

不同施肥处理对夏玉米产量及活性氧代谢的影响

王洪飞, 李絮花*, 董 静, 徐久凯, 庄振东, 汪春娜, 赵晓翠

(山东农业大学资源与环境学院, 土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东 泰安 271018)

摘要: 以 2009 年建立的肥料定位试验为研究平台, 于 2013 年进行了不同施肥处理对夏玉米产量及活性氧代谢影响的研究。结果表明, 氮磷钾均衡施肥对夏玉米籽粒产量有显著的增产作用, 产量达到 9 299.85 kg/hm², NPK 处理的穗粒数和千粒重最高, NP 处理的穗长、穗重与 NPK 处理没有显著差异; 氮能有效地提高玉米穗位叶叶绿素含量和籽粒的灌浆速率; 氮对玉米穗位叶过氧化物酶活性的影响最大, 氮钾配施能够有效地提高玉米穗位叶超氧化物歧化酶活性, 增加穗位叶可溶性蛋白质含量, 降低穗位叶丙二醛含量。合理配施氮钾能够有效地提高玉米穗位叶光合效率, 延缓叶片衰老, 提高玉米籽粒产量。

关键词: 施肥处理; 夏玉米; 产量; 活性氧代谢

中图分类号: S143; S513

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2015) 04-0066-05

氧自由基的伤害是导致作物衰老的直接原因, 不合理的施肥会打乱植株体内活性氧代谢, 加速作物的衰老, 引起作物产量的下降^[1]。而超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 活性以及丙二醛 (MDA) 含量与作物的抗衰老有密切的关系^[2], SOD 活性降低会引起 MDA 含量增加, 加速衰老^[3]。在一定范围内, 随着施氮量的增加, SOD 和 POD 活性明显提高, MDA 含量下降^[4-5]。磷肥与水分的配施以及有机无机肥的配施都可以提高叶绿素、可溶性蛋白质含量以及 SOD 活性, 降低 MDA 含量, 延缓作物衰老^[6-7]。供钾不足也会导致 POD 活性下降和 MDA 含量增加, 可溶性蛋白质和叶绿素含量下降, 从而引起作物早衰^[8]。目前关于长期肥料试验对土壤肥力状况及其演变规律的研究较多, 对作物的衰老特性的研究甚少。本文以长期定位肥料试验为平台, 研究不同施肥处理对夏玉米产量及活性氧代谢的影响, 为研究施肥对延缓玉米叶片衰老, 提高籽粒产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与样品采集

定位肥料试验于 2009 年 6 月开始在山东农业

大学资源与环境试验基地开始进行, 种植制度为冬小麦-夏玉米轮作。供试土壤为棕壤, 试验开始前 (2009 年) 耕层土壤理化性状为有机质 25.9 g/kg, 全氮 1.36 g/kg, 碱解氮 105 mg/kg, 有效磷 (P) 68.4 mg/kg, 速效钾 (K) 124 mg/kg, pH 值 7.8。试验设置 5 个施肥处理, 3 次重复, 随机区组排列, 小区面积为 10 m × 2.4 m = 24 m², 试验区周边设有保护行, 试验设计及施肥量见表 1, 其中磷肥、钾肥的全部和氮肥 1/3 做基肥一次性施入, 剩余 2/3 氮肥在玉米大喇叭口期作追肥。

本试验于 2013 年 6 ~ 10 月进行, 夏玉米品种为郑丹 958, 种植时间为 6 月 14 日, 种植密度为 6.8 万株/hm²。自玉米吐丝期 (0 d) 开始分别于 8 月 24 日 (14 d)、8 月 31 日 (21 d)、9 月 7 日 (28 d)、9 月 14 日 (35 d) 和 9 月 21 日 (42 d) 共 5 次取玉米穗位叶冷冻保存, 测定其活性氧代谢的关键酶活性。

1.2 项目测定与方法

玉米籽粒产量及产量构成因素的测定: 收获时每个小区随机选取 10 株, 将地上部全部收获, 秸秆和籽粒分开, 调查穗粒数、穗长, 风干后调查穗重, 脱粒后称重测定千粒重并计算籽粒产量。

