

网络出版时间:2018-01-26 10:32

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.05.016

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180126.0953.032.html>

苹果砧木富平楸子和 G935 根系抗旱性评估

李海燕,耿达立,牛春东,李翠英,管清美

(西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】研究干旱处理后 2 个苹果砧木根系的生长状态并评价其抗旱性,为选育优良抗旱苹果砧木提供理论依据。【方法】以抗旱性不同的苹果砧木富平楸子(*Malus prunifolia*)和 G935 为材料,控制土壤含水量为 45%~55%,进行为期 60 d 的中度干旱胁迫处理,同时以正常浇水、土壤含水量为 75%~80% 的处理为对照。试验结束后,测量 2 种砧木干旱胁迫处理和对照苗木的地上及地下部生物量,扫描根系获得根长、根尖数、根系总表面积和总体积,并测定根系总可溶性蛋白含量及超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性,比较 2 种砧木在干旱胁迫下根系的生长变化。【结果】干旱处理后,与对照相比,2 种砧木地上和地下部生物量均呈下降趋势,富平楸子根冠比、根干质量、株高、地径均显著高于 G935,其根总长、根尖数、根系总表面积和总体积均大于 G935,仅茎干质量差异不显著;2 种砧木根系 SOD 和 POD 活性均较对照有所增强,且楸子根系酶活性显著高于 G935;2 种砧木根系中可溶性蛋白含量均较对照有所下降,但二者差异不显著。【结论】干旱胁迫下,富平楸子根系具有更大的生物量,保护酶活性更强,因此能更好地维持根系生长,抗旱性也更强。

【关键词】 苹果;砧木;抗旱性;干旱胁迫

【中图分类号】 S661.104

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2018)05-0118-07

Drought resistance of root system of apple rootstocks *Malus prunifolia* and G935

LI Haiyan, GENG Dali, NIU Chundong, LI Cuiying, GUAN Qingmei

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi, 712100, China)

Abstract:【Objective】The present experiment studied the effects of drought stress on root system of two apple rootstocks to provide basis for breeding excellent apple rootstocks.【Method】*Malus prunifolia* and G935 with different drought resistances were treated with soil water content of 45%—55% for 60 d as moderate drought stress, while soil water content of 75%—80% was used as control. After treatment, the biomasses of shoot and root, root length, root tip number, total root surface area, root volume, root total soluble protein, as well as activities of SOD and POD were measured and compared.【Result】Drought stress decreased the biomasses of shoot and root in both root stocks comparing to control. However, the ratio of root to shoot, root dry weight, shoot length and stem diameter of *M. prunifolia* were significantly higher than that of G935 after drought treatment. The root length, root number, root total surface area and volume of *M. prunifolia* were also greater while the dry weight of stem had no significant difference between the two rootstocks. Drought increased the activities of SOD and POD in both rootstocks, and *M. prunifolia* had higher activities than G935.【Conclusion】Under drought stress, *M. prunifolia* had larger

〔收稿日期〕 2017-03-23

〔基金项目〕 陕西青年科技新星项目(2015kjxx-14)

〔作者简介〕 李海燕(1991—),女,甘肃白银人,在读硕士,主要从事果树抗旱生理研究。E-mail: haiyanli1009@sina.com

〔通信作者〕 管清美(1979—),女,山东潍坊人,教授,博士生导师,主要从事果树逆境生理研究。E-mail: qguan@nwsuaf.edu.cn

root biomass and stronger protective enzyme activities. Therefore, *M. prunifolia* has better root growth and drought resistance.

Key words: apple; root stock; drought resistance; drought stress

逆境是制约苹果产量和果实品质的关键因素,而干旱是最常见的逆境因素之一^[1]。作物抵抗干旱逆境的途径很多,通常可以分为御旱和耐旱两类。御旱是指细胞与环境之间建立屏障,维持细胞内部正常的生理生化过程,比如建立更强大的根系增加水分吸收、关闭气孔减少水分散失等;而耐旱是细胞内部通过产生代谢产物来减少、调整和抑制水分亏缺带来的损害,使细胞的生理生化过程不致完全失控,比如细胞内产生的各种渗透性调节物质和保护性大分子等^[2]。

