

里程辉,王 杰,王 宏,等. 淹水胁迫下不同中间砧对岳华苹果叶片和根系抗氧化酶、非酶类抗氧化物活性的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(11):130-135.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.11.018

淹水胁迫下不同中间砧对岳华苹果叶片和根系 抗氧化酶、非酶类抗氧化物活性的影响

里程辉,王 杰,王 宏,于年文,宋 哲,张秀美,李宏建,韩丽红

(辽宁省果树科学研究所,辽宁营口 115009)

摘要:以一年生盆栽岳华/辽砧 2 号/山荆子、岳华/GM256/山荆子、岳华/77-34/山荆子和岳华/山荆子为试验材料,研究在持续淹水胁迫下,不同中间砧对岳华叶片和根系抗氧化酶、非酶类抗氧化物活性的影响。结果表明:在整个淹水过程中,各砧穗组合叶片和根系中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性和游离脯氨酸含量先上升后下降,说明树体通过提高保护酶活性和非酶类抗氧化物含量来抵抗氧化胁迫和增加渗透调节;各组合的保护酶活性和游离脯氨酸含量在淹水后 7~14 d 出现差异,且淹水后 7 d 岳华/GM256/山荆子显著高于其他组合,辽砧 2 号组合最低。在淹水后 7~14 d,GM256 作为中间砧抗淹水能力最强,建议在降水量较多的辽宁丹东、大连等地优先考虑该组合。

关键词:岳华苹果;中间砧;淹水;抗逆性酶;抗氧化物

中图分类号:S661.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)11-0130-06

涝害是苹果在生长发育过程中受到的非生物胁迫之一。植物根系长期浸泡在水中,会产生乙醇等有害物质,并且 O_2 亏缺, CO_2 和乙烯等过剩会使

植物缺氧受害^[1-5]。近几年,苹果的矮化密植栽培方式因其产量高、品质优、早果早产、生产管理方便等优点,已成为我国苹果产业的发展方向和趋势^[6]。岳华(寒富×岳帅)是由辽宁省果树科学研究所杂交选育的苹果新品种,该品种在冷凉地区发展比寒富苹果更有优势^[7],并且近几年发展迅速;辽砧 2 号(助列涅特×M9,引自辽宁省果树科学研究所)、GM256(红海棠×M9,引自吉林省农业科学院果树研究所)、77-34(M9×小黄海棠,引自辽宁省果树科学研究所)是 3 种适合在冷凉地区栽培的矮化、半矮化砧木,以山定子为基础,这 3 种砧木为

收稿日期:2019-08-07

基金项目:科技特派行动专项(编号:2021JH5/10400029);民生科技计划(编号:2021JH2/10200025);国家苹果产业技术体系熊岳综合试验站项目(编号:CARS-27)。

作者简介:里程辉(1984—),男,辽宁海城人,硕士,副研究员,从事苹果栽培与生理研究工作。E-mail:lnlichenghui@163.com。

通信作者:王 杰,助理研究员,从事果树栽培与生理研究工作。E-mail:ln_wangjie@163.com。

[19]向玉勇,刘同先,张世泽. 温湿度、光照周期和寄主植物对小地老虎求偶及交配行为的影响[J]. 植物保护学报,2018,45(2):235-242.

[20]韩桂彪,杜家纬,胡 萃,等. 环境温度和光周期对枣镰翅小卷蛾求偶活动及性信息素释放的影响[J]. 林业科学,1999,35(2):75-81.

[21]张 锋,洪 波,景仰平,等. 无公害粘虫胶在枣镰翅小卷蛾防治中的应用[J]. 西北园艺(综合),2021(5):61-63.

[22]郑海霞,阎 毅,张金桐,等. 蓑蛾夜蛾成虫生物学与性趋向[J]. 林业科学,2014,50(12):87-93.

[23]陈 琳,王广利,魏洪义. 杨小舟蛾的羽化和生殖行为节律[J]. 应用生态学报,2014,25(8):2425-2430.

[24]田太安,刘健锋,于晓飞,等. 不同光源对草地贪夜蛾生殖行为的影响[J]. 植物保护学报,2020,47(4):822-830.

