

文章编号: 1003-8701(2015)01-0041-04

高磷土壤不同施磷量对玉米 生长发育及产量的影响

彭涛涛¹, 边少锋^{2*}, 张丽华², 孙 宁², 闫伟平²,
谭国波², 赵洪祥^{2*}, 封 云³, 浦桂君⁴

(1. 吉林大学植物科学学院, 长春 130062; 2. 吉林省农业科学院, 长春 130033;
3. 吉林省东辽县农业技术推广总站, 吉林 辽源 136600; 4. 吉林省东辽县农民科技教育中心, 吉林 辽源 136600)

摘 要: 本试验采用随机区组设计, 探讨高磷土壤不同施磷量对玉米生长发育及产量的影响, 结果表明, 施常量磷肥处理的 LAI 显著高于不施磷肥处理; 拔节期, 施高量磷肥处理 SPAD 值显著高于不施磷肥处理; 吐丝期, 施常量磷肥处理的 SPAD 值显著高于不施磷肥和施高量磷肥处理; 施高量磷肥处理的百粒重和穗行数都显著高于不施磷肥处理; 而处理间地上干物质重和产量差异都不显著。

关键词: 玉米; 高磷土壤; 磷肥; 产量

中图分类号: S513

文献标识码: A

DOI: 10.16423/j.cnki.1003-8701.2015.01.010

Effect of Different Phosphate Fertilizer Application Amount on Growth and Grain Yield of Maize on High Phosphorus Soil

PENG Tao-tao¹, BIAN Shao-feng^{2*}, ZHANG Li-hua², SUN Ning², YAN Wei-ping²,
TAN Guo-bo², ZHAO Hong-xiang^{2*}, FENG Yun³, PU Gui-jun⁴

(1. College of Plant Science of Jilin University, Changchun 130062; 2. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033; 3. General Agricultural Technology Extension Station of Dongliao County, Jilin Province, Dongliao 136600; 4. Farmers' Science and Technology Education Center of Dongliao County, Jilin Province, Dongliao 136600, China)

Abstract: Adopted random block design, effect of different phosphate fertilizer application amount on growth and grain yield of maize was studied on high phosphorus soil condition. The results showed leaf area index of normal phosphate fertilizer application amount was significantly higher than no phosphate fertilizer application. In jointing stage, SPAD of high phosphate fertilizer application amount was significantly higher than no phosphate fertilizer application. In silking stage, SPAD of normal phosphate fertilizer application amount was significantly higher than no phosphate fertilizer application and high phosphate fertilizer application amount. Rows per ear and 100-kernels weight of high phosphate fertilizer application amount were significantly higher than no phosphate fertilizer application. Dry matter accumulation and grain yield of each treatment had no obvious difference.

Keywords: Maize; High phosphorus soil; Phosphorus fertilizer; Yield

磷是作物生长发育所必需的大量元素之一, 施磷肥可以提高作物的产量, 同时也可改善农产品的

品质^[1-2]。随着磷肥的投入, 土壤供磷能力有了很大的提高, 而土壤中的磷含量高, 也对农业生态环境有负效应^[3-4]。目前, 有研究表明, 高磷土壤施用磷肥对增产效果影响不显著^[5-6], 而研究高磷土壤不同施磷量对玉米生长发育及产量的影响较少, 本试验通过不同磷肥施用量处理, 分析高磷土壤不同施磷量对玉米生长发育及产量的影响, 为玉米栽培提供参考。

收稿日期: 2014-08-06

基金项目: “863 计划”课题(2011AA100504); 粮食丰产科技工程项目(2012BAD04B02)

作者简介: 彭涛涛(1987-), 男, 在读硕士, 主要从事玉米旱作节水方向研究。

通讯作者: 边少锋, 男, 研究员, E-mail: bsf8257888@sina.com

赵洪祥, 男, 副研究员, E-mail: zhaohongxiang1973@163.com

1 材料与方 法

1.1 试验材料与设 计

试验于2012年在吉林省农业科学院公主岭院区试验田进行,选取玉米先玉335为试验材料,设置0 kg/hm²、75 kg/hm²和150 kg/hm²(标记P0、P1、P2)3个磷肥水平。正常施肥量为N-180 kg/hm²、P₂O₅-75 kg/hm²和K₂O-90 kg/hm²,磷、钾播种时施入,氮肥播种时施入总量的1/3,大喇叭口期追施氮总量的2/3。行长6 m,行距0.6 m,8行区,3次重复,随机区组。试验地为黑钙土,播前0~30 cm耕层有机质含量为3.05%,水解性氮含量为128.74 mg/kg,有效磷含量为36.23 mg/kg,速效钾含量为114 mg/kg,pH值为6.18。玉米全生育期,按照高产田水平管理。