苹果是世界上重要的栽培果树,是我国北方落叶果树中栽培面积最大的树种。西北黄土高原地区是世界苹果优生区之一,该区苹果栽植规模大、分布集中,近年来已发展成为中国苹果的重要产地,种植面积约为 114 万 hm^2 ,其产量约为中国苹果总产量的 40%。但是由于该地区自然降水量少、季节性分布不均、蒸发量大,因此干旱已经成为限制该地区苹果发展的主要因子^[3]。根系是植株吸收水分的主要器官,在苹果对干旱的逆境响应中,根系是其中关键的一环^[4]。苹果是采用嫁接繁殖的果树,其耐旱性在一定程度上取决于砧木^[5]。砧木即为果树的根,对接穗的生长发育、果实品质以及树体对各种自然灾害的抵抗能力等都具有重要影响^[6]。优良的砧木不仅适应性好、抗性强,还可最大限度地表现品种的特性,良好的砧木是果树健康发育、丰产优质的保证^[7-8]。因此,选育抗旱型砧木是苹果节水栽培的一个重要方向。

本研究对 2 种常用苹果砧木富平楸子和 G935 进行了为期 2 个月的长期干旱试验,通过测算植株地下部干质量、株高、茎粗、根冠比、根总长、根总表面积、根总体积以及酶活性等一系列指标,评估中等干旱(土壤含水量 45%~55%)条件下 2 种苹果砧木根系对干旱的响应,以期对抗旱型苹果砧木的选育提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

试验在陕西杨凌(34°20'N, 108°24'E)西北农林科技大学北校区园艺场进行。2016-03-05 将经过春化处理的富平楸子(*Malus prunifolia*) (以下简称

楸子)和 G935 的种子播于以珍珠岩和腐殖质(二者体积比为 1:3)为基质的培养钵中,放入温室内培养。待幼苗长出 6 片真叶后移栽于培养盆(高 30.0 cm,上径 26.5 cm,下径 22.2 cm)中,盆中装混合土($V(\text{园土}):V(\text{沙})=2:1$,田间持水量 21.7%)。幼苗于温棚内培养,进行常规管理。待幼苗生长至 7 月中旬,每种砧木选取生长状态一致的苗木 60 株进行长期干旱处理。60 株苗木中,30 株正常浇水,维持土壤含水量在 75%~80%,作为对照;另外 30 株控制土壤含水量在 45%~55%,进行中度干旱胁迫处理。处理持续至 9 月中旬,然后分别收获幼苗地上部茎、干、叶和地下部根系待测。

1.2 测定项目与方法

植株地上部用软尺测量株高,用游标卡尺测量地径,然后于 105℃杀青 15 min,再置于 75℃烘箱烘至质量恒定,称取地上部干质量。将根系置于 75℃烘箱烘至质量恒定,称取根系干质量。利用 2 个干质量计算根冠比:根冠比=根系干质量/地上部干质量。上述指标均测定 10 个生物学重复。

将根系用自来水仔细冲洗干净,利用根系扫描仪(EPSON, Canada)进行扫描,用 Win INRIZO (2007)软件对获得的图像进行分析,得到根总长(根总长统计的是扫描到的包括须根系在内的所有根系长度的总和,因为扫描时根系不能重叠,必须保证根系单层平铺在板子中,所以将单株苗的根系分成若干部分分别扫描,然后求得单株苗的根系总长。扫描时使根系基本布满板子,板子的尺寸是 25 cm×15 cm,单株苗根系得到的扫描图片有 30~50 张)、根尖数、根系总表面积、根系总体积以及根系径级分类^[9],以单株苗的根系作为 1 个生物学重复,共测定 5 个生物学重复。超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 NBT 光化学还原作用法测定^[10],过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定^[11],可溶性蛋白含量用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定^[12],各指标均重复测定 5 次。