[25]刘永华,阎雄飞,章一巧,等. 栎黄枯叶蛾羽化及生殖行为研究[J]. 应用昆虫学报,2013,50(5):1253-1259.

[26]常明山,文 娟,蒋学建,等. 桐花树毛颚小卷蛾成虫求偶及交配行为观测[J]. 林业科技开发,2015,29(5):143-145.

[27]杨美红,张金桐,刘金龙,等. 榆木蠹蛾生殖行为及性信息素产生与释放节律[J]. 昆虫学报,2010,53(11):1273-1280.

[28]何月秋,秦元霞,王志龙. 樟巢螟成虫的交配和产卵行为[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2013,37(4):167-170.

[29]Tang J D, Charlton R E, Cardé R T, et al. Diel periodicity and influence of age and mating on sex pheromone titer in gypsy moth, *Lymantria dispar* (L.)[J]. Journal of Chemical Ecology, 1992, 18(5):749-760.

[30]刘 芸,阮传清,刘 波,等. 温度对小菜蛾成虫繁殖和寿命的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(12):190-193.

中间砧,与岳华嫁接后亲和性良好。但在降水期比较集中且年降水量在 1 000 mm 以上的大连市、丹东市东港市等地,果树易受涝害,导致叶片黄化、脱落,产量降低,严重时则造成树体连续几年生长受阻^[8-11]。本试验利用淹水处理,测定不同砧穗组合岳华苹果在淹水处理过程中抗氧化酶和非酶类抗氧化物活性的变化,旨在全面反映淹水胁迫条件下各砧穗组合对岳华生理特性的影响,筛选适宜水涝地区栽培的砧穗组合,以期为苹果生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试材与处理

试验于 2017 年 6—7 月在沈阳农业大学果树栽培与生理生态试验基地(地理位置 41°49'N, 123°34'E)进行。供试的盆栽苗为一年生苗,接穗品种为岳华,基础为山荆子(*Malus baccata*),中间砧分别为辽砧 2 号、GM256、77-34,基础接口粗度 1.5 cm 左右,嫁接高度为 10 cm,中间砧段长为 25 cm,2017 年 3 月采用舌接法嫁接,包括岳华/辽砧 2 号/山荆子(YH/L2/Mb)、岳华/GM256/山荆子(YH/GM256/Mb)、岳华/77-34/山荆子(YH/77-34/Mb)、岳华/山荆子(YH/Mb)4 种砧穗组合;嫁接后在温室内进行常规管理,各嫁接组合管理水平一致。试验用盆采用口径为 30 cm,高为 30 cm 的异形耐老化塑料营养钵;营养土为棕壤,质地为黏壤土,有机质含量为 14.25 g/kg,碱解氮含量为 78.39 mg/kg,速效磷含量为 25.82 mg/kg,速效钾含量为 178.21 mg/kg,pH 值为 6.8。从 2017 年 6 月 15 日开始,每种砧穗组合选择长势一致的盆栽苗 30 株。将盆栽苗放入水池中,加水漫过盆的上沿,使根系处于淹水状态,设置淹水后 0、3、7、14、28、35 d 等 6 个处理时间,达到处理时间后,采集同一处理随机 5 株盆栽苗的叶片和根系(叶片在中心干延长头当年新梢第 6~8 张成熟无病虫叶采集,细根按 1/4 圆法取样,重复 5 次)混成 1 个样品,用自来水和去离子水清洗,并用吸水纸吸干,每个样品用铝箔纸包好后立即放入液氮中速冻,在 -80 ℃ 冰箱中保存。待所有样品采集完后,取出冷冻样品用研磨仪研磨成粉末,用于非酶类抗氧化物和抗氧化酶活性测定。

1.2 测定方法

参照 He 等的方法测定苹果叶片、根系游离脯氨酸含量^[12]及样品中过氧化物酶(POD)、过氧化氢

酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性^[13]。超氧化物歧化酶(SOD)活性利用苏州科铭生物技术有限公司生产的试剂盒测定。

