

文章编号: 1005-0906(2007)01-0123-05

不同施肥处理对玉米生育后期叶片保护酶活性及膜脂过氧化作用的影响

战秀梅, 韩晓日, 杨劲峰, 王 帅, 高 鸣, 赵立勇

(沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

摘 要: 从高产施肥的角度研究了不同氮、磷、钾肥用量对春玉米生育后期叶片保护酶活性与膜脂过氧化产物作用的影响。结果表明: 各施肥条件下, 各种酶在灌浆期、乳熟期和蜡熟期随玉米生育期的推进呈现出相同的变化趋势, SOD 活性先急剧降低, 后稍有回升; CAT 活性呈下降趋势; POD 活性先增后降; MDA 含量一直呈上升趋势。不同氮、磷、钾用量对叶片保护酶活性和 MDA 含量的影响不同, 适宜的氮、磷、钾肥用量(N 240 kg/hm²、P₂O₅ 150 ~ 225 kg/hm² 和 K₂O 240 kg/hm²)可明显提高 SOD、CAT 活性, 降低 POD、MDA 活性和含量, 有效地延缓玉米生育后期叶片的衰老。氮、磷、钾养分缺乏或过量均会使叶片膜脂过氧化程度加剧, 较早进入衰老状态。

关键词: 玉米; 生育后期; 保护酶活性; 膜脂过氧化

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Effect of Different Fertilizer Supply of Maize on Protective Enzyme Activities and Lipid Peroxidation of Leaves in Latter Stage

ZHAN Xiu-mei, HAN Xiao-ri, YANG Jin-feng, WANG Shuai, GAO Ming, ZHAO Li-yong

(College of Land and Environment Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: From the viewpoint of high-yield application of fertilizers, under different fertilizer supply, studies were made about protective enzyme activities and lipid peroxidation of leaves in later stage of maize. Results indicated that at filling stage, milky stage and dough stage, changing of enzymes with growing stage were the same trend, the activities of superoxide dismutase(SOD) reduced sharply then increased slightly; catalase(CAT) declined all the time; peroxidase(POD) increased earlier then reduced, malondialdehyde(MDA) increased straight. Effects of different fertilizer supply on protective enzyme activities and MDA content were different. Propriety N, P, K fertilizer application(N 240 kg/ha, P₂O₅ 150 – 225 kg/ha and K₂O 240 kg/ha) can defer decrepitude effectively of leaves at latter growing stage. Apply excessive or lacking N, P and K fertilizer can sharpen lipid peroxidation degree and became decrepitude earlier.

Key words: Maize; Later growing stage; Protective enzyme activities; Lipid peroxidation

开花后是玉米子粒产量形成的关键时期, 也是叶片功能进入全面衰退的时期^[1]。作物叶片在衰老过程中会发生一系列的生理生化变化, 如活性氧代谢失调等。因此, 在作物生育后期能够通过保护酶活性与膜脂过氧化产物含量的变化来了解植物衰老的

情况。目前关于逆境条件下玉米保护酶活性的研究报道较多^[2~5], 关于施肥对玉米保护酶活性影响的报道较少^[6], 而关于高产施肥条件下玉米衰老的研究更鲜见报道。本研究从高产施肥的角度出发, 对不同施肥条件下玉米生育后期叶片保护酶活性及膜脂过氧化作用方面进行探讨, 为玉米的高产施肥提供充分的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2005 年设在沈阳农业大学后山棕壤试验田上。土壤基本理化性质为有机质含量 17.85

收稿日期: 2006-04-10; 修回日期: 2006-12-26

基金项目: 国家粮食丰产科技工程 - 辽宁省不同生态区玉米高效施肥技术研究专题(2004BA520AA01-4)