灌浆速率的测定^[9]: 从吐丝期开始每个小区每隔 7 d 取样 3 株, 将籽粒与秸秆分开, 籽粒风干后脱粒, 随机数出 200 粒, 称取重量。最后计算

收稿日期: 2014-07-18; 最后修订日期: 2014-09-28

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2011BAD11B05-18)。

作者简介: 王洪飞 (1988-), 女, 山东莒南人, 硕士研究生, 主要从事植物营养机理与调控研究。E-mail: zhebf@163.com。

通讯作者: 李絮花, E-mail: lixh@sdau.edu.cn。

表 1 试验设计与具体施肥量

处理	养分施用量 (kg/hm ²)			小区肥料施用量 (g/区)			
				尿素		重过磷酸钙	硫酸钾
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	基肥	追肥		
CK	0	0	0	0	0	0	0
NP	180	72	0	312.89	625.77	392.54	0
NK	180	0	126	312.89	625.77	0	604.50
PK	0	72	126	0	0	392.54	604.50
NPK	180	72	126	312.89	625.77	392.54	604.50

灌浆速率 [g/(200 粒 · d)]。

$$\text{灌浆速率} = (G_{n+7} - G_n) / 7$$

式中, G_{n+7} 为第 (n + 7) d 的 200 粒干重 (g), G_n 为第 n d 的 200 粒干重 (g)。

酶活性的测定: SOD 活性测定参照王爱国等^[10]的方法; POD 活性测定用愈创木酚法, 可溶性蛋白含量测定用考马斯亮蓝比色法, MDA 含量测定参照林植芳等^[11]的方法。

数据处理: 采用 Excel 2007 作图和 DPS 9.50 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 长期施肥对夏玉米籽粒产量及产量构成因素的影响

由表 2 可以看出, 5 个处理中 NPK 处理的产量最高, 为 9 299.85 kg/hm², 较 CK 处理产量增加 3 605.06 kg/hm², NK 和 NP 处理的产量与 NPK 处理产量差异不显著。NPK 处理的穗长、穗粒数、穗重和千粒重分别为 16.33 cm、39.60 粒、197.03 g 和 310.07 g, 较 CK 处理分别提高 20.08%、20.82%、

表 2 夏玉米籽粒产量及产量构成因素

处理	产量 (kg/hm ²)	穗长 (cm)	穗粒数 (粒)	千粒重 (g)	穗重 (g)
CK	5 694.79b	13.50b	28.90b	280.90bc	132.43b
NP	8 847.03a	16.60a	36.50a	306.47a	213.43a
NK	8 147.40a	16.26a	38.23a	297.13ab	193.05a
PK	6 035.89b	13.77b	30.40b	272.68c	137.59b
NPK	9 299.85a	16.33a	39.60a	310.07a	197.03a

注: 同列不同小写字母表示差异达 5% 的显著水平。

32.79% 和 10.38%。NPK、NK 和 NP 处理的穗长、穗粒数和穗重差异并不显著, 但都显著高于 PK 和 CK 处理。

2.2 长期施肥对夏玉米穗位叶叶绿素含量及籽粒灌浆速率的影响

叶片的衰老直接导致叶绿素含量下降, 由图 1 可以看出, 不同时期的穗位叶叶绿素含量均以 PK 和 CK 处理的较低, NPK、NK 和 NP 处理的叶绿素含量相差不大, 但仍能看出 NPK 处理的穗位叶叶绿素含量最高, NP 其次, NK 稍低。5 个处理穗位叶叶绿素含量在吐丝后 14 d 开始下降, 但是 NPK、NP 和 NK 处理仍表现为较高水平, 说明施氮肥能提高叶绿素含量, 提高穗位叶的光合速率, 从而增加玉米籽粒产量。

灌浆速率是决定夏玉米籽粒产量的重要因素。

从图 1 可以看出, 夏玉米籽粒的灌浆速率在吐丝期后呈现先升高后下降的趋势。从不同施肥处理来看, NPK、NK、NP 3 个处理在吐丝后 14 d 灌浆速率达到最大值, 分别为 1.03、1.03 和 0.96 g/(200 粒 · d), 说明钾对灌浆速率的影响比较大。PK 和 CK 处理在吐丝后 21 d 灌浆速率达到最大值, 仅分别为 0.78 和 0.91 g/(200 粒 · d), 说明缺氮影响了灌浆速率。

