

干旱条件下磷对玉米叶 SOD 和 POD 活性的影响*

曲 东¹ 王保莉² 山 仑³ 汪沛洪⁴ 苏 佩³

(1 西北农业大学资源与环境科学系, 2 西北农业大学生物工程中心, 3 中科院西北水土保持研究所,
4 西北农业大学基础科学系, 陕西杨陵 712100)

摘 要 采用水培和盆栽试验法,测定了不同磷水平下正常供水、交替变换水及持续干旱胁迫下玉米叶片中 RWC、MDA 含量、SOD 和 POD 活性。结果表明,干旱胁迫将导致叶片 RWC 降低,MDA 含量升高,使细胞膜伤害加剧。SOD 和 POD 具有减缓 MDA 积累的作用。干旱胁迫下,磷能有效地维持较高的叶片 RWC,增加其 SOD 和 POD 活性,减少 MDA 积累,提高生物学产量。采用多变水处理能显著降低干旱对作物的伤害。

关键词 水分胁迫,磷,SOD 和 POD 活性

中图分类号 Q945.12, S158.3

在作物抗旱性机理研究中,SOD 和 POD 等保护酶系统活性的变化已广泛作为植物抵御逆境伤害的指标^[1~4]。通常,干旱胁迫可导致作物体内 SOD 活性增大,并通过 SOD 的作用,减轻活性氧的伤害,抑制膜内不饱和脂肪酸分解产物丙二醛(MDA)的积累,保持和修复细胞膜。干旱条件下,SOD 的调节能力越大,表明作物的抗旱性越强。POD 一般认为可与 SOD 协同反应,其在提高作物抗旱性中的作用及变化趋势也与 SOD 相似。本研究拟通过不同干旱条件下的磷营养调控,探讨对作物 SOD 和 POD 活性的影响规律,以期说明磷对改善作物抗旱性的作用。

1 材料与方法

1.1 材料与水培试验设计

选择高水肥干旱敏感型玉米品种掖单 13 号。种子经消毒、萌发,转入 4.5 L 盆钵中进行水培。采用 PEG(6000)进行渗透胁迫(-0.5 MPa),由 Hoagland 全营养液和无磷营养液控制+P 和 -P 处理。种子萌发后于蒸馏水中生长至 3 叶,然后进行不同水分胁迫处理。每 72 h 更换水培溶液并采集功能叶片。变换水的处理周期为 3 d。试验处理设计见表 1。

1.2 土培试验

供试土壤养分状况为有机质 14.8 g° kg⁻¹,全氮 0.671 g° kg⁻¹,速效磷 8.59 mg° kg⁻¹。为了形成土壤低磷环境,按土砂比为 1:0.8 混入黄砂。高磷处理按正常 N P K 肥料供给:N 0.131 g/kg 土,P₂O₅ 0.222 g/kg 土,K₂O 0.131 g/kg 土。低磷处理中 N K 肥量与上面相同,不施磷肥。肥料与土壤混匀后装入 8 kg 盆。水分变化分正常供水(最大持

水量的 70%),持续胁迫(最大持水量的 30%)及干湿交替换水处理(由最大持水量的 70% 渐干至 30% 后再补水至 70% ,多次反复) 玉米长至 4 叶时(5 月 8 日)进行水分处理,定期称重控制限量供水。至 7 叶期(5 月 21 日)一次收获,采取地上部分统计生物学产量,取功能叶测定 RWG MDA 含量、SOD 及 POD 活性。

表 1 水培试验水分及磷水平处理设置

编号	磷水平	水分变化及采样日期(日/月)						
		30/4	3/5	6/5	9/5	12/5	15/5	18/5
1	+ P	H	H	H	H	H	H	H
2	+ P	H	D	H	D	H	D	H
3	+ P	H	D	D	D	D	D	D
4	- P	H	H	H	H	H	H	H
5	- P	H	D	H	D	H	D	H
6	- P	H	D	D	D	D	D	D