作者简介: 战秀梅(1974-), 女, 辽宁朝阳人, 讲师, 博士, 主要从事植物营养与施肥方面的研究工作。

E-mail: xiumeizhan@163.com

韩晓日为本文通讯作者。

g/kg, 碱解氮含量 119.55 mg/kg, 速效磷含量 14.23 mg/kg, 速效钾含量 89.59 mg/kg。供试玉米品种为郑单 958。

试验设 10 个处理, 随机排列, 重复 3 次。N 系列处理中 N 用量分别为 0、120、240、360 kg/hm², P₂O₅ 和 K₂O 用量固定在 150 kg/hm² 和 240 kg/hm², 记为 N0、N1、N2、N3; P 系列处理中 P₂O₅ 用量分别为 0、75、150、225 kg/hm², N 和 K₂O 用量均固定在 240 kg/hm², 记为 P0、P1、P2、P3; K 系列处理中 K₂O 用量分别为 0、120、240、360 kg/hm²; N 和 P₂O₅ 用量固定在 240 kg/hm² 和 150 kg/hm², 记为 K0、K1、K2、K3。在 N、P、K 系列处理中, 共用的处理为 N2、P2、K2。

小区面积 31.5 m², 密度为 66 000 株/hm²。肥料采用尿素、重过磷酸钙和硫酸钾, 其中 1/3 尿素作底肥, 另外 2/3 尿素分 2 次追施, 分别在拔节期、大喇叭口期施入。磷肥、钾肥全部作底肥一次施入。

于 2005 年 4 月 26 日播种, 5 月 15 日出苗, 9 月 23 日收获。全生育期共 131 d。在玉米的灌浆期(7 月 27 日, 出苗 74 d)、乳熟期(8 月 15 日, 出苗 93 d)、蜡熟期(9 月 3 日, 出苗 112 d)分别采取植株样品测定穗位叶的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性和丙二醛(MDA)含量。

1.2 测定方法

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定: 4 000 lx 荧光灯下照光 15 min 后测定 560 nm 处的光密度, 以反应被抑制 50% 的酶用量为一个酶活单位。过氧化氢酶(CAT)活性的测定: 以 20℃ 下 1 min 内 1 g 鲜重分解 H₂O₂ μmol 数为酶活单位。过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法, 以 ΔOD₄₇₀/(g·FW·min) 表示酶活单位。丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法^[7]。

2 结果与分析

2.1 不同氮、磷、钾肥用量对玉米叶片 SOD 活性的影响

SOD 是生物防御活性氧伤害的重要保护酶之一, 防止超氧自由基对生物膜系统的氧化, 对细胞的抗氧化、衰老具有重要的意义, 它的活性高低标志着植物细胞自身抗衰老能力的强弱。从图 1、2、3 可以看出, 不同氮、磷、钾肥用量 SOD 酶活性在生育后期表现出了相同的变化趋势: 各处理 SOD 酶活性在灌浆期最高, 乳熟期最低, 蜡熟期较乳熟期又有所提高, 即在这 3 个生育期表现出先高, 之后急剧下降, 然后再有所回升的变化趋势。这可能是由于在灌浆

期玉米叶片氧自由基的清除能力强, 灌浆期后由于叶片养分的大量转移, 加之活性氧大量产生, 使叶片的衰老加剧, SOD 酶活性降低; 到蜡熟期, 子粒干物质积累的高峰期已经过去^[8], 叶片中养分的转移速率明显下降, 叶片对活性氧的清除能力又有所加强, 因此 SOD 酶活性稍有提高。