利用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 淹水后不同砧穗组合对岳华叶片和根系 SOD 活性的影响

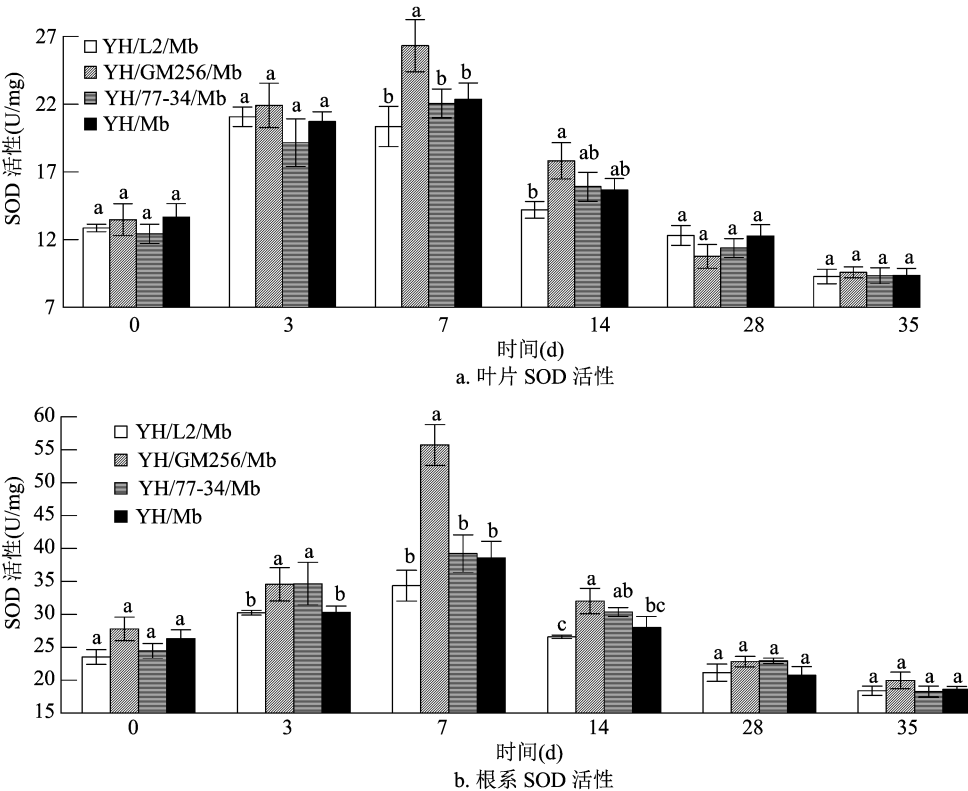
由图 1 可知,各组合叶片和根系的 SOD 活性随着淹水时间的增加呈先上升后下降的趋势;淹水后 3 d 迅速上升,除 YH/L2/Mb 处理叶片外,其他处理均在淹水后 7 d 达到最高值,之后持续下降,35 d 降至最低。各组合间叶片的 SOD 活性只在淹水后 7、14 d 出现显著性差异,且均是 YH/GM256/Mb 组合最高(活性分别为 26.32、55.73 U/mg),并在淹水后 7 d 显著高于其他组合,淹水后 14 d 显著高于 YH/L2/Mb 组合,其他组合间差异不显著。各组合间根系的 SOD 活性在淹水后 3 d 就出现差异,其中 YH/GM256/Mb、YH/77-34/Mb 组合显著高于其他 2 种组合;YH/GM256/Mb 组合活性一直保持较高,淹水后 7 d 显著高于其他 3 种组合,淹水后 14 d 显著高于 YH/Mb、YH/L2/Mb 组合。在整个淹水过程中,各组合根系的 SOD 活性始终高于叶片。

