

水胁迫对甘薯 SOD、POD 酶活性和 MDA 含量及产量的影响

李秋卓, 张芳魁, 史 婵, 韩 丽, 邱诗春, 张兴端

(重庆三峡农业科学院, 重庆 万州 404155)

摘要: 为探究甘薯在长期水胁迫环境下的适应性, 以烟薯 25、宁紫薯 1 号及商薯 19 三个甘薯品种为试验材料, 设置了贯穿甘薯全生长期的水胁迫环境, 测定其在长期水胁迫条件下薯块 SOD 酶活性、POD 酶活性、MDA 含量及鲜薯产量等指标变化。结果表明甘薯在受到水胁迫之后块根内 MDA 含量显著提升, SOD、POD 酶活性随着 MDA 含量增加同时增强以进行体内活性氧的自我清除。在增湿环境下烟薯 25 鲜薯产量减少 27.29%、宁紫薯 1 号减少 74.48%、商薯 19 减少 64.37%, 减产均为极显著。烟薯 25 SOD 酶活性、POD 酶活性增长幅度及 MDA 含量变化趋势最小, 且鲜薯减产幅度最小, 可初步认定耐湿性强; 宁紫薯 1 号及商薯 19 耐湿性弱, 不适宜在易积水地区种植。

关键词: 甘薯; 水胁迫; SOD; POD; MDA; 产量

中图分类号: S531 文献标识码: A 文章编号: 0488-5368(2025)03-0045-04

Effects of Water Stress on SOD Enzyme Activity, POD Enzyme Activity, MDA Content, and Yield of Sweet Potato

LI Qiuzhuo, ZHANG Fangkui, SHI Chan, HAN Li, QIU Shichun, ZHANG Xingduan

(Chongqing Three Gorges Academy of Agricultural Science, Wanzhou, Chongqing 404155, China)

Abstract: To investigate the adaptability of sweet potato under long-term water stress conditions, three sweet potato varieties—'Yanshu 25', 'Ningzishu 1', and 'Shangshu 19', were selected as experimental materials. A water stress environment was maintained throughout the entire growth period, and changes in superoxide dismutase (SOD) activity, peroxidase (POD) activity, malondialdehyde (MDA) content, and root yield were measured. The results showed that water stress significantly increased MDA content in sweet potato roots, while SOD and POD activities also increased simultaneously, which helped to scavenge reactive oxygen species (ROS). Under water stress, root yield decreased significantly: 'Yanshu 25' by 27.29%, 'Ningzishu 1' by 74.48%, and 'Shangshu 19' by 64.37%. Among the three varieties, 'Yanshu 25' had the smallest changes in SOD and POD activity and MDA content, as well as the lowest yield reduction, indicating strong water stress tolerance. In contrast, 'Ningzishu 1' and 'Shangshu 19' showed weak tolerance to water stress and were not suitable for cultivation in waterlogged areas.

Key words: Sweet Potato; Water Stress; SOD; POD; MDA; Yield

甘薯具有生物产量高、种植区域广、适应性强等特点, 被认为是保障全球粮食安全和营养安全最具潜力的作物^[1], 是昔日果腹之物, 如今已成为保健之品。甘薯根系发达, 但是与其它作物相比, 其对水分胁迫更为敏感, 在生育期内遭遇水胁迫是甘薯高产稳产的主要限制因素之一。我国西南薯区由于受

亚热带季风影响而多降雨, 土壤经常处于浸水状态造成水胁迫, 水胁迫导致甘薯根际缺氧, 影响甘薯正常生长发育, 严重制约了甘薯产量^[2]。特别是在收获季节多是阴雨时段, 不仅给甘薯收获和贮藏带来极大不便, 更易引起甘薯薯块湿害和贮藏腐烂, 造成薯块极大损失, 降低甘薯产业的经济效益。