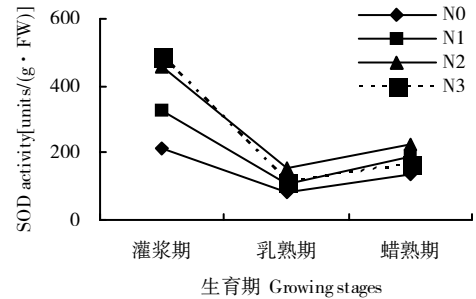


图 1 不同氮肥用量对 SOD 酶活性的影响

Fig.1 Effect of different N fertilization on the activities of SOD

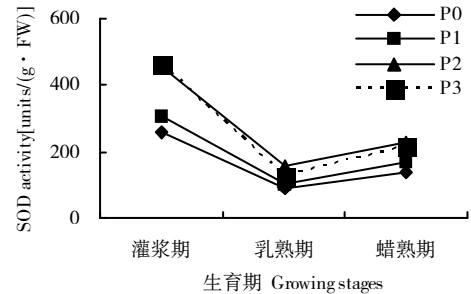


图 2 不同磷肥用量对 SOD 酶活性的影响

Fig.2 Effect of different P fertilization on the activities of SOD

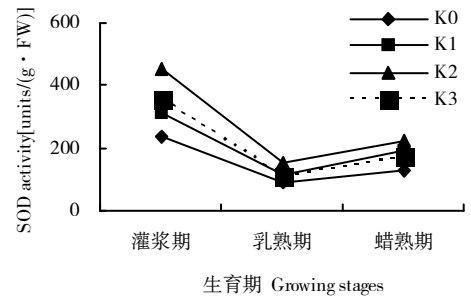


图 3 不同钾肥用量对 SOD 酶活性的影响

Fig.3 Effect of different K fertilization on the activities of SOD

各个氮肥处理(图 1)相比, N0 处理 SOD 酶活性在各生育期均为最低; N3 处理在灌浆期 SOD 酶活性最高, 在乳熟期和蜡熟期却降到了非常低的水平; N2 处理在各生育期 SOD 酶活性总体处于较高水平, 尤其在乳熟期和蜡熟期明显高于其它各氮肥处理。这说明缺氮或氮素营养过高时, 均不利于 SOD 酶的合成, 氧自由基的清除能力减弱, 衰老进程加速; 适量的氮素能提高保护酶的活性, 增强叶肉细胞对活性氧自由基的清除能力, 有效地控制了膜脂过

氧化水平,最大限度地维持了细胞的稳定性,延缓了衰老进程。

从图 2 可以看出,各施磷处理相比,P0 处理在各生育期中 SOD 活性均处于最低水平;P2 和 P3 处理在各生育期 SOD 活性相近,在 4 个磷肥用量下处于最高水平。表明缺磷会使植物体内氧自由基大量产生,植物清除氧自由基的能力降低,从而导致 SOD 活性降低;磷在植物体内发挥着重要的生理功能,充足的磷素营养使植物在生育后期仍具有较强的清除活性氧的能力,从而能够延缓植物衰老。

从图 3 可见,在各施钾处理中,K0 处理 SOD 酶活性在各生育期均处于最低水平;K1 和 K3 处理 SOD 酶活性在各生育期相近,处于中等水平,但 K3 处理在灌浆期较高,在乳熟期和蜡熟期降至较低水平。钾是植物体内许多酶的活化剂,对调节渗透平衡与气孔开闭具有重要作用,能够提高植物的抗逆性。因此适量的钾素供应能够使植物抵抗衰老的能力增强,清除活性氧的能力提高;缺钾和钾素供应过多,都不能使钾的生理功能充分的发挥,从而使 SOD 酶活性降低。

2.2 不同处理对玉米叶片 CAT 活性的影响

过氧化氢酶是植物体内清除 H₂O₂ 的关键酶之一。从图 4、5、6 可以看出,在不同氮、磷、钾肥用量下,CAT 活性表现出了相同的变化趋势,灌浆期最高,乳熟期其次,蜡熟期最低。随着生育期的推进,CAT 活性降低。说明 CAT 活性是随着衰老而逐渐降低。这与以前的研究报道相一致。

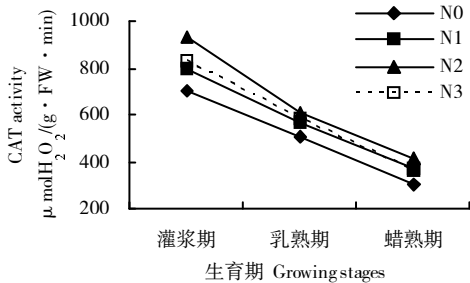


图 4 不同氮肥用量对 CAT 酶活性的影响

Fig.4 Effect of different N fertilization on the activities of CAT

各氮肥处理 (图 4) 相比,N0 处理在各生育期 CAT 活性最低,N2 处理最高。各磷肥处理 (图 5)相比,P0 处理各生育期 CAT 活性最低,P2 和 P3 处理 CAT 活性处于较高水平,在灌浆期和乳熟期两个处理 CAT 活性相差不大,在蜡熟期 P3 处理 CAT 活性明显高于其它磷肥处理。各钾肥处理(图 6)相比,K0 处理在各生育期 CAT 活性最低,K2 处理最高。说明