注:表中 H 表示正常供水,D 表示渗透胁迫

1.3 测定项目及方法

相对含水量(RWC):采用文献[5]方法

酶液制备:取新鲜叶片 0.2~ 0.3 g,放入置于冰浴中的研钵,加少量石英砂及 1 mL pH7.8 的磷酸缓冲液,研磨后再补加 4 mL 缓冲液。匀浆,用纱布过滤后于 12 000 rpm 冷冻离心 10 min,上清液为酶粗提液,用于测定 MDA 含量及 SOD 和 POD 活性

MDA 含量测定:按林植芳等^[6]提出的方法

SOD 活性测定:根据 Giannopolitis 和 Ries^[7]的方法。酶活性单位用抑制 NBT 光化还原 50% 为一个酶活单位表示

POD 酶活性测定:根据张龙翔等^[8]的方法,略作改动。反应混合物中含有 0.05 mol/L pH7.8 磷酸缓冲液 2.5 mL,20 mmol/L 愈伤木酚溶液 0.4 mL,酶粗提液 0.2 mL,在 470 nm 测定 $t=0$ s 时的吸光度,然后迅速加入 0.025 mol/L H_2O_2 0.1 mL,混匀后每 0.5 min 记录吸光度值,至 7 min 结束。由单位时间吸光度变化率计算 POD 活性

2 结果与分析

2.1 水培处理下叶片的伤害指标

2.1.1 RWG 变化 不同处理下叶片相对含水量测定结果见表 2。

表 2 不同水培处理下玉米叶片 RWG %

编号	采样日期(日/月)					
	3/5	6/5	9/5	12/5	15/5	18/5
1	99.56	98.77	99.01	98.35	98.89	99.25
2	95.35	99.51	87.14	97.64	81.09	94.33
3	95.35	95.05	89.72	83.87	79.77	79.89
4	99.90	98.94	99.08	99.27	98.72	96.48
5	93.17	98.25	79.58	88.12	80.47	90.01
6	93.17	85.06	76.24	78.32	71.24	81.13

从表 2 看出,正常供水时 RWG 基本保持在较高水平。持续干旱胁迫时,RWG 均呈下降趋势。变水处理中,随胁迫而使 RWG 下降,复水后 RWG 又有所上升。变水处理的

RWC值较持续干旱处理高,表明其伤害程度小。干旱下有磷处理能保持较高的 RWC,并且在旱后复水过程中,有磷处理中 RWC恢复较好,由此可见,磷能增强玉米叶片耐脱水能力。

2 1. 2 叶片中 MDA含量变化 MDA是膜脂过氧化产物,MDA 含量升高表明膜受到伤害,膜的完整性遭到破坏。从表 3看出,正常供水下,MDA 含量随幼苗苗龄的增长而增加。在变水处理中,受胁迫使 MDA 含量上升,复水后又维持与正常供水同时的水平。持续干旱胁迫时,MDA 含量迅速增大,然后保持较高水平,无磷处理的 MDA 含量一般都高于有磷处理;对持续干旱处理,- P处理 MDA 增加的速率明显大于+ P处理,表明磷能有效地减缓 MDA 的积累。

表 3 不同水培处理下叶片 MDA含量 nmol/L° gDW

编号	采样日期(日/月)					
	3/5	6/5	9/5	12/5	15/5	18/5
1	63. 91	88. 66	120. 8	146. 8	181. 0	175. 3
2	84. 82	85. 84	161. 1	146. 1	197. 7	179. 9
3	84. 82	142. 1	185. 4	179. 1	191. 2	182. 5
4	73. 16	105. 1	147. 9	162. 1	170. 4	172. 5
5	88. 34	106. 5	177. 8	164. 7	190. 7	178. 0
6	88. 34	190. 6	186. 7	198. 5	196. 0	186. 6

2 2 水培处理下叶片保护酶活性变化

2 2. 1 SOD 活性变化 SOD可消除作物体内活性氧的累积,减少其对细胞膜结构的伤害。从表 4结果可见,在短时间的轻度胁迫下,SOD活性增大,随胁迫时间增长,SOD活性将逐渐降低。其 SOD活性减小的原因一方面取决于采用干旱敏感型品种,另一方面也与干旱下蛋白质降解有关。在变水处理中,当受胁迫时 SO D活性上升,而复水后其活性又有所下降。由于变水处理减轻了叶片的过度伤害,所以 SO D活性都保持在相近的水平,其活性高于供水处理。从相对正常供水时的 SOD相对变化量来分析,在胁迫初期有磷处理的 SOD增加量显著大于缺磷处理。在变换水过程中,有磷能使 SO D的调节能力加强(变幅大)。