收稿日期: 2024-03-13 修回日期: 2024-04-11

基金项目: 国家甘薯产业技术体系(CARS-10); 重庆市教育委员会科学技术研究项目“甘薯耐湿优质种质资源筛选与创新”(KJ202301292353641)。

第一作者简介: 李秋卓(1990-), 硕士, 农艺师, 主要从事甘薯育种与栽培研究。

通信作者: 张芳魁。

已有相关研究证明,甘薯对高温、干旱等逆境胁迫具有较强的适应性,但对水胁迫环境适应性较弱^[3]。且甘薯在不同的生育时期对土壤含水量的要求不同,生长前期的土壤最佳相对含水量为 60%~80%,生长中期为 50%~60%,到后期不宜超过 80%^[4]。若受水胁迫环境长期影响,甘薯植株通过提高超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)等酶活性清除体内活性氧,当深度受胁迫导致活性氧持续增加,过多活性氧无法被清除则会提高丙二醛(MDA)积累量,抑制甘薯正常发育生长,地下薯块出现牛蒡根(柴根)、须根和烂薯现象,最终导致甘薯产量降低显著^[5,6]。本研究设置了贯穿甘薯全生长期的水胁迫环境,探索了甘薯在长期水胁迫条件下 SOD 酶活性、POD 酶活性、MDA 含量及产量等指标变化,为甘薯水胁迫适应性研究提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试材料为甘薯品种烟薯 25、宁紫薯 1 号和商薯 19。

1.2 试验方法

1.2.1 田间试验方法 试验于 2023 年在重庆市万州区重庆三峡农业科学院甘宁试验基地进行。试验地肥力均匀一致。试验设置常规及增湿两个环境处理。常规处理安置简易棚用于遮雨;增湿处理无棚,浅开厢沟;两个处理均铺设滴管带,在栽插后 30 d 开始滴灌,同时在田间用彭云 S21A 型远程温湿度监测仪进行气象要素监测,保证常规处理下的土壤湿度维持在 60%左右,增湿处理的土壤湿度长时保持 100%,持续到收获。试验采用裂区设计,环境处理为主区,品种处理为副区,3 次重复,小区面积 8 m²,种植密度 60 000 株/hm²。栽插后 60 d、90 d、120 d 及 150 d 收获期各小区取样 3 株,测定根系 SOD、POD 酶活性、MDA 含量;收获时测产,并调查单株结薯数、单株鲜薯重和大、中、小薯

率,计算商品薯率。

1.2.2 测定方法 称取 0.1g 薯肉干样,加入 1mL 提取液,提取液体积比为 1:10,进行冰浴匀浆;4℃ 离心 10 min (8 000 r/min),取上清液,用于测定 SOD、POD 酶活性。

SOD 酶活性的测定:采用黄嘌呤氧化法,SOD 试剂盒(索莱宝生物科技有限公司)测定组织匀浆上清液中 SOD 酶活性。

POD 酶活性的测定:采用愈创木酚法,POD 试剂盒(索莱宝生物科技有限公司)测定组织匀浆上清液中 POD 酶活性。

MDA 含量测定:采用硫代巴比妥酸双组分分光光度法测定 MDA 含量。称取薯肉 1 g,加入 2 mL 5% TCA 和少量石英砂,研磨至匀浆,再加 8 mL TCA 进一步研磨,匀浆离心 10 min (4 000 r/min),上清液为样品提取液。吸取上清液 2 mL (对照加 2 mL 蒸馏水)加入 2 mL 0.6% TBA 溶液摇匀。将试管放入沸水浴中煮沸 10 min (自试管内溶液中出现小气泡开始计时),取出试管并冷却,离心 15 min (3 000 r/min),取上清液,测定其在 523 nm、600 nm 和 450 nm 处的吸光值。以 0.6% TBA 溶液为空白同时测定。

2 结果与分析

2.1 水胁迫对薯块 SOD、POD 酶活性及 MDA 含量的影响

增湿及常规处理下不同生育时期薯块 SOD、POD 酶活性及 MDA 含量方差分析结果见表 1,结果表明,增湿处理薯块在栽插后 60 d 至 150 d 期间 SOD 酶活性均显著高于常规处理,且栽插后 90 d 后差异极显著;薯块 POD 酶活性在栽插后 60 d 没有显著差异,栽插后 90 d、120 d 增湿处理显著高于常规处理,150 d 时增湿处理极显著高于常规处理;薯块 MDA 含量在栽插后 60 d 增湿处理极显著高于常规处理,栽插后 90 d 无显著差异,栽插后 120 d 至 150 d 时差异显著。