适量的氮、磷、钾养分供应能增强植物清除活性氧的能力,从而延缓衰老。

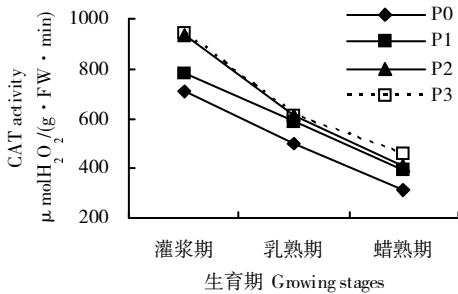


图 5 不同磷肥用量对 CAT 酶活性的影响

Fig.5 Effect of different P fertilization on the activities of CAT

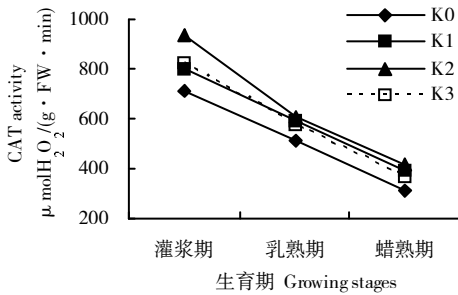


图 6 不同钾肥用量对 CAT 酶活性的影响

Fig.6 Effect of different K fertilization on the activities of CAT

2.3 不同处理对玉米叶片 POD 活性的影响

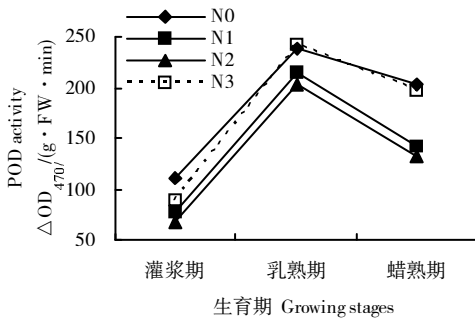


图 7 不同氮肥用量对 POD 酶活性的影响

Fig.7 Effect of different N fertilization on the activities of POD

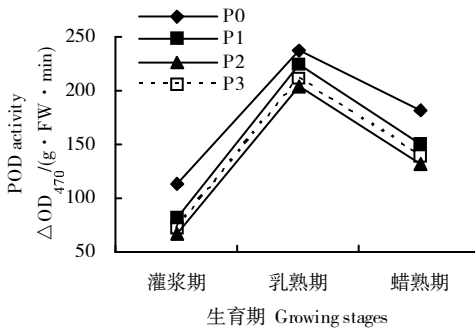


图 8 不同磷肥用量对 POD 酶活性的影响

Fig.8 Effect of different P fertilization on the activities of POD

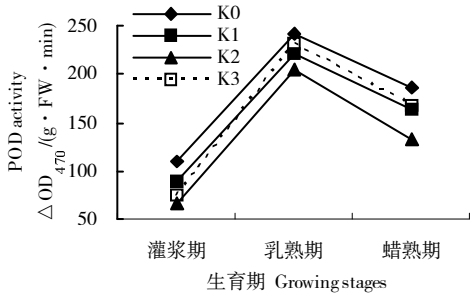


图 9 不同钾肥用量对 POD 酶活性的影响

Fig.9 Effect of different K fertilization on the activities of POD

从图 7、8、9 可见，过氧化物酶活性的变化既不同于 SOD 活性也不同于 CAT 活性的变化，各处理的 POD 活性均为灌浆期最低，乳熟期最高。即在这 3 个生育期内表现出先急剧升高后缓慢下降的趋势。