2.2 淹水后不同砧穗组合对岳华叶片和根系 POD 活性的影响

由图 2 可知,各组合叶片和根系的 POD 活性趋势与 SOD 活性相似,也随淹水时间的增加呈现先上升后下降的趋势,淹水后 3 d 迅速上升,淹水后 7 d 达到最高值,之后持续下降,35 d 降至最低。各组合间叶片和根系 POD 活性只在淹水后 3~14 d 出现显著差异,均是 YH/GM256/Mb 组合最高, YH/L2/Mb 组合最低,二者间差异显著;YH/L2/Mb 组合叶片 POD 活性显著低于 YH/Mb 组合,根系 POD 活性显著低于 YH/77-34/Mb 组合。同时在淹水后 3~14 d 过程中,同一处理时间下各组合根系的 POD 活性也始终高于叶片。

2.3 淹水后不同砧穗组合对岳华叶片和根系 CAT 活性的影响

由图 3 可知,各组合叶片和根系的 CAT 活性大体呈现先上升后下降的趋势,淹水后 3 d 迅速上升, YH/L2/Mb 组合 CAT 活性在淹水后 3 d 达到最高值,其他 3 种组合在淹水后 7 d 时达到最高值,之后



柱上不同小写字母表示同一处理间砧穗组合间差异显著($P<0.05$)。下同
图1 淹水后不同砧穗组合叶片和根系的 SOD 活性

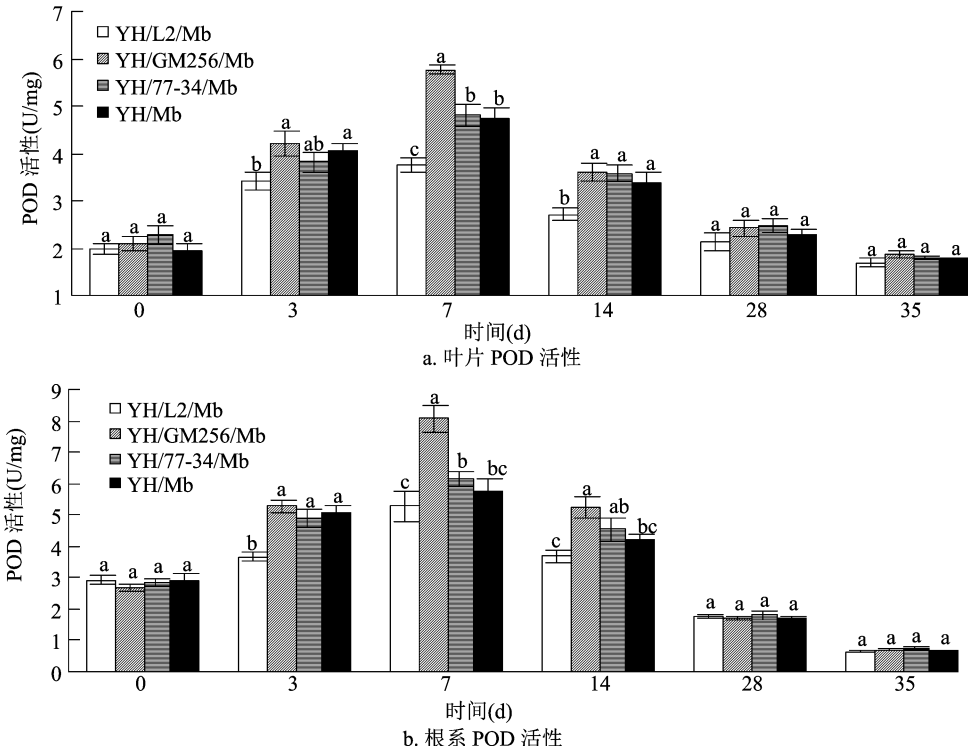


图2 淹水后不同砧穗组合叶片和根系的 POD 活性

持续下降,4 种组合均在淹水后 35 d 降至最低。各组间叶片和根系 CAT 活性也在淹水后 0 ~ 14 d 出现显著差异,淹水后 3 d YH/L2/Mb 组合最高且显著高于其他组合;到淹水后 7、14 d,均是 YH/GM256/Mb