2.3 长期不同施肥处理对夏玉米穗位叶活性氧代谢的影响

2.3.1 对超氧化物歧化酶 (SOD) 及过氧化物酶 (POD) 的影响

SOD 催化超氧化物阴离子自由基 (O₂⁻) 发生歧化反应生成 H₂O₂ 和 O₂, 从而清除 O₂⁻ 对细胞的

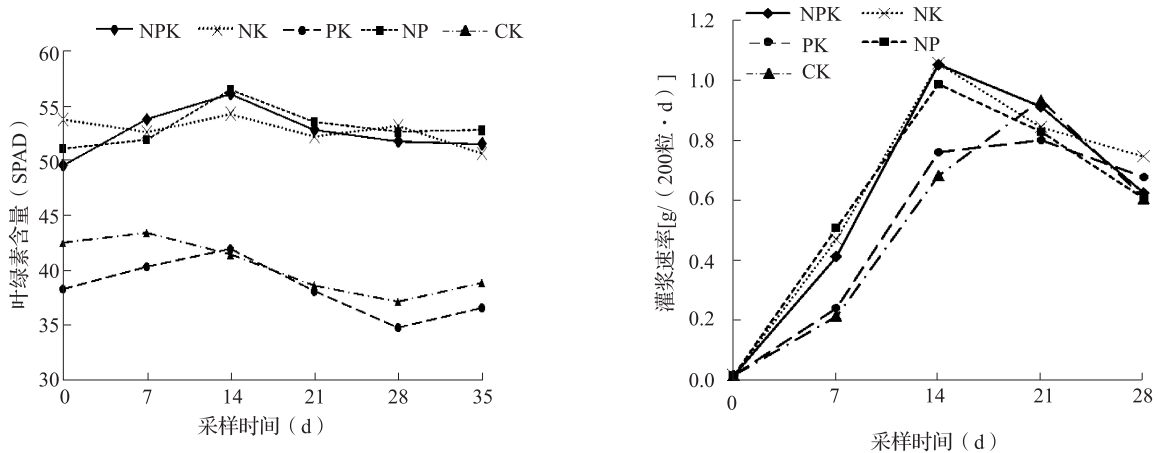


图1 不同施肥处理对夏玉米穗位叶叶绿素含量 (SPAD) 及籽粒灌浆速率的影响

损害。其活性的高低反映了氧自由基清除能力的高低。如图2所示,不同施肥处理在夏玉米吐丝期后SOD活性都呈现先升高后下降的趋势,其中NPK和NK处理在吐丝后14 d呈直线升高,而NP、PK、CK处理则在吐丝后21 d才呈现直线上升。这可能是由于氮钾配施能保持较强的氧自由基清除能力,延缓叶片衰老。另外,不同施肥处理SOD活性达到

峰值的时间相同,在吐丝后28 d达到最高,吐丝后35 d稍微有所降低,除CK处理外其他处理在吐丝后42 d均有所提高。这可能是由于在成熟期叶片氧自由基的清除能力比较强;乳熟期由于叶片养分大量转移,产生了较多的活性氧,使SOD活性降低;到蜡熟期,叶片养分的转移下降,活性氧的清除能力又稍微增强。

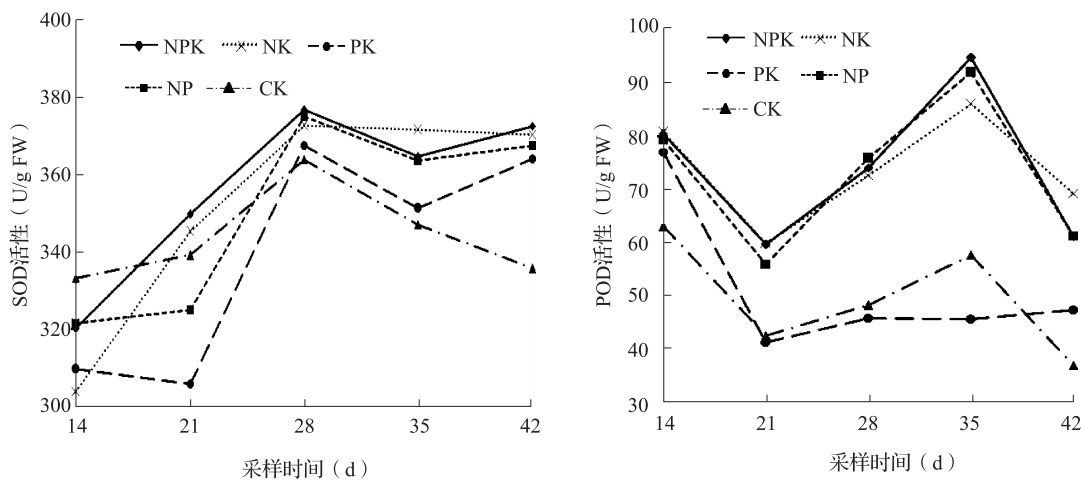


图2 不同施肥处理对夏玉米穗位叶 SOD、POD 活性的影响

POD是另一种植物体活性氧清除的关键酶,可以清除叶片中 H_2O_2 ,与SOD共同作用维持植物活性氧代谢平衡。如图2所示,不同施肥处理的夏玉米穗位叶POD活性呈现先下降后升高再下降的趋势,5个处理均在吐丝后21 d达到最低,随后升高,除PK处理外在吐丝后35 d达到最高,其中NPK、NK、NP处理的POD活性始终比CK、PK处理高,说明不施氮肥会对植株造成伤害,加速植物的衰老进程。