在各生育期中，各氮肥处理(图 7)相比，N0 处理和 N3 处理 POD 活性相差不大，而且在各氮肥处理中活性相对最高，N2 处理 POD 活性最低。各磷肥处理(图 8)相比，P0 处理 POD 活性在各生育期均为最高，P2 处理最低。各钾肥处理(图 9)相比，K0 处理 POD 活性在各生育期为最高，K2 处理最低。

2.4 不同处理对玉米叶片 MDA 含量的影响

MDA 是细胞膜脂过氧化指标，其含量的变化反映了细胞膜脂过氧化水平，它既是膜脂过氧化产物，又可以强烈地与细胞内各种成分发生反应，使多种酶和膜系统严重损伤。从图 10、11、12 可见，各氮、磷、钾肥用量下，随着生育期的推进，MDA 含量一直呈上升趋势，灌浆期最低，蜡熟期最高。表明在玉米生育后期，随着叶片的发育，衰老程度逐渐加深，膜脂过氧化程度加剧，叶片中的丙二醛含量也随之增加。

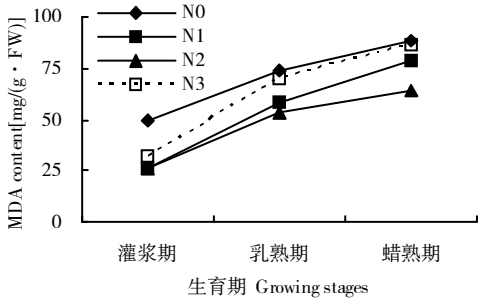


图 10 不同氮肥用量对 MDA 含量的影响

Fig.10 Effect of different N fertilization on the activities of MDA

各氮肥处理(图 10)相比，N0 处理在各生育期中 MDA 含量最高，N3 处理次之，N2 处理最低。各磷肥处理(图 11)相比，P0 处理各生育期 MDA 含量最高，P2 和 P3 处理在灌浆期和乳熟期 MDA 含量相近，在

蜡熟期 P2 处理含量最低。各钾肥处理(图 12)相比，K0 处理各生育期 MDA 含量最高，K1 和 K3 处理各生育期 MDA 含量相近，处于中等水平，K2 处理 MDA 含量最低。说明氮、磷、钾缺乏或过量都会使玉米较早地进入衰老状态，适量的氮、磷、钾营养对膜脂过氧化有一定的抑制作用，能够延缓衰老。

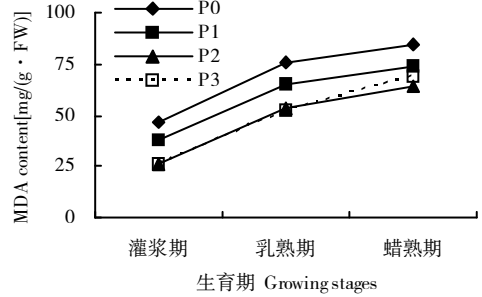


图 11 不同磷肥用量对 MDA 含量的影响

Fig.11 Effect of different P fertilization on the activities of MDA

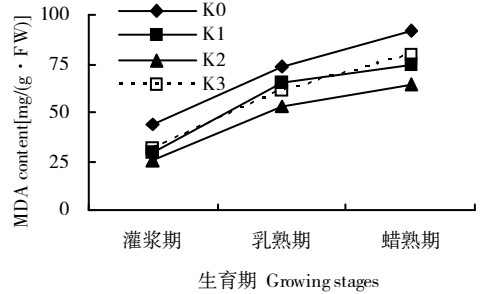


图 12 不同钾肥用量对 MDA 含量的影响

Fig.12 Effect of different K fertilization on the activities of MDA

3 结 论

从本研究中测定的 4 个生理指标来看，保护酶 SOD、CAT 活性随生育期的变化虽然在蜡熟期有区别，但相似之处较多，并且以 CAT 活性的变化最为显著。在不同的氮、钾肥用量下，氮肥以 N2 处理、钾肥以 K2 处理的酶活性最强；不同磷肥用量下，P2 和 P3 处理酶活性相近且在各处理中活性最强。