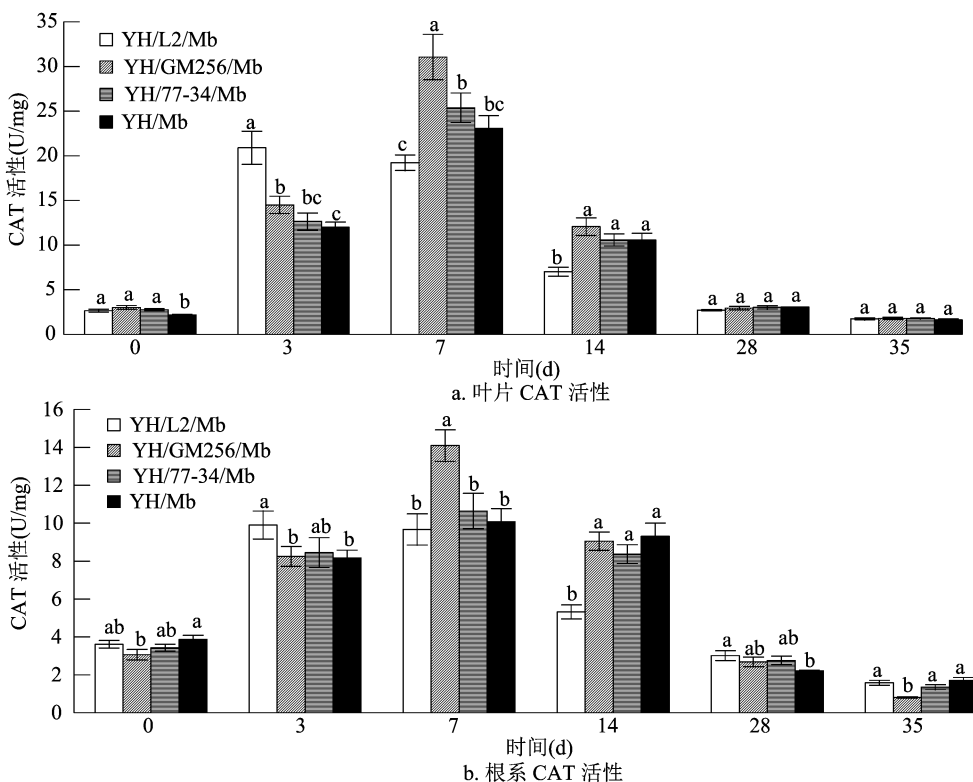


图3 淹水后不同砧穗组合叶片和根系的 CAT 活性

最高, YH/L2/Mb 最低, 且二者间差异显著。同时在淹水后 3~14 d, 同一处理时间下各组合根系的 CAT 活性一直低于叶片。

2.4 淹水后不同砧穗组合对岳华叶片和根系 APX 活性的影响

由图 4 可知, 各组合叶片和根系的 APX 活性与 SOD、POD 活性相似, 也呈现先上升后下降的趋势, 淹水后 3 d 迅速上升, 淹水后 7 d 达到最高值, 之后持续下降, 淹水后 35 d 降至最低。各组合间叶片根系的 APX 活性在淹水后 0~28 d、淹水后 3~14 d 出现显著差异, 均是 YH/GM256/Mb 组合最高, YH/L2/Mb 组合最低, 且二者间差异显著。在整个淹水过程中, 同一处理时间下各组合根系的 APX 活性也始终高于叶片。

2.5 淹水后不同砧穗组合对岳华叶片和根系游离脯氨酸含量的影响

游离脯氨酸 (Pro) 作为渗透调节物质之一, 可以调节细胞内渗透势来缓解逆境对植物的伤害, 其含量增加是对逆境的一种自卫反应。由图 5 可知, 在整个淹水过程中, 各组合叶片和根系中的游离脯氨酸含量呈先上升后下降的趋势, 淹水 3 d 后迅速上升, 淹水后 7 d 达到最高值, 之后持续下降, 但淹水后 14 d 仍处于较高水平, 淹水后 35 d 降至最低,