表 1 两种处理下薯块 SOD、POD 酶活性及 MDA 含量方差分析

		60 d	90 d	120 d	150 d
SOD 酶活性	增湿	114.59Aa	136.42Aa	162.24Aa	172.94Aa
	常规	85.53Ab	93.01Bb	90.23Bb	95.16Bb
POD 酶活性	增湿	14.63Aa	24.64Aa	25.26Aa	22.95Aa
	常规	11.72Aa	13.03Ab	14.82Ab	14.59Bb
MDA 含量	增湿	13.00Aa	16.41Aa	11.70Aa	7.87Aa
	常规	10.01Bb	12.21Aa	9.68Ab	6.53Ab

将不同品种在不同处理下各时期 SOD 酶活

性、POD 酶活性及 MDA 含量测定值绘制成柱状图

(图 1)。由图 1 可知在相同生育期,各参试品种增湿处理薯块 SOD 酶活性、POD 酶活性、MDA 含量均高于常规处理。增湿处理下各品种整个生育期内 SOD 酶活性持续提高。两种处理下各品种 SOD 酶活性整体随着生育期进程增长。烟薯 25 及宁紫薯 1 号在常规处理下各生育时期薯块 SOD 酶活性无显著性差异,商薯 19 从 120 d 到 150 d 增长显著。增湿处理下三个品种随生育进程的增长差异极显著。两种处理下各品种在不同时期 POD 酶活性变化趋势不尽一致。两种处理下烟薯 25 薯块 POD 酶活性均随着生育期进程先略微降低后极显著增长。宁紫薯 1 号薯块 POD 酶活性常规处理下先极显著增长,在 90~120 d 时无明显变化,随后再

次极显著增长;增湿处理下栽插后 60~90 d 极显著增长,到 120 d 后达最高,随后略有降低。商薯 19 薯块 POD 酶活性两种处理下均先增长后降低,差异极显著。两种处理下宁紫薯 1 号薯块 MDA 含量远远高于烟薯 25、商薯 19 薯块 MDA 含量。两种处理下的烟薯 25 薯块 MDA 含量均在 120 d 达到峰值(1.13 $\mu\text{mol/g}$ 、1.42 $\mu\text{mol/g}$),随后降低。商薯 19 常规处理下薯块 MDA 含量在 120 d 达到峰值(1.02 $\mu\text{mol/g}$),增湿处理下 90 d 达到峰值(2.70 $\mu\text{mol/g}$)。宁紫薯 1 号薯块 MDA 含量均在 90 d 达到峰值(34.79 $\mu\text{mol/g}$ 、45.16 $\mu\text{mol/g}$),随后持续降低。

