第 6 天升至最高,之后呈下降趋势,下降幅度分别为 40.04%、58.55%、60.02%,处理 I 和 II CAT 活性虽呈下降趋势,但仍高于对照,而处理 III 和 IV 在第 9 天时根系 CAT 活性均低于对照水平。同一处理下不同胁迫时间(图 4),在 0~3 d 时,各处理间差异均不显著,随着胁迫时间的延长,干旱胁迫对 CAT 活性有显著影响。在同一胁迫时间不同处理间(表 4),水分胁迫处理 3 d 后,各处理间 CAT 活性差异均达显著水平。

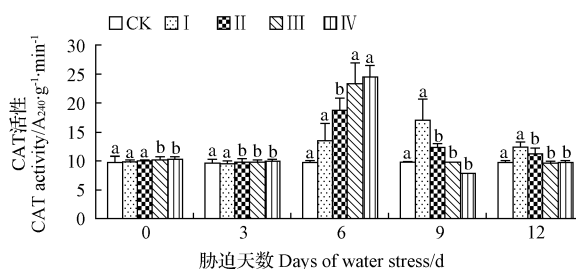


图4 同一处理下不同干旱胁迫时间对八棱海棠根系 CAT 活性的影响

Fig.4 Effect of drought stress on CAT activity of

*Malus robusta* Rehd. at different time in the same treatment

表4 同一胁迫时间不同干旱胁迫处理对八棱海棠根系 CAT 活性的影响

Table 4 Effect of drought stress on CAT content of

*Malus robusta* Rehd. at same time among different treatments

$A_{240} \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$

处理	胁迫天数 Days of stress/d				
	0	3	6	9	12
CK	9.72±1.05a	9.73±0.48a	9.81±0.30c	9.81±0.04b	9.82±0.21b
I	9.92±0.24a	9.61±0.41a	13.52±2.94bc	17.13±3.61a	12.39±0.95a
II	10.01±0.23a	9.84±0.52a	18.78±2.11ab	12.38±0.59b	11.26±0.95ab
III	10.20±0.52a	9.88±0.31a	23.45±3.51a	9.85±0.14b	9.72±0.33b
IV	10.29±0.40a	9.95±0.35a	24.56±2.01a	7.85±0.20b	9.82±0.27b

## 2.5 干旱胁迫对八棱海棠根系 MDA 含量的影响

MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,在一定程度上可反映植物受氧化伤害的程度。由图 5 和表 5 可知,干旱胁迫处理期时,4 种浓度的胁迫均使 MDA 的含量呈上升趋势,处理后 0~3 d 上升缓慢,之后大幅度上升,于第 9 天升至最高,上升幅度由大到小依次为 IV>III>II>I, 分别比对照提高 446.07%、372.96%、



276.45%、116.20%。方差分析表明,在同一处理下不同胁迫时间(图5),除处理I外,各处理间MDA含量差异显著,在同一胁迫时间不同处理间(表5),PEG处理3d后,各处理间MDA含量差异均达显著水平。

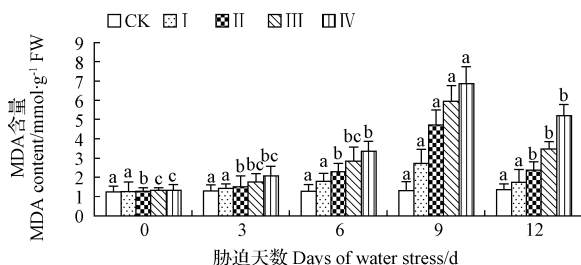


图5 同一处理下不同干旱胁迫时间对八棱海棠根系MDA含量的影响

Fig. 5 Effect of drought stress on MDA content of *Malus robusta* Rehd. at different time in the same treatment

表5 同一胁迫时间不同干旱胁迫处理对八棱海棠根系MDA含量的影响

Table 5 Effect of drought stress on MDA content of *Malus robusta* Rehd. at same time among different treatments

处理	胁迫天数 Days of stress/d				
	0	3	6	9	12
CK	12.61±2.69a	13.14±2.70a	12.79±3.47b	13.23±4.44b	13.46±3.20c
I	12.82±4.91a	14.25±2.23a	17.94±4.24ab	27.24±2.47b	17.37±6.70c
II	12.92±1.87a	15.46±5.26a	23.12±4.17ab	47.47±7.67a	23.72±4.27bc
III	13.15±1.61a	17.63±4.23a	28.35±7.44ab	59.64±3.16a	34.97±3.54b
IV	13.23±3.20a	20.74±5.09a	33.57±5.23a	68.86±8.51a	52.24±5.44a

## 2.6 干旱胁迫下八棱海棠根系各生理生化指标的相关性分析

植物的抗旱性是由植物形态、解剖、植物生理生态等多方面综合反映的,不同抗旱性鉴定指标间必然存在着一定的相关性,了解这些相关性有利于我们对植物抗旱性的进一步认识。由表6对八棱海棠相关生理指标的相关性分析发现,游离脯氨酸与可溶性蛋白呈极显著负相关( $P < 0.01$ )、与POD、MDA呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),可溶性蛋白与POD、MDA呈极显著负相关( $P < 0.01$ ),POD与MDA呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。CAT与游离脯氨酸、POD、MDA呈正相关,与可溶性蛋白呈负相关,但均不显著。

表6 八棱海棠生理指标间的相关性分析

Table 6 Correlation analysis among physiological indexes on *Malus robusta* Rehd.