1.3 数据处理

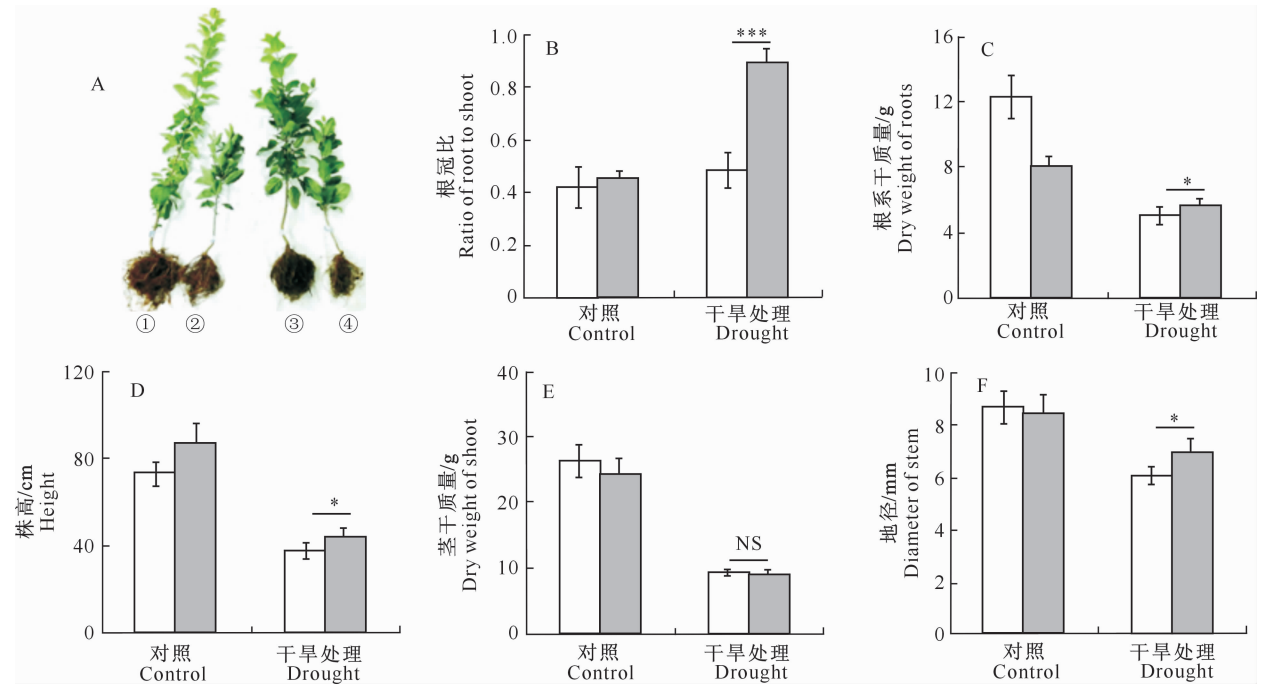
根系扫描数据用 Win INRIZO (2007) 进行分析,采用 Excel 软件进行数据处理及绘图,用 t 检验进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对苹果砧木生长的影响

根系是植株最重要的器官,承担着吸收养分、水分的功能,所以根系的生长情况决定着植株地上部的长势。根冠比是反映植株地下部和地上部生长状况以及植物耐旱性的重要指标^[13-14]。图 1-A 是楸子和 G935 经干旱处理后与各自对照的表型。与对

照相比,长期干旱后楸子的根冠比显著升高,而 G935 的根冠比与其对照无显著差异,说明楸子在干旱条件下较 G935 具有更强的维持根系生长的能力(图 1-B)。长期干旱后,2 种砧木的根系干质量均有所下降,且楸子的根系干质量高于 G935。与对照相比,干旱胁迫后楸子的根系干质量下降了 28.8%,G935 的根系干质量下降了 58.5%,其降低比例明显高于楸子(图 1-C)。



A. 地上部和地下部形态:①. 楸子对照;②. 楸子干旱处理;③. G935 对照;④. G935 干旱处理。B~F:□. G935;■. 楸子。
* * *, 差异达极显著水平($P<0.01$); *, 差异达显著水平($P<0.05$); NS, 无显著性差异;图 2、图 4 同
A. Morphology of shoot and root parts:①. *M. prunifolia* under control;②. *M. prunifolia* under drought stress;③. G935 under control;
④. G935 under drought stress. B~F:□. G935;■. *Malus prunifolia*. * * *, Significant difference at $P<0.01$;
*, Significant difference at $P<0.05$; NS. No significant difference. The same for Fig. 2 and Fig. 4.

图 1 干旱处理后 2 种苹果砧木的生长情况

Fig. 1 Growth of two apple rootstocks after drought treatment

长期干旱处理后,与对照相比,楸子和 G935 的株高、茎干质量均显著下降(图 1-D,E);干旱处理后楸子的地径并未显著下降,而 G935 的地径下降显著(图 1-F),说明干旱后楸子和 G935 地上部生长均受到影响,但 G935 受干旱影响更大。在干旱处理后,楸子与 G935 地上部干质量无显著性差异(图 1-E),但楸子具有较高的株高和较粗的地径(图 1-D,F)。由此可以看出,干旱处理后,2 种砧木地上部生长均受到一定程度的抑制,但与 G935 相比,楸子受干旱影响更小。