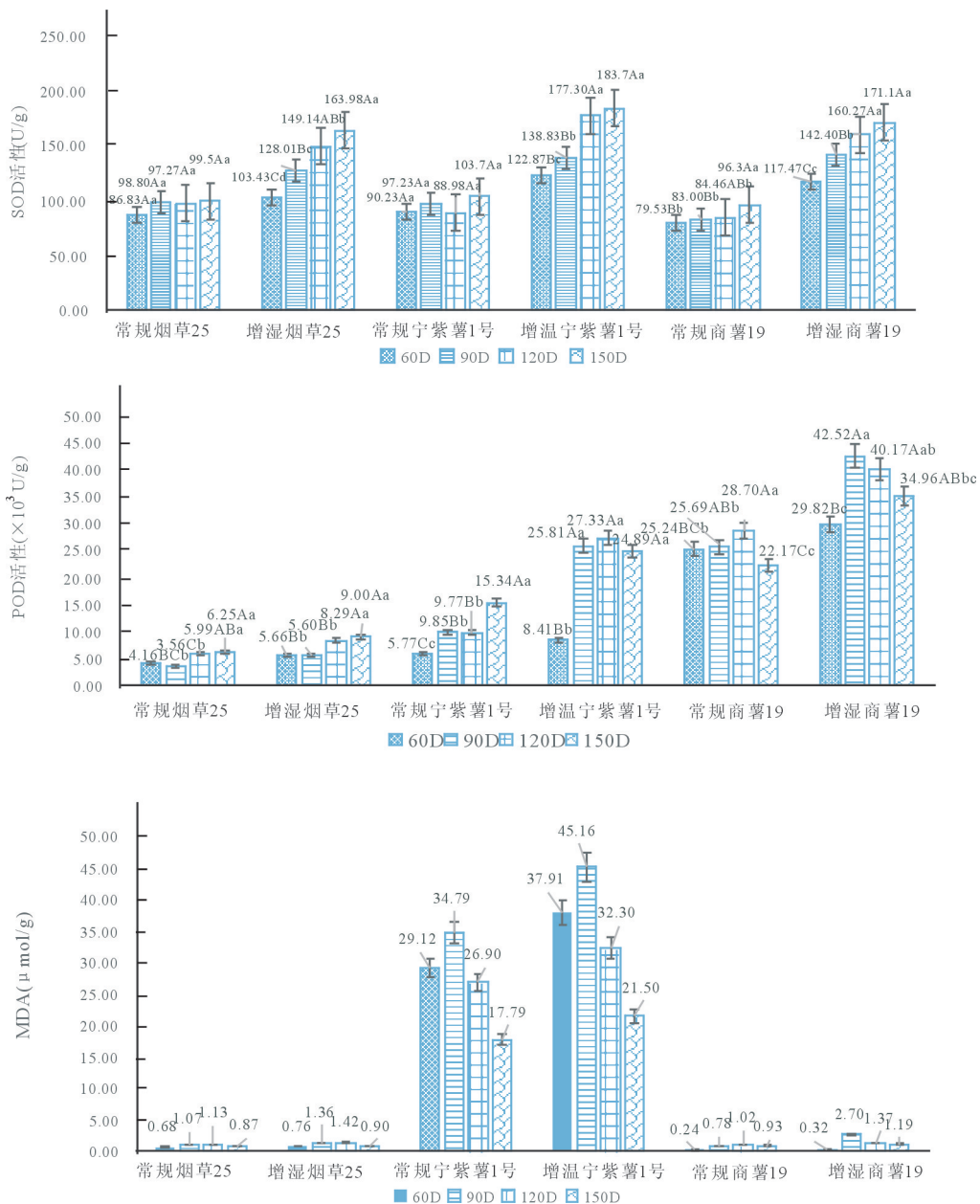


图 1 SOD、POD 酶活性及 MDA 含量趋势变化

图 1 结果还表明,POD 酶活性前期随着 MDA 含量增加而提高,当 MDA 含量减少后一段时间 POD 酶活性也稍有降低。

2.2 水胁迫对甘薯产量影响

各参试品种小区产量、单株结薯数、单株鲜薯重和商品薯见表 2。与常规处理相比较,在增湿处理下,各参试品种的商品薯率有所降低,但均未达

显著水平;宁紫薯 1 号单株结薯数有所降低,烟薯 25 和商薯 19 略有提高,但均无显著差异;各参试品种鲜薯产量表现不同程度降低,烟薯 25 减产 27.29%,宁紫薯 1 号减产 74.48%,商薯 19 减产 64.37%,减产均为极显著。烟薯 25 增湿环境下商品薯率及小区鲜薯减产幅度最小。

表 2 参试品种小区产量及产量性状

品种名称	商品薯率/%			平均单株结薯数/个			小区产量(kg/8m ²)		
	增湿	常规	减少/%	增湿	常规	变化/%	增湿	常规	鲜薯减产/%
烟薯 25	95.04	95.74	0.73	5.3	5.3	1.27	28.61	39.35	27.29
宁紫薯 1 号	88.25	90.68	2.69	5.0	5.4	-7.98	7.20	28.20	74.48
商薯 19	75.41	86.51	12.84	5.8	5.6	2.96	9.14	25.66	64.37