低于未淹水时含量。YH/GM256/Mb 组合叶片和根系脯氨酸含量在淹水后 3~14 d 一直处于最高。各组合间叶片脯氨酸含量仅在淹水后 7、14 d 存在显著差异, 淹水后 7 d YH/GM256/Mb 组合显著高于其他组合, YH/L2/Mb 组合显著低于其他组合; 淹水后 14 d, YH/Mb 组合显著低于 YH/GM256/Mb 组合。各组合间根系脯氨酸含量仅在淹水后 7 d 存在显著差异, YH/GM256/Mb 组合显著高于其他组合, YH/L2/Mb 显著低于 YH/GM256/Mb、YH/Mb 组合。各组合在淹水后 0~14 d, 同一处理时间下根系游离脯氨酸含量高于叶片, 但在淹水后 28~35 d, 根系低于叶片。

3 讨论与结论

植物遭受水分胁迫时, 会启动一系列适应机制, 通过提高保护酶活性和一些非酶类抗氧化物含量, 增强对活性氧和自由基的清除能力, 从而减轻对细胞的伤害。SOD 是植物抗氧化系统的第一道防线, 可以催化超氧阴离子自由基发生歧化反应, 形成氧分子和过氧化氢, 避免超氧自由基对细胞膜的过氧化作用。POD 是以酚类化合物为底物分解 H_2O_2 , 能够反映植物生长发育的特点、体内代谢状况以及对外界环境的适应性。CAT 是生物体内清