2.2 干旱胁迫对苹果砧木根系生长的影响

根长是评价根系吸收能力的最常用参数,较长

的根系可以使植物在干旱胁迫条件下吸收更多的水分。由图 2-A 可以看出,干旱处理后,2 种砧木的总根长与各自对照相比均显著下降。不管是干旱处理还是对照处理,楸子均较 G935 具有更长的根系。干旱处理后,较长的根系有利于楸子在土壤水分不足的条件吸取更多的水分以供地上部生长。

根系的分支和侧根的形成是决定植株根系构型的重要因素,侧根是根系中水分吸收最为活跃的部分^[15],因而侧根的形成对根系更好地吸收水分和养分意义重大。根尖数可以间接反映根系分支和侧根的数量,由图 2-B 可知,与对照相比,干旱处理使 2 种砧木的根尖数均有明显下降,但楸子较 G935 的

根尖数更多,这反映出楸子根系在干旱条件下生长更为旺盛。根系总表面积和总体积可以反映根系的潜在吸收能力。由图 2-C,D 可以看出,对照和干旱

处理后楸子的根系总表面积及总体积均高于 G935,说明楸子的吸水能力更强,因而具有更强的耐旱性。

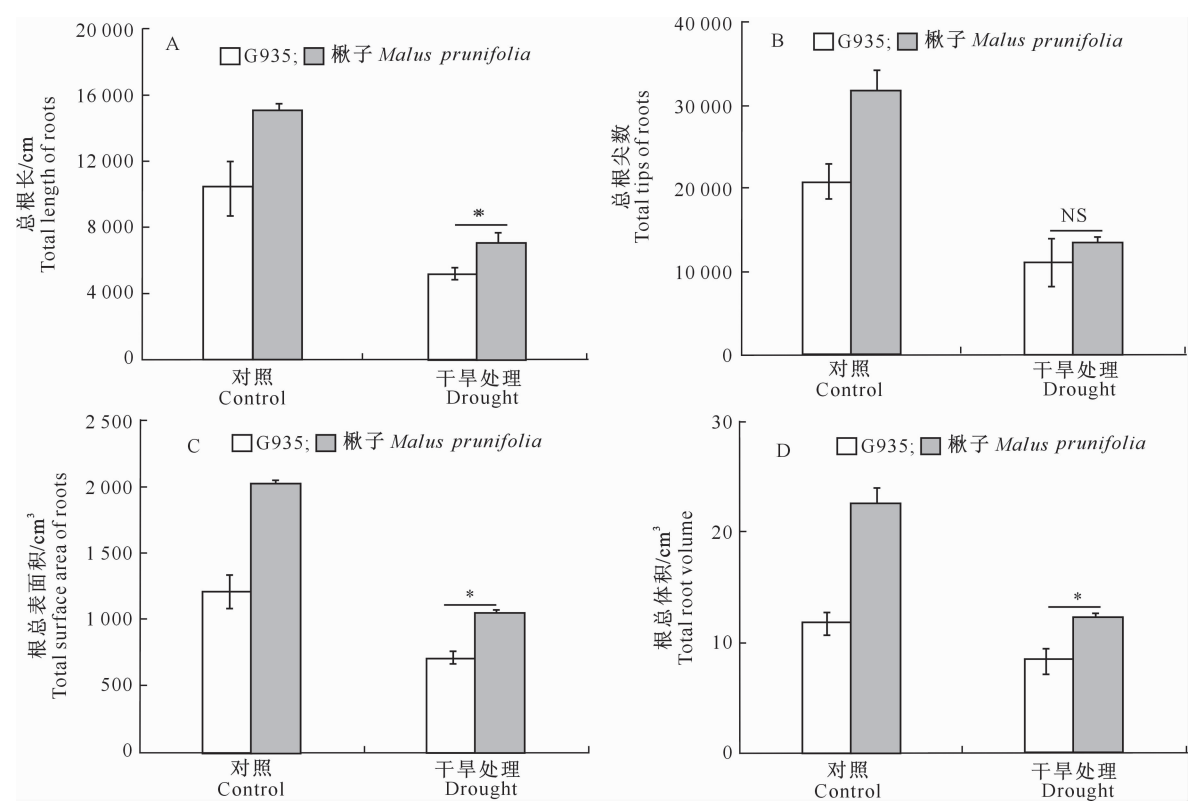


图 2 干旱处理后 2 种苹果砧木根系的生长情况

Fig. 2 Root growth of two apple rootstocks after drought treatment

根直径是影响根系对土壤穿透能力的重要因素,根直径越大,其遇到坚硬土壤时抵抗弯曲和偏转的能力越强,成功穿透土壤的可能性越大^[16]。由楸子和 G935 根系径级分布结果(图 3-A)可以看出,2 种砧木以根径 0~≤0.6 mm 根系的长度最大,此后随着根径的增大,根系长度降低。干旱处理后,各根径范围内的根系长度与对照相比均有所下降;在同一根径范围内,干旱处理后楸子的根系长度大于 G935,说明干旱处理后楸子根系相对更加发达。

由图 3-B 可以看出,2 种砧木以根径 0~≤0.6 mm 根系的总表面积最大,随着根径增大,根系表面积降低。干旱处理后,各根径范围内的根系表面积与对照相比均有所下降;在同一根径范围内,干旱处理后楸子的根系表面积大于 G935,这说明与 G935 相比,干旱处理后楸子的根系更加发达,且能更好地生长。

根据杨洪强等^[9]对苹果根系的分类,直径 0.3~0.5 mm 的根属于吸收根,直径 0.5~2.1 mm 的根为生长根。由图 3 可见,2 种砧木吸收根的长度

和表面积均远大于生长根,且楸子吸收根的长度和表面积更大,说明楸子吸收根的发育更好。

2.3 干旱胁迫对苹果砧木根系酶活性和可溶性蛋白含量的影响

超氧化物歧化酶(SOD)是细胞内清除活性氧的重要保护酶之一,其活性的强弱反映了植物适应逆境能力的大小^[17]。由图 4-A 可知,干旱胁迫提高了楸子根系的 SOD 活性,说明楸子可以通过增强根系 SOD 活性提高其抵抗干旱胁迫的能力;而 G935 在干旱处理后根系的 SOD 活性与对照并无明显差异。

POD 活性的大小也是衡量植物抗逆性强弱的重要指标^[18]。由图 4-B 可知,与对照相比,干旱处理使楸子根系的 POD 活性显著升高,而 G935 根系 POD 活性无明显变化,这说明楸子可以通过增强根系的 POD 活性进一步增强其清除 H₂O₂ 的能力,从而提高楸子根系的抗旱性,使其在长期干旱环境中维持更好的根系生长状态。另外,图 4-C 显示,与对照相比,干旱处理后楸子根系的可溶性蛋白含量有所降低,而 G935 无明显变化。