表 4 不同水培处理下玉米叶片 SOD 活性 u/gDW

编号	采样日期(日/月)					
	3/5	6/5	9/5	12/5	15/5	18/5
1	17. 73(100)*	24. 32(100)	28. 63(100)	32. 25(100)	27. 43(100)	23. 14(100)
2	28. 40(160)	22. 65(93. 1)	32. 56(114)	33. 28(103)	32. 09(117)	23. 82(103)
3	28. 40(160)	27. 88(115)	29. 28(102)	31. 86(98. 8)	23. 74(86. 5)	19. 58(84. 6)
4	22. 53(100)	30. 94(100)	21. 04(100)	29. 11(100)	23. 00(100)	20. 35(100)
5	26. 36(117)	29. 71(96. 0)	21. 85(104)	27. 91(95. 9)	23. 39(102)	19. 67(96. 6)
6	26. 36(117)	36. 87(119)	23. 43(111)	29. 42(101)	19. 38(84. 3)	16. 43(80. 7)

注:()表示相对百分数,下同。

2 2. 2 POD 活性变化 POD可把 SOD等产生的 H₂O₂ 变成 H₂O,与 SOD有协调一致的作用,使活性氧维持在较低水平上。从表 5的试验结果来看,持续渗透胁迫过程中,POD 活性相对供水处理呈下降趋势。变换水处理时,干旱使 POD活性略有增大,而复水后又降

低。磷对 POD 活性的相对变化量有显著影响 + P 处理中,干旱初期 POD 活性明显增大,至持续胁迫的第 9 天后才迅速降低 - P 处理在初期胁迫时 POD 活性就较小(与正常供水处理相比),至持续胁迫的第 6 天后就迅速降低到较稳定的低水平。对变换水处理,有磷时其 POD 活性一般都高于缺磷处理

表 5 不同水培处理下玉米叶片 POD 活性 u/gDW° min

编号	采样日期(日/月)					
	3/5	6/5	9/5	12/5	15/5	18/5
1	25. 65(100)	56. 09(100)	58. 97(100)	100. 9(100)	132. 6(100)	166. 2(100)
2	31. 67(124)	42. 32(75. 5)	50. 91(86. 3)	73. 82(73. 2)	103. 4(78. 0)	96. 72(58. 2)
3	31. 67(124)	60. 32(108)	63. 55(108)	67. 31(66. 7)	66. 14(49. 9)	76. 64(46. 1)
4	34. 82(100)	68. 28(100)	83. 95(100)	135. 7(100)	139. 1(100)	217. 1(100)
5	30. 01(86. 2)	36. 71(53. 8)	62. 75(74. 8)	91. 93(67. 7)	100. 1(72. 0)	145. 3(66. 9)
6	30. 01(86. 2)	65. 75(96. 3)	41. 73(49. 7)	58. 12(42. 8)	61. 21(44. 0)	83. 65(38. 5)

2.3 土培试验中伤害指标、保护酶活性及生物学产量

土培过程与水培的区别不仅表现在养分有效性 根际环境的不同,从水分关系上看,土培代表缓慢干旱过程 从不同处理的测定结果(表 6)可以看出,高水分供应处理的 RWC 相近,高磷 低磷处理差异不大;而低水分供给处理及变换水处理中,RWC 较前都有所降低,且低磷处理减少的更大 说明土培试验中磷也同样具有促进水分吸收,减缓叶片脱水的作用 不同处理下 MDA 含量积累差异是极显著的,总的表现为低磷处理> 高磷处理;持续干旱> 变换水> 高水分供应处理 SOD 和 POD 活性均表现为胁迫后酶活性降低(与长时间胁迫下的水培试验结果相同)。SOD 的变化与 MDA 的变化趋势呈极显著的负相关($r=-0.996^{**}$, $f=5$, $P_{0.01}>0.874$),说明 SOD 活性高时能抑制 MDA 积累,而 MDA 积累量很高,也是导致 SOD 活性降低的原因。高磷 低磷下 SOD 活性尽管差异不显著,但结合 MDA 含量比较,可以看出高磷时能有效地减少 MDA 的积累,对细胞膜起到较好的保护作用。POD 活性的变化与 SOD 是相同的,但 POD 活性之间的差异却很大 高磷处理显著大于低磷处理,并且低磷处理的下降幅度较前者大 从 POD 与生物学产量的相关性来看,达极显著正相关($r=0.924^{**}$, $f=5$, $p_{0.01}>0.874$)。