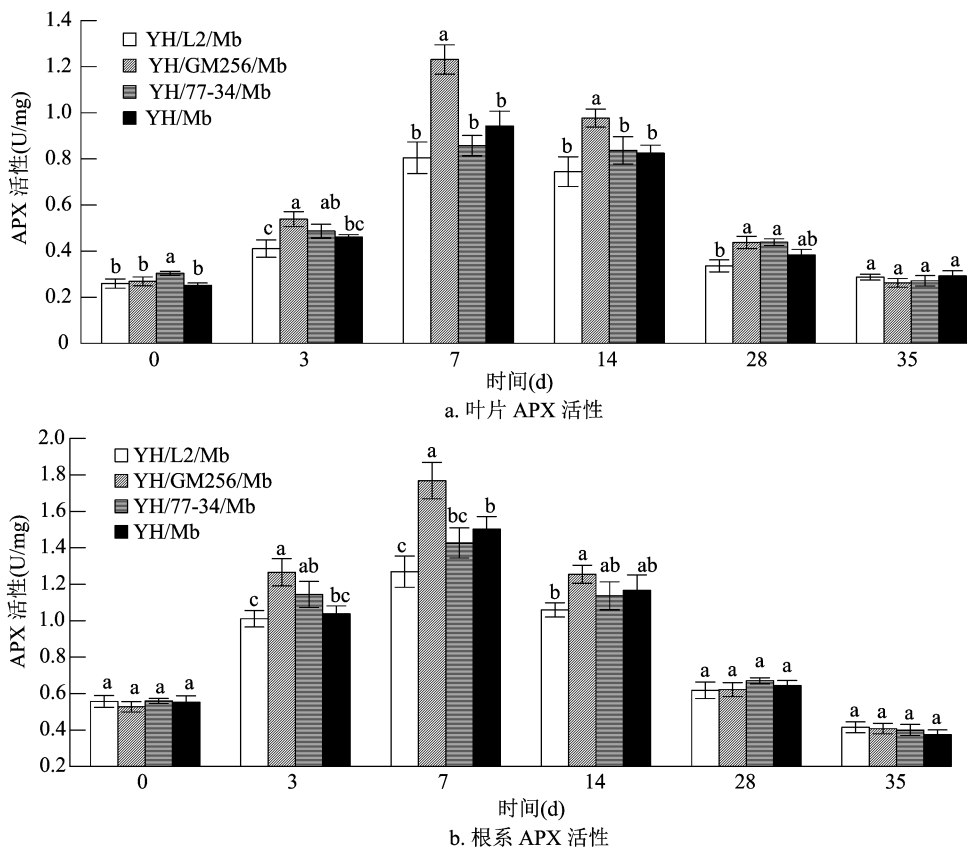


图4 淹水后不同砷穗组合叶片和根系的 APX 活性

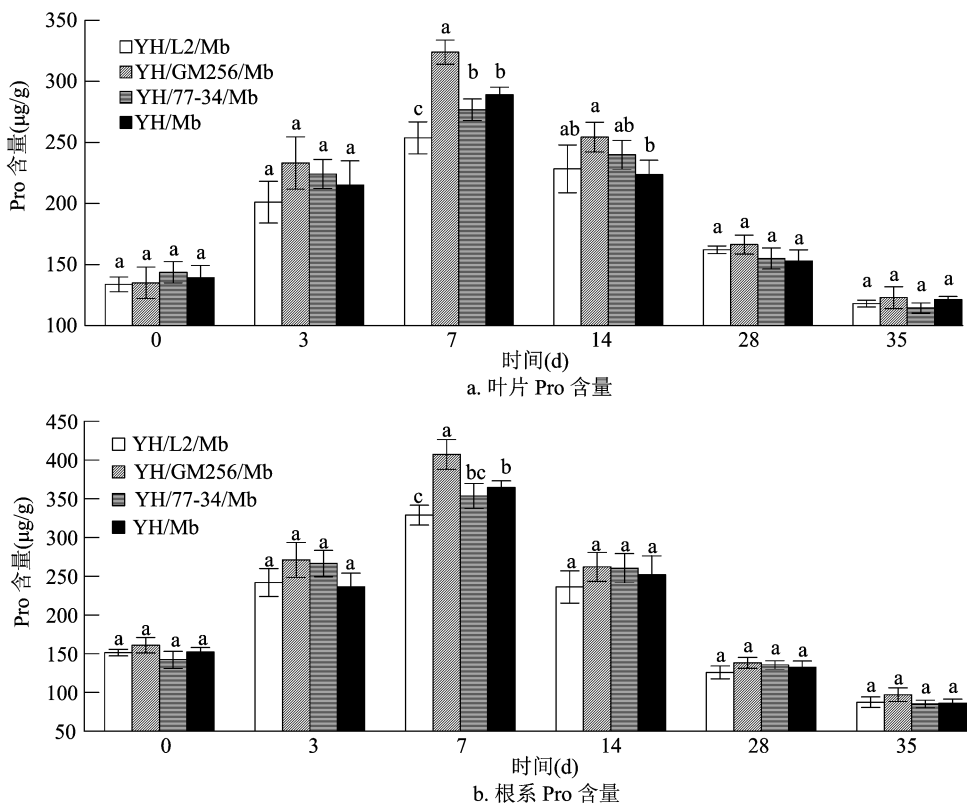


图5 淹水后不同砷穗组合叶片和根系的游离脯氨酸含量

除过氧化氢的主要酶类之一,存在于植物组织的过氧化体中,主要作用是催化 H_2O_2 分解为 H_2O 和 O_2 [14]。APX 广泛存在于植物细胞的溶质、过氧化物酶体、线粒体和叶绿体中,能够以抗坏血酸为电子供体还原 H_2O_2 为 H_2O ,是叶绿体中清除 H_2O_2 的关键酶 [15]。脯氨酸是植物体内主要的渗透调节物质之一,可以保护酶和植物体内细胞膜结构和功能。本试验发现,在整个淹水过程中,各砧穗组合叶片和根系中 SOD、POD、CAT、APX 活性大体呈先上升后下降趋势,说明淹水前期植株体内产生较多的活性氧诱导了酶保护系统,使 4 种抗氧化酶活性升高,以便清除活性氧,减轻其对植物细胞的伤害。随着淹水时间延长,胁迫伤害加重,超过植株自身承受能力,导致 4 种抗氧化酶活性逐渐降低,这与杨宝铭等在苹果 [16]、彭克勤等在水稻 [17-18]、王娟在牡丹 [19] 和陈玉明等在猕猴桃 [20] 上的研究结果一致。其中 YH/GM256/Mb 组合的保护酶活性一直较高,说明该组合更加有效清除树体组织中的活性氧和自由基,通过减少脂质过氧化水平增强植物对淹水的耐受性;YH/Mb 和 YH/77-34/Mb 组合居中,YH/L2/Mb 组合保护酶活性最低。游离脯氨酸含量变化趋势与保护酶活性一致,淹水后 7~14 d 出现差异,其中 YH/GM256/Mb 组合的游离脯氨酸含量一直最高,说明其在缓解淹水毒害方面,作用更大;YH/77-34/Mb 组合居中,YH/Mb 和 YH/L2/Mb 组合含量较低。