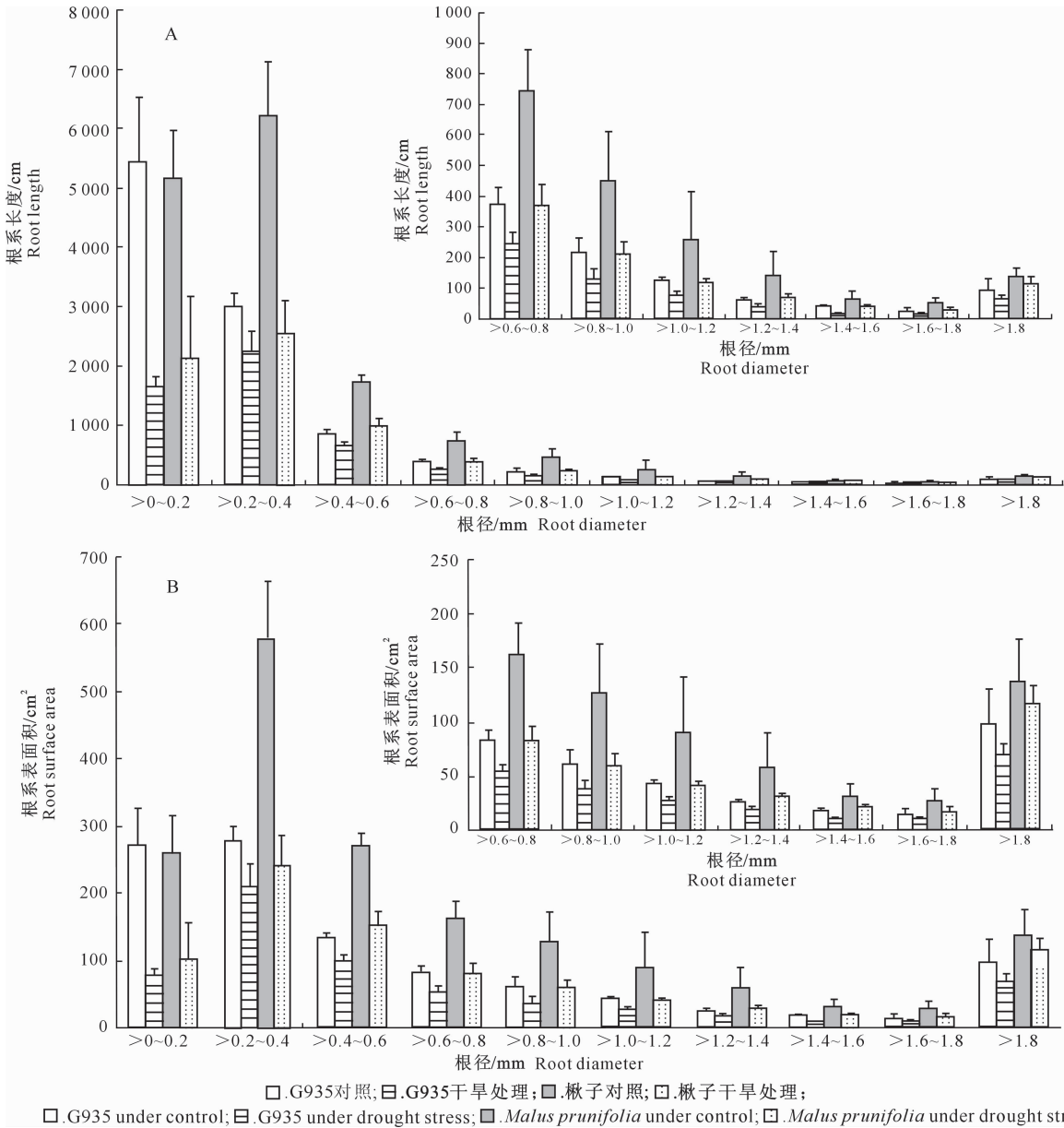


图 3 干旱处理后 2 种苹果砧木根系长度和表面积的径级分布

Fig. 3 Root length and root surface area of each diameter grade after drought treatment

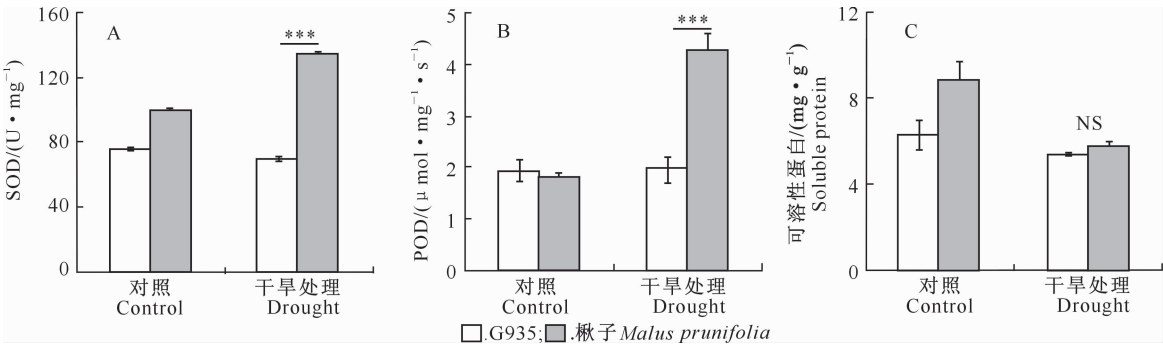


图 4 干旱处理后 2 种苹果砧木根系的活性氧清除酶活性和可溶性蛋白含量

Fig. 4 Activities of ROS scavenging enzymes and soluble protein contents of two apple rootstocks after drought treatment

3 讨论

根系作为水分吸收的主要器官,与植物抗旱性具有密切关系。因此,常将根系特征作为植物抗旱性评价的重要内容。植物的根系形态,如根系生物量、根体积等是衡量其抗旱性的重要指标,影响其对土壤水分的吸收和利用^[19-21]。多数研究认为,发达的根系可提高植物吸收效率,增强其抗旱性,如抗旱性大豆、玉米品种均具有较大的根系生物量、体积和表面积^[22-23]。有研究发现,当土壤含水量降低时,植物为了寻找更多的水源,由地上部向根部运输的同化物增加,根系生长加快,根冠比增大^[24]。根系的分支和侧根的形成是决定植株根系构型的重要因素,侧根能够增加根系的数量、长度和表面积,侧根是根系中水分吸收最为活跃的部分,因而侧根的形成对根系更好地吸收水分和养分意义重大。本试验结果表明,楸子根系具有较发达的根系,长期中度干旱处理后,其根冠比、总根长、根系总表面积和根总体积均显著大于 G935,说明楸子根系对干旱的适应性强于 G935。由此可见,较大的根系生物量、总根长、根系总表面积和体积,可以作为苹果砧木抗旱性品种筛选的根系形态指标。