3 讨论与结论

本研究表明不同甘薯品种对水胁迫的适应性差异较大,烟薯 25 在增湿环境下 SOD 酶活性、POD 酶活性增长幅度及 MDA 含量变化趋势最小,且小区鲜薯减产幅度最小,可初步认定耐湿性最强;宁紫薯 1 号及商薯 19 耐湿性弱,不适宜在降雨频繁的地区种植。甘薯长时间处于水胁迫环境中生长,受高湿、无氧等条件影响,各品种单株结薯数未受明显影响,但薯块大小受影响较大,单株薯块明显变小,中小薯数及产量占比增加;且水胁迫环境让甘薯根系受损致死,导致缺窝或腐烂严重,最终鲜薯产量极显著减产。

本研究中,常规种植环境下甘薯 SOD、POD 酶活性及 MDA 含量随着生育进程有极显著增减,但整体基数较低且增减幅小。而在受到水胁迫之后甘薯块根内 MDA 含量(极)显著提升,且增幅加大;SOD、POD 酶活性随着 MDA 含量增长同时增强,随后在 MDA 含量达到峰值开始降低后,POD 酶活性稍降低,而 SOD 酶活性持续增强。这说明了甘薯薯块具备较强的自我调节能力,长期水胁迫诱导产生的活性氧可刺激 SOD、POD 酶活性提高,有助于及时清除薯块中活性氧的毒害用以防御逆境产生的伤害,与候夫云^[7]等人研究结果一致。张俊霞^[8]等人研究认为水胁迫导致植物中存在大量活性氧,对细胞组织造成损伤,SOD 酶活性持续增强以催化超氧阴离子歧化为 H₂O₂ 和氧气;POD 中主要是以抗坏血酸过氧化物酶清除植物细胞中的活性氧,是植物体内清除 H₂O₂ 的关键,当植物体内细胞膜脂过氧化程度下降后活性降低。本研究中 SOD 酶与 POD 酶活性随着 MDA 含量变化的趋势同张俊霞等人研究结果一致,同时也印证了两

种酶在水胁迫环境中的不同作用。

通过本研究可知,在种植甘薯时应开深沟、起高垄,尽量保证甘薯种植田块干燥,甘薯虽然在水胁迫环境中有一定抗性,但产量仍会有较大损失;如在降雨较多的薯区种植甘薯时,应尽量筛选使用耐湿性强的甘薯品种,以有效保障甘薯商品价值,稳定甘薯种植收益。

参考文献:

- [1] Bovell-Benjamin, Adelia C. "Sweet potato: a review of its past, present, and future role in human nutrition." *Advances in food and nutrition research* 2007 (52): 1-59.
- [2] 王芳,宋伟,杨松涛,等.水淹胁迫对甘薯生长和养分分配的影响[J].*植物生理学报*,2022,58(10):1 864-1 872.
- [3] Lin KH, Tsou CC, Hwang SY, *et al.* Pacllobutrazol pre-treatment enhanced flooding tolerance of sweet potato [J]. *Journal of Plant Physiology*, 2006, 163 (7): 750-760.
- [4] Zhang TN, Wu XY, Wu BY, *et al.* The influence of different soil water content on sweet potato's growth [J]. *Journal of Hebei Agrotechnical Teachers College*, 1993, 7(3):11-17.
- [5] 聂功平,陈敏敏,杨柳燕,等.植物响应淹水胁迫的研究进展[J].*中国农学通报*,2021,37(18):57-64.
- [6] 谭诚,张辉,袁洁,等.不同植物生长调节剂对甘薯分枝结薯期淹水的缓解效果[J].*江苏农业科学*,2022,50(23):81-89.
- [7] 侯夫云,董顺旭,张海燕,等.遮荫条件下紫心甘薯的抗氧化防御系统研究[J].*山东农业科学*,2013,45(6):48-50.
- [8] 张俊霞,刘晓鹏,向极钎.植物抗氧化系统对逆境胁迫的动态响应[J].*湖北民族学院学报(自然科学版)*,2015,33(4):435-439.