GM256 作为中间砧,在淹水后 7~14 d,叶片和根系中 4 种抗氧化酶活性和游离脯氨酸含量高于其他组合,说明其可能增强了对活性氧和自由基的清除能力,降低细胞渗透势,从而减轻对细胞的伤害,使植物更能适应淹水环境。建议在降水量较多的辽宁丹东、大连等地优先考虑该组合。

参考文献:

- [1] 陈立松,刘星辉. 果树对水分胁迫的反应与适应性[J]. 干旱地区农业研究,1999,17(1):88-94.
- [2] 赵可夫. 植物对水涝胁迫的适应[J]. 生物学通报,2003,38(12):11-14.
- [3] 吴林,李亚东,刘洪,等. 果树水分胁迫研究进展[J]. 吉林农业大学学报,1996,18(2):92-97.
- [4] 吴强盛,夏仁学,张琼华. 果树对水分胁迫反应研究进展(综述)[J]. 亚热带植物科学,2003,32(2):72-76.
- [5] 刘国琴,樊卫国. 果树对水分胁迫的生理响应[J]. 西南农业学报,2000,13(1):101-106.
- [6] 马宝焜,徐继忠,孙建设. 关于我国苹果矮砧密植栽培的思考[J]. 果树学报,2010,27(1):105-109.
- [7] 王冬梅,刘志,伊凯,等. 晚熟苹果新品种“岳华”[J]. 园艺学报,2013,40(10):2079-2080.
- [8] 李阳生,李绍清. 淹涝胁迫对水稻生育后期的生理特性和产量性状的影响[J]. 武汉植物学研究,2000,18(2):117-122.
- [9] 王华田,孙明高. 水涝对银杏生长及生理的影响[J]. 经济林研究,1997,15(2):14-18.
- [10] 高青海,葛伟强,陈杰. 淹水胁迫下不同砧木对嫁接西瓜产量和品质的影响[J]. 分子植物育种,2019,17(24):8309-8314.
- [11] 邓辉茗,龙聪颖,蔡仕珍,等. 不同水分胁迫对绵毛水苏幼苗形态和生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2018,38(6):1099-1108.
- [12] He J L, Li H, Luo J, et al. A transcriptomic network underlies microstructural and physiological responses to cadmium in *Populus × canescens*[J]. Plant Physiology,2013,162:424-439.
- [13] He J L, Qin J J, Long L Y, et al. Net cadmium flux and accumulation reveal tissue-specific oxidative stress and detoxification in *Populus × canescens*[J]. Physiologia Plantarum,2011,143(1):50-63.
- [14] Gill S S, Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants[J]. Plant Physiology and Biochemistry,2010,48(12):909-930.
- [15] Asada K. Ascorbate peroxidase - a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants[J]. Physiologia Plantarum,1992,85(2):235-241.
- [16] 杨宝铭,吕德国,秦嗣军,等. 淹水对‘寒富’苹果保护酶系和根系活力的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2007,38(3):291-294.
- [17] 彭克勤,夏石头,李阳生. 涝害对早中稻生理特性及产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2001,27(3):173-176.
- [18] 夏石头,彭克勤,曾可. 水稻涝害生理及其水稻生产的关系[J]. 植物生理学通讯,2000,36(6):581-588.
- [19] 王娟. 淹水对牡丹生理特性的影响[J]. 生态学杂志,2015,34(12):3341-3347.
- [20] 陈玉明,史梦琪,张琮,等. 耐淹砧木对猕猴桃枝叶生长及淹水胁迫的生理影响[J]. 湖北农业科学,2018,57(8):77-80,95.