干旱胁迫会直接导致植物细胞缺水,影响植株的正常生长发育,改变细胞膜的结构和透性,破坏植物的正常代谢。植物本身能够通过酶促和非酶促两类保护系统来清除活性氧,超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)是活性氧清除系统的重要保护酶^[25-26],其活性的强弱代表着植物适应逆境能力的大小。在植物正常生长条件下,通过与 SOD、POD 等保护酶的协调作用,将植物体内的自由基保持在较低水平,从而尽可能地降低自由基对植物造成的伤害。本研究表明,经干旱处理后,楸子砧木根系 SOD 和 POD 活性升高,可溶性蛋白含量降低,而耐旱的苹果砧木根系在干旱胁迫条件下,根系活性氧清除系统活性较高,进而可以延缓根系的衰老进程,延长根系功能期,有利于其在干旱条件下维持更好的生长。正是基于这个原因,在长期中度干旱处理后,楸子根系生物量大于 G935 且能够维持更好的生长状态。

4 结论

在长期中度干旱处理条件下,根系通过保护酶系统酶活性的提高及蛋白质含量变化来应对干旱胁迫,与 G935 相比,楸子根系在缺水条件下能维持更

大的根系生物量,其根冠比、总根长、根系总表面积和总体积均大于 G935,进而为地上部提供了更多的水分及养分,所以楸子根系具有更强的耐旱性,可用于抗旱型苹果砧木的选育。

[参考文献]

- [1] Condon A G, Richards R A, Rebetzke G J, et al. Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield [J]. *Crop Sci*, 2002, 42:122-131.
- [2] 山 仑, 黄占斌, 张岁岐. 节水农业 [M]. 北京:清华大学出版社, 2009.
Shan L, Huang Z B, Zhang S Q. *Water saving agriculture* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.
- [3] 张林森, 张海亭, 胡景江, 等. 两种苹果砧木根系水力结构及其 PV 曲线水分参数对干旱胁迫的响应 [J]. *生态学报*, 2013, 33(11):3324-3331.
Zhang L S, Zhang H T, Hu J J, et al. The response of pressure volume curve water parameters and root system hydraulic architecture of two apple rootstocks to drought stress [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(11):3324-3331.
- [4] Janiak A, Kwasniewski M, Szarejko I. Gene expression regulation in roots under drought [J]. *J Exp Bot*, 2016, 67:1003-1014.
- [5] Ikinci A, Bolat I, Ercisli S, et al. Influence of rootstocks on growth, yield, fruit quality and leaf mineral element contents of pear cv. 'Santa Maria' in semi-arid conditions [J]. *Biol Res*, 2014, 47:71-78.
- [6] Gregory P J, Atkinson C J, Bengough A G, et al. Contributions of roots and rootstocks to sustainable, intensified crop production [J]. *J Exp Bot*, 2013, 64:1209-1222.
- [7] Li C, Tan D X, Liang D, et al. Melatonin mediates the regulation of ABA metabolism, free-radical scavenging, and stomatal behaviour in two *Malus species* under drought stress [J]. *J Exp Bot*, 2015, 66:669-680.
- [8] Wang S, Liang D, Li C, et al. Influence of drought stress on the cellular ultrastructure and antioxidant system in leaves of drought-tolerant and drought-sensitive apple rootstocks [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2012, 51:81-89.
- [9] 杨洪强, 束怀瑞. 苹果根系研究 [M]. 北京:科学出版社, 2007.
Yang H Q, Shu H R. *Study on apple roots* [M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [10] Dhindas R S, Plumb-Dhindsa P, Thorpe T A. Leaf senescence; correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase [J]. *J Exp Bot*, 2012, 32:93-101.
- [11] Maehly A C, Chance B. Assay of catalases and peroxidases [J]. *Methods Biochem Anal*, 1955, 1:357-424.
- [12] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Anal Biochem*, 1976, 72:248-254.
- [13] Claeys H, Inzé D. The agony of choice: how plants balance

growth and survival under water-limiting conditions [J]. Plant Physiol, 2013, 162: 1768-1779.