	游离脯氨酸 Free proline	可溶性蛋白质 Soluble protein	过氧化物酶 POD	过氧化氢酶 CAT	丙二醛 MDA
游离脯氨酸 Free proline	1.000				
可溶性蛋白质 Soluble protein	-0.748 **	1.000			
过氧化物酶 POD	0.811 **	-0.749 **	1.000		
过氧化氢酶 CAT	0.069	-0.169	0.212	1.000	
丙二醛 MDA	0.806 **	-0.706 **	0.723 **	0.057	1.000

注: \*\*  $P < 0.01$ 。

Note: \*\*  $P < 0.01$ 。

## 3 结论与讨论

植物通过增加游离脯氨酸含量进行渗透调节被认为是一种抵抗水分胁迫的有效途径<sup>[8]</sup>,也有一些研究发现,二者之间相关性并不明显<sup>[9-10]</sup>。在该试验中,随着胁迫程度的加深和时间的延长,幼苗根系游离脯氨酸含量逐渐升高,各胁迫处理的游离脯氨酸含量均具有显著差异性,与邱真静等<sup>[11]</sup>的研究结果一致。干旱胁迫条件下,游离脯氨酸含量的积累,可能有以下作用:一是积累游离脯氨酸含量通过质量作用进行渗透调节,从而增加幼苗根系的保水能力,积累的游离脯氨酸是渗透质;二是积累的游离脯氨酸作为能共存的溶质起渗透保护作用,或与脂类、蛋白质结合从而阻止膜解离、蛋白质复合体解聚或酶失活,此时,积累的游离脯氨酸可以称为低分子量的分子伴侣<sup>[12-14]</sup>。

可溶性蛋白质含量与植物细胞的渗透调节有关,高含量的可溶性蛋白质可使细胞维持较低的渗透势,抵抗干旱胁迫带来的伤害<sup>[15]</sup>。但也有研究表明,干旱抑制蛋白质的合成并诱导蛋白质的降解,从而使植株体内的总蛋白质含量降低<sup>[16]</sup>。该研究表明,根系可溶性蛋白质含量随胁迫浓度的升高而先增大后减小,且随胁迫时间的延长,呈现出减小的趋势。原因可能是干旱胁迫条件下促进了某些特殊种类的蛋白质合成的结果,但是随着胁迫时间的延长,植物体内正常的蛋白质合成也常会受到抑制。

逆境胁迫下,植物体内发生氧化胁迫,破坏了酶系统对氧代谢的平衡,植物体可自身提高抗氧化系统活力来平衡活性氧代谢<sup>[17]</sup>。该研究通过对八棱海棠根系POD和CAT活性的研究,发现这2种酶都表现出积极的响应。在PEG-6000胁迫浓度逐渐加大的情况下POD活性表现为始终上升,而CAT活性呈现先上升后下降的趋势,这都体现出八棱海棠根系为减轻细胞伤害而做出的适应性反应,即保持较高的酶活性以降低细胞内的活性氧对细胞膜的伤害,但随着干旱胁迫的加剧,根系内活性氧的积累对细胞膜的伤害增大,当超过一定限度的时候,保护酶活性降低。该试验表明,处理I下,细胞能维持较高的CAT、POD活性,MDA含量低,脂质过氧化程度较弱;虽然在胁迫第9天处理II CAT活性开始下降,但POD活性仍较高,因此膜脂过氧化作用对膜的伤害不至于太严重;在胁迫第12天时,处理III和IV POD活性提高缓慢,八棱海棠根系可能已经失去了对干旱胁迫的适应性与可调控性,这进一步证明膜系统在干旱逆境下的伤害是脂质过氧化作用增强的结果<sup>[18]</sup>。

总之,在该试验中,游离脯氨酸、可溶性蛋白质、POD、CAT、MDA对干旱胁迫响应迅速,PEG-6000浓度对上述指标含量影响显著。随着胁迫程度的加深和胁迫时间的延长,根系失去自我调控能力,膜系统受到严

重损伤。该试验表明,八棱海棠在轻度和短期的干旱胁迫下具有较强的抗旱能力,在这之后要及时灌溉,该结论为干旱地区的果树种植提供了科学依据。在所测定的各指标中,游离脯氨酸与可溶性蛋白质呈极显著负相关,与 POD、MDA 呈极显著正相关,可溶性蛋白质与 POD、MDA 呈极显著负相关,POD 与 MDA 呈极显著正相关。CAT 与其它指标间的相关性不明显。因此,游离脯氨酸、POD、MDA 和可溶性蛋白质可以作为鉴定八棱海棠幼苗根系的抗旱指标。