2.3.2 对丙二醛(MDA)及可溶性蛋白质含量的影响

在植物衰老过程中,活性氧会直接或者间接导致膜脂过氧化作用,而丙二醛含量的高低是反映植物细胞膜脂过氧化程度的重要指标。如图3所示,不同施肥处理的夏玉米丙二醛含量随着生育期的推进呈现逐渐上升的趋势,吐丝后28 d后升高幅度最大,吐丝后35 d丙二醛含量达到最高,且CK和PK处理的丙二醛含量

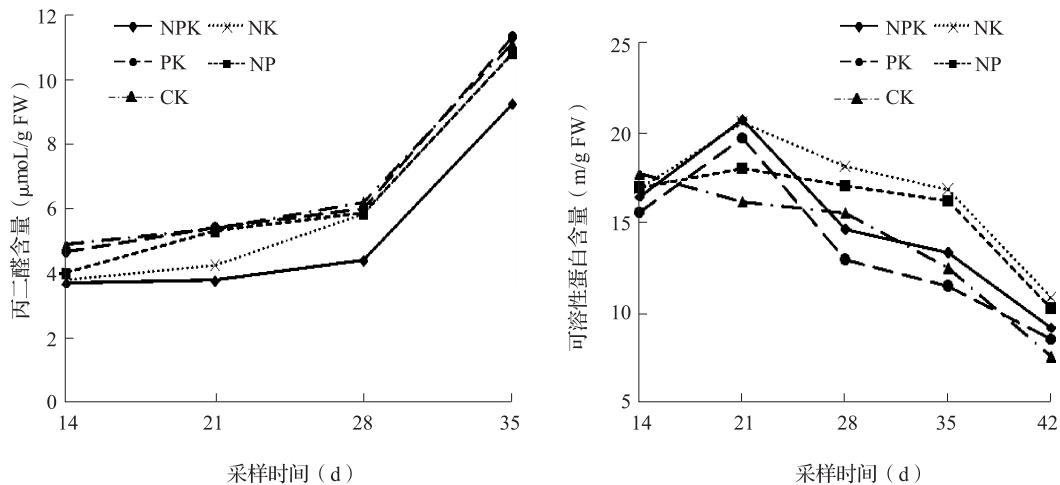


图3 不同施肥处理对夏玉米穗位叶可溶性蛋白质、丙二醛含量的影响

始终保持最高,其次是NP和NK处理,NPK处理最低。

植物叶片的可溶性蛋白质也是一些代谢酶类物质,叶片中可溶性蛋白质含量的高低,不仅反映植株氮素代谢水平,而且也是叶片衰老程度的重要指标。如图3所示,不同处理的玉米穗位叶可溶性蛋白质含量在吐丝后21 d,除CK处理外,其它处理均呈现上升趋势,NK和NPK含量最高,这可能是在夏玉米成熟之前,干物质需要大量的积累,促使玉米的代谢比较旺盛,从而使叶片代谢酶类物质增加。吐丝后28 d之后均呈现下降趋势,其中PK和CK处理的下降速度最快,其他处理的下降幅度较低。

3 讨论与结论

叶绿素影响作物光合性能,其含量的高低在一定程度上反映了叶片衰老的程度^[12]。灌浆速率是作物代谢水平直接体现,两者与作物产量有密切关系。本研究表明长期配施NPK、NP、NK的3个处理的叶绿素含量较高,籽粒灌浆速率较高。说明施用氮肥能显著提高玉米穗位叶的光合性能,延缓叶片衰老,提高籽粒产量。

SOD能清除植物体内超氧阴离子自由基(O_2^-),其催化产生的 H_2O_2 能被POD利用,两者是植物体内清除活性氧的关键酶,其活性的高低直接反映植物抗衰老性能。本研究表明氮钾长期配施的NPK、NK处理的SOD和POD活性较高,可溶性蛋白质含量较高,活性氧的清除能力较强,MDA含量较低,从而延缓叶片衰老,这与于振文等^[8]研究

结果一致。长期缺氮处理PK和CK处理的SOD和POD活性较低,可溶性蛋白质含量较低,导致氧自由基清除能力降低,MDA含量较高,引起叶片早衰,导致籽粒产量下降。

参考文献:

- [1] 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, (4): 289-296.
- [2] 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, (6): 700-706.
- [3] 邵国庆,李增嘉,宁堂原,等. 灌溉与尿素类型对玉米花后穗位叶衰老、产量和效益的影响 [J]. 中国农业科学, 2009, (10): 3459-3466.
- [4] 叶君,高聚林,王志刚,等. 施氮量对超高产春玉米花期叶片光合特性及产量的影响 [J]. 玉米科学, 2011, (6): 74-77.
- [5] 刘艳,汪仁,华利民,等. 施氮量对玉米生育后期叶片衰老与保护酶系统的影响 [J]. 玉米科学, 2012, (2): 124-127.
- [6] 郑亚萍,初长江,王才斌,等. 有机无机肥配施对夏花生叶片衰老的影响 [J]. 花生学报, 2009, (1): 22-26.
- [7] 曾广伟,林琪,杜金哲,等. 不同土壤水分条件下施磷量对小麦旗叶衰老及产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2010, (2): 35-40.
- [8] 于振文,张伟,岳寿松,等. 钾营养对冬小麦光合作用和衰老的影响 [J]. 作物学报, 1996, (3): 305-312.
- [9] 王铁固,赵新亮,张怀胜,等. 种植密度对玉米叶部性状及灌浆速率的影响 [J]. 贵州农业科学, 2012, (3): 75-78.
- [10] 王爱国,罗广华,邵从本,等. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究 [J]. 植物生理学报, 1983, (1): 77-84.
- [11] 林植芳,李双顺,林桂珠,等. 水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及脂质过氧化作用的关系 [J]. 植物学报, 2009, (1): 1-6.

1984, 26 (6): 605–615.

粒期叶片衰老与根系活力的影响 [J]. 玉米科学, 2012, (2): 75–81.

[12] 王海燕, 高聚林, 王志刚, 等. 高密度对超高产春玉米花

Effects of different fertilization treatments on yield and activated oxygen metabolism of maize

WANG Hong-fei, LI Xu-hua^{*}, DONG Jing, XU Jiu-kai, ZHUANG Zhen-dong, WANG Chun-na, ZHAO Xiao-cui (National Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian Shandong 271018)

Abstract: Long-term field experiment was carried out from 2009 to 2013 to study the effect of different fertilization treatments on yield and active oxygen metabolism of summer maize. The results showed that, in NPK treatment the yield of summer maize significantly increased, which was up to 9 299.85 kg/hm² and grains per spike and 1 000 grain weight were the highest. The spike length and spike weight of NP treatment had no significant difference with those of NPK treatment. Nitrogen effectively improved the chlorophyll content of spike leaf and grain filling rate and it had the most influence on the activity of peroxidase of maize leaves located near the ear. N and K fertilizer effectively increased the superoxide dismutase activity and soluble protein content of maize leaves located near the ear, and decreased their content of malondialdehyde. Therefore, the rational combination of N and K could effectively improve the efficiency of photosynthesis, delay leaf senescence and increase the grain yield of maize.

Key words: fertilization treatments; summer maize; yield; activated oxygen metabolism

[上接第 48 页]

Influence of flue gas desulphurization by-products on abundance of soil bacteria, ammonia oxidizing microorganisms in saline soil in Ningxia province

LI Ming^{1*}, ZHANG Jun-hua¹, JIANG Li-li² (1. Development Center of New Technique Application and Research, Ningxia University, Yinchuan Ningxia 750002; 2. Institute of Tibetan Plateau Research Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract: To investigate the effect of flue gas desulphurization by-products on saline-soil microbial communities, a field experiment with five different levels of flue gas desulphurization by-products (FGDB) gradient, which were 0, 0.74, 1.49, 2.25, 3.00 kg · m⁻² respectively, was performed to examine the effect of FGDB on the soil bacteria, ammonia oxidizing bacteria and ammonia oxidizing archaea in 2009 and 2010. The results indicated that FGDB addition resulted in an increase in Ca²⁺ and NO₃⁻ - N and a decrease in pH and electrical conductivity. The results of real-time quantitative PCR showed that the abundance of microbial community composition differed with different FGDB gradient but was non-linear. Total bacterial 16S rRNA gene copy numbers were significantly higher in FGDB treatments than control. The abundance of ammonia-oxidizing archaea (AOA) and ammonia-oxidizing bacterial (AOB) in T2 and T4 treatments was higher than other treatments. There were no significant differences at 20~40 cm depth for microbial community. The addition of 1.49 kg · m⁻² was a threshold value for improving soil bacterial and functional gene abundance. The effects of FGDB on soil microbial community were more effective in top soil than deeper depth.

Key words: flue gas desulphurization by-products; saline-soil; bacteria; ammonia oxidizing bacteria; ammonia oxidizing archaea