表 6 不同土培处理下叶片的伤害指标、保护酶活性及生物学产量

编号	水分处理	磷水平	RWC (%)	MDA (nmol/L° gFW)	SOD (u/gDW° min)	POD (u/gDW° min)	生物学产量 (gDW/株)
1	正常供水	高	90. 96 (100)	2. 061(100)	22. 66(100)	186. 3(100)	2. 106
2	变换水	高	84. 71 (93. 1)	2. 448(119)	21. 65(95. 5)	145. 8(78. 3)	1. 662
3	持续干旱	高	72. 95 (80. 2)	2. 819(137)	20. 14(88. 9)	136. 8(73. 4)	1. 065
4	正常供水	低	92. 22 (100)	22. 80(100)	22. 80(100)	100. 5(100)	1. 208
5	变换水	低	82. 92 (89. 9)	3. 641(153)	21. 84(95. 8)	87. 10(86. 7)	1. 016
6	持续干旱	低	70. 01 (75. 92)	4. 172(175)	20. 56(90. 2)	56. 84(56. 6)	0. 6070

3 结 论

在干旱条件下磷营养能显著改变玉米叶片中 SOD 和 POD 活性,增强作物干旱胁迫

时的适应性及调节能力;减轻玉米叶片受伤害的程度,使 RWC增大,MDA含量降低;增加生物学产量;促进作物旱后复水时的恢复能力。总之,磷营养对提高作物的抗旱性能具有重要作用。

参 考 文 献

- 1 蒋明义,荆家海.渗透胁迫对水稻膜脂过氧化及体内保护系统的影响.植物生理学报,1991,17(1): 80~ 84
- 2 沈秀瑛,徐世昌,戴俊英.干旱对玉米 SOD、CAT及酸性磷酸酯酶活性的影响.植物生理学通讯,1995,31(3): 183~ 184
- 3 武宝珏,格林.小麦幼苗中 SOD活性与幼苗脱水耐受力相关性研究.植物学报,1985,27(2): 152~ 160
- 4 王振镒,郭蔼光,罗淑平.水分胁迫对玉米 SOD和 POD活力及同工酶的影响.西北农业大学学报,1989,17(1): 45 ~ 49
- 5 西北农业大学植物生理生化组编.植物生理学实验指导.西安:陕西科学技术出版社,1987
- 6 林植芳,李双顺,林桂珠等.水稻叶片的衰老与 SOD及脂质过氧化作用的关系.植物学报,1984,26(6): 605~ 615
- 7 Giamopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutase I. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. Plant physiol. 1979, 59(1): 315~ 318
- 8 张龙翔,张庭芳,李食媛.生化实验方法和技术.北京:人民教育出版社,1982,179~ 183

Effect of Phosphorous on SOD and POD Activities of Maize under Water Stress and Highly Varied Water Conditions

Qu Dong Wang Baoli Wang Peihong

(Department of Agrochemistry, North western Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

Shan Lun Su Pei

(North western Institute of Soil and Water Conservation, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract Under different water and phosphorous conditions, the contents of RWC, MDA and activities of SOD and POD of maize leaves were determined during two kinds of incubation. The results showed that water stress could lead to RWC decrease, MDA content increase and cell membrane damage of leaves. The SOD and POD could decrease the MDA accumulation. Phosphorous could not only keep a higher RWC and lower MDA efficiently in maize leaves, but also could increase the SOD and POD activities and biological yield. At the same time, highly varied water treatment could as well remarkably decrease maize hurt under water stress.

Key words water stress, phosphorous, SOD and POD activities, maize