果树因其生长环境的复杂性,加之干旱胁迫对果树的影响,也因干旱的速度、程度、持续时间以及不同树种和品种而不同,因此,通过对树体生理生化指标的监测可以确定灌溉的最佳时期和灌溉量<sup>[6]</sup>。苹果属植物应答干旱胁迫过程涉及的生理生化指标较多,关于各指标间内在联系的研究还不够深入,尤其是关于通过认识抗旱性机制来改善某些苹果属植物品种遗传基础的研究仍处于摸索阶段,用分子手段确定抗旱性评价指标已成为当前的研究热点<sup>[19]</sup>。因此,应加强苹果属植物抗旱机制的系统研究,并在分子水平上认识其抗旱机理,培育苹果抗旱新品种。

### 参考文献

- [1] Sharp R E, Poroyko V, Hejlek L G. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(407): 2343-2351.
- [2] Francois C, Genevieve C, Jean-christophe B. Molecular and physiological response to water deficit in drought-tolerant and drought-sensitive lines of sunflower[J]. Plant Physiol, 1998, 116: 319-328.
- [3] Banziger M, Setimela P S, Hodson D, et al. Breeding for improved drought tolerance in maize adapted to southern Africa. New direction for a diverse planet[A]. Proceedings of the fourth International Crop Science Congress[C]. Brisbane, Australia, 2004: 1-10.
- [4] 曹慧. 水分胁迫诱导苹果属植物叶片衰老机理的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [5] Tomo'omi Kumagai. Modeling water transportation and storage in sapwood-model development and validation[J]. Agri and For Meteo, 2001, 109: 105-115.
- [6] 赵昌杰, 刘松忠, 张强. 果树对干旱胁迫的响应研究进展[J]. 中国果树, 2011(4): 60-62.
- [7] 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, 2003.
- [8] McMichael B L, Elmore C D. Proline accumulation in water stressed cotton leaves[J]. Crop Science, 1997, 17: 905-908.
- [9] 贾利强. 金沙江热河谷造林树种抗旱特性的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2003.
- [10] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448.
- [11] 邱真静, 李毅, 种培芳. PEG 胁迫对不同地理种源沙拐枣生理特性的影响[J]. 草业学报, 2011(3): 108-114.
- [12] 杨洪强, 黄天栋, 束怀瑞等. 干旱胁迫对苹果幼树内源多胺水平的影响[J]. 西北农业大学学报, 1995, 4(3): 93-99.
- [13] 潘东明, 潘良镇. 水分胁迫对龙眼幼苗多胺的生理生化指标的影响[J]. 福建农业大学学报, 1997, 26(3): 48-55.
- [14] Jain M, Mathur G, Koul S. Ameliorative effects of proline on salt stress induced lipid peroxidation in cell line of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Plant Cell Rep, 2001, 20: 463-468.
- [15] 余叔文. 植物生理与分子生物[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 739-75.
- [16] 魏良民. 几种旱生植物碳水化合物和蛋白质变化的研究[J]. 干旱区研究, 1991, 8(4): 38-41.
- [17] Cheruth A J, Ragupathi G, Paramasivam M, et al. Responses of antioxidant defense system of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. to paclobutrazol treatment under salinity [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2007, 29 (3) 205-209.
- [18] 曹慧, 王孝威. 水分胁迫下短枝型苹果叶片膜脂过氧化和保护酶系统的变化[C]//中国园艺学会. 中国园艺学会第九届学术年会论文集. 中国园艺学会, 2001: 4.
- [19] 李壮, 孙效国, 李敏. 苹果属植物抗旱机制研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011(3): 1351-1353.

## Effect of Drought Stress on Physiological Characteristics of Root in *Malus robusta* Rehd.

ZHANG Hao<sup>1,2</sup>, CAO Hui<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Biochemistry and Molecular Biology in Universities of Shandong, Weifang College, Weifang, Shandong 261061;  
2. Horticultural College, Shanxi Agricultural University, Shanxi Taigu 030801)

**Abstract:** Taking *Malus robusta* Rehd. as material, PEG-6000 was used to simulate drought stress, the effect of water stress on physiological characteristics of root were studied. The results showed that the malondialdehyde(MDA) content, the free proline content and the peroxidase(POD) activity increased under different drought stress. The catalase(CAT) activity and the soluble protein content increased during early period, as the duration of drought stress prolonged, the CAT activity decreased, and the decrease order was 20%PEG>15%PEG>10%PEG>5%PEG. CAT activity and soluble protein content decreased under 5% PEG, 10% PEG, 15% PEG stress, but still higher than the control level. 20% PEG made CAT activity, soluble protein content below the control level, protein synthesis was inhibited, roots may have lost the adaptability to drought stress, and serious damage to the cell membrane system. Drought stress on the membrane system damage was the result of enhanced lipid peroxidation.

**Key words:** water stress; *Malus robusta* Rehd.; root; physiological indicators; PEG-6000