POD 活性随生育期的变化与 SOD 和 CAT 活性的变化总体趋势不同，POD 活性的变化呈先急剧升高后缓慢下降的趋势。在各氮、磷、钾肥用量下，氮肥以 N2、磷肥以 P2、钾肥以 K2 处理 POD 活性最低。POD 是与衰老有关的一种酶，它既参与叶绿素的降解和活性氧的产生^[11,12]，同时又是细胞防御活性氧毒害的酶系统成员之一。因此，POD 是一种功能多样的酶，其活性变化受多种因素的影响。在本研究中，POD 活性变化除了与其功能多样性有关外，也可能与玉米的品种、采样时的环境条件或气候条件等因

素有关。

MDA 作为活性氧积累而导致膜伤害的膜脂过氧化产物,其含量随玉米生育期变化与保护酶 SOD、CAT 活性的变化呈相反趋势。说明保护酶活性的下降与 MDA 积累密切相关,可能互为因果,即一方面由于 SOD、CAT 活性下降,使有害自由基积累乃至超过伤害阈值,直接或间接启动膜脂过氧化反应,使 MDA 含量增加;另一方面,随着 MDA 的积累反过来又抑制了保护酶的活性,进一步促使膜系统受损加重。在本研究条件下,氮肥以 N2、磷肥以 P2、钾肥以 K2 处理 MDA 含量最低。

综上所述,在本试验条件下,从春玉米施肥对叶片保护酶活性和膜脂过氧化作用影响的角度来看,氮、磷、钾的适宜用量分别为 N 240 kg/hm²、P₂O₅ 150 ~ 225 kg/hm² 和 K₂O 240 kg/hm²,可以有效地延缓玉米生育后期叶片的衰老,从而促进高产的形成。而氮、磷、钾养分缺乏或过量均会使叶片膜脂过氧化程度加剧,较早地进入衰老状态,不利于高产。

参考文献:

[1] 王空军,胡昌浩,董树亭,等.我国不同年代玉米品种开花后叶片保护酶活性及膜脂过氧化作用的演进[J].作物学报,1999,25(6): 700-706.

- [2] 梁秀兰,林英春,年海,等.低磷胁迫对不同基因型玉米主要生理生化特性的影响[J].作物学报,2005,31(5):667-669.
- [3] 孙群,梁宗锁,王渭玲.氮对水分亏缺下玉米幼苗膜脂过氧化及光合速率的影响[J].西北农业学报,2001,10(1):7-10.
- [4] 葛体达,隋方功,白莉萍,等.长期水分胁迫对夏玉米根叶保护酶活性及膜脂过氧化作用的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):18-23,32.
- [5] 孙彩霞,刘志刚,荆艳东.水分胁迫对玉米叶片关键防御酶系活性及同工酶的影响[J].玉米科学,2003,11(1):63-66.
- [6] 何萍,金继运.氮钾营养对春玉米叶片衰老过程中激素变化与活性氧代谢的影响[J].植物营养与肥料学报,1999,5(4):289-296.
- [7] 张宪政.作物生理研究法[M].北京:农业出版社,1990.
- [8] 金继运,何萍.氮钾互作对春玉米生物产量及其组分动态的影响[J].玉米科学,1999,7(4):57-60.
- [9] Singh B K, Jenner C F. Factor controlling endosperm cell number and grain dry weight in wheat: Effects of shading on supply to detached, cultured ears[J]. Plant Physiol., 1984, 11:151-163.
- [10] Thompson J E, et al. The role of free radicals in senescence and wounding[J]. New Phytol., 1987, 105: 317-343.
- [11] Niinomi A, Morimoto M, Shimizu S. Lipid peroxidation by the [Peroxidase/H₂O₂/Phenolic] system[J]. Plant Cell Physiol., 1987, 28(4): 731-735.
- [12] 曾韶西,王以柔,刘鸿先.低温光照下与黄瓜子叶叶绿素降低有关的酶促反应[J].植物生理学报,1991,17(2):177-182.