[14] Kato Y, Okami M. Root growth dynamics and stomatal behaviour of rice (*Oryza sativa* L.) grown under aerobic and flooded conditions [J]. Field Crops Research, 2010, 117: 9-17.

[15] Rewald B, Ephrath J E, Rachmilevitch S. A root is a root is a root? Water uptake rates of Citrus root orders [J]. Plant Cell Environ, 2011, 34(1): 33-42.

[16] Clark L J, Price A H, Steele K A, et al. Evidence from near-isogenic lines that root penetration increases with root diameter and bending stiffness in rice [J]. Funct Plant Biol, 2008, 35(11): 1163-1171.

[17] Baroowa B, Gogoi N, Farooq M. Changes in physiological, biochemical and antioxidant enzyme activities of green gram (*Vigna radiata* L.) genotypes under drought [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2016, 38: 219.

[18] 刘瑞侠, 李艳辉, 陈绍宁, 等. 干旱高温协同胁迫对玉米幼苗抗氧化防护系统的影响 [J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(4): 363-366.

Liu R X, Li Y H, Chen S N, et al. Effects of collaborative stress of drought and high temperature on antioxidant defense system in maize [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2008, 42(4): 363-366.

[19] Kozłowski T T, Pallardy S G. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses [J]. Bot Rev, 2002, 68: 270-334.

[20] 董桂春, 王余龙, 王坚刚, 等. 不同类型水稻品种间根系性状的差异 [J]. 作物学报, 2002, 28(6): 749-755.

Dong G C, Wang Y L, Wang J G, et al. Study on the differences of root traits between various types of varieties in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(6): 749-755.

[21] 李文尧, 张岁岐, 丁圣彦, 等. 干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及与水分利用的关系 [J]. 生态学报, 2010, 19: 5140-5150.

Li W R, Zhang S Q, Ding S Y, et al. Root morphological variation and water use in alfalfa under drought stress [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 19: 5140-5150.

[22] 杨秀红, 吴宗璞, 张国栋. 对肥水条件反应不同的大豆品种根系性状的比较研究 [J]. 中国油料作物学报, 2001, 23(3): 24-26, 30.

Yang X H, Wu Z P, Zhang G D. Study of root comparative varieties of different soybean response to fertilizer condition [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2001, 23(3): 24-26, 30.

[23] 单长卷, 陈向东. 稀土元素钆对玉米幼苗根系抗旱性的影响 [J]. 玉米科学, 2017, 25(3): 54-58.

Shan C J, Chen X D. Effects of neodymium trichloride on the drought resistance of maize seedling root [J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(3): 54-58.

[24] Smucker A J M, Aiken R M. Dynamic root response to water deficits [J]. Soil Science, 1992, 154: 281-289.

[25] 许长成, 邹琦. 大豆叶片早促衰老及其与膜脂过氧化的关系 [J]. 作物学报, 1993, 19(4): 359-364.

Xu C C, Zou Q. Soybean leaf dry aging and its relationship with membrane lipid peroxidation [J]. Acta Agronomica Sinica, 1993, 19(4): 359-364.

[26] 阎成仕, 李德全, 建华. 冬小麦旗叶早促衰老过程中氧化伤害与抗氧化系统的响应 [J]. 西北植物学报, 2000, 20(4): 568-576.

Yan C S, Li D Q, Zhang J H. Oxidative damage and antioxidant responses during drought-induced winter wheat flag leaf senescence [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2000, 20(4): 568-576.

(上接第 108 页)

[28] 全国木材标准化技术委员会. GB/T 1933—2009 木材密度测定方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

National Technical Committee for Standardization of Wood. GB/T 1933—2009 Method for determination of the density of wood [S]. Beijing: China Standard Press, 2009.

[29] 全国木材标准化技术委员会. GB/T 1934. 2—2009 木材湿胀性测定方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

National Technical Committee for Standardization of Wood. GB/T 1934. 2—2009 Method for determination of the swelling of wood [S]. Beijing: China Standard Press, 2009.

[30] 全国木材标准化技术委员会. GB/T 1932—2009 木材干缩性测定方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

National Technical Committee for Standardization of Wood. GB/T 1932—2009 Method for determination of the shrinkage of wood [S]. Beijing: China Standard Press, 2009.