1.2 调查指标及方法

1.2.1 冠层特性的测定

在玉米吐丝期,采用SunScan植物冠层仪测量冠层底部的光合有效辐射、漫射系数、叶面积指数。

1.2.2 光合特性指标的测定

叶绿素含量:在田间采用CCM-200叶绿素仪测定;光合速率:在田间采用Lcpro⁺型光合测定系统测定;气孔导度:在田间采用Lcpro⁺型光合测定系统测定。

1.2.3 干物质重及全磷的测定

取植株地上部分,分解后在105℃杀青,80℃烘干至恒重,然后测定干重。将子粒粉碎后,采用钒钼黄吸光光度法测定全磷含量^[5]。

1.2.4 子粒灌浆速率的测定

吐丝后选取生长一致的植株统一标记,自吐丝15 d开始,每10 d每小区选取3个样穗,105℃杀青2 h,80℃烘干至恒重,取上中部子粒200粒,称干重。使用Logistic方程 $y=A/(1+Be^{-x})$ 对玉米灌浆速率特性进行模拟,参数d=1,根据公式计算灌浆速率^[8-11]:灌浆速率最大时的日期 $T_{max}=(\ln b-\ln d)/c$;灌浆速率最大时的生长量 $W_{max}=a(d+1)^{-1/d}$;最大灌浆速率 $G_{max}=(cW_{max}/d)[1-(W_{max}/a)^d]$;积累起始势 $R_0=c/d$;灌浆活跃期(完成总积累量的90%) $D=2(d+2)/c$;平均灌浆速率 $((g/1000粒)/d)=(收获期取样千粒重-首次取样千粒重)/灌浆天数$ 。

1.2.5 测产及考种

于子粒完熟期,调查株数、穗数、空秆数等指标,并进行测产。每个小区选取均匀10穗,风干后考种。调查有效穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、

行粒数、百粒重,用谷物水分测定仪测定子粒含水量,计算含水量为14%的公顷产量。

1.2.6 土壤有效磷的测定

有效磷测定:NaHCO₃浸提-钒钼黄吸光光度法^[5]。

1.2.7 玉米磷累积量

磷素累积量(kg/hm²)=收获期地上部干物质×含磷率

1.2.8 数据分析

采用EXCEL 2003、SPSS等软件对数据进行分析。

2 结果与分 析

2.1 不同施磷量对玉米冠层的影响

表1 不同施磷量条件下玉米底部冠层特性的比较

处理	光合有效辐射(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	漫射系数	叶面积指数
P0	1072.57a	0.35a	4.16b
P1	1101.28a	0.30a	4.67a
P2	1248.49a	0.33a	4.25ab

注:同一列不同字母代表不同处理间的差异显著水平(P<0.05),下同

叶面积指数(LAI)是单位土地面积上的叶面积,是反映作物群体大小的一项重要指标。对不同处理进行方差分析。结果表明,3个试验处理的光合有效辐射和漫反射系数无显著差异;LAI:P1>P2>P0,P0与P1有显著差异,表明施常量磷肥处理显著高于不施磷肥,施常量磷肥有助于提高玉米叶面积指数;施常量磷肥处理和施高量磷肥处理差异不显著,表明施高量磷肥对提高玉米叶面积指数LAI的作用不显著,并有下降趋势。

2.2 不同施磷量对玉米叶绿素含量的影响

表2 不同施磷量条件下叶绿素(SPAD)值的比较

处理	拔节期	吐丝期
P0	34.57b	52.77b
P1	41.17ab	63.37a
P2	49.90a	54.87b

叶绿素含量是反映叶片生理活动的重要标志之一,其含量直接影响着叶片对光能的吸收和转化,也和光合作用密切相关。对拔节期和吐丝期的叶绿素含量进行比较(表2)。结果表明,不同处理吐丝期叶绿素含量均高于拔节期的叶绿素含

量;拔节期,P2和P0间有显著差异,且施高量磷肥SPAD值高于不施磷肥处理;吐丝期,P1与P0和P2有显著差异,P2与P0间差异不显著,P1>P2>P0。表明玉米通过自身调节,叶绿素含量发生明显变化,适宜的磷肥施用量有利于提高SPAD值。

2.3 不同施磷量对玉米光合特性的影响

表3 不同施磷量条件下玉米光合因素的比较

处理	蒸腾速率 (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	CO ₂ 气孔导度 (mol·m ⁻² ·s ⁻¹)	光合速率 (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
P0	6.40a	0.53a	40.50a
P1	6.83a	0.60a	47.16a
P2	7.94a	1.10a	51.51a

光合作用是作物干物质积累的基础,而蒸腾

速率、气孔导度和光合速率能够反映光合能力的强弱,本试验对不同磷肥施用量下玉米光合因素进行了比较(表3)。结果表明,3个处理间的蒸腾速率、气孔导度和光合速率差异不显著,以上结果表明,高磷土壤不同磷肥施用量对玉米光合特性的影响不显著。

2.4 不同施磷量对玉米地上部干物质重的影响

干物质积累量是多个因素共同作用的结果,施用磷肥量也会对地上部干物质产生重要影响。表4为不同磷肥施用量对玉米地上部干物质重影响的分析,结果表明,3个处理间在不同时期地上部干物质积累量均表现为差异不显著,说明土壤中磷含量过高对处理产生很大影响。3个处理一致表明吐丝期30 d之前地上部干物质积累速度较快,并且吐丝期后30 d已完成干物质积累的80%以上。

表4 不同施磷量条件下玉米地上部干物质重的比较

g

处理	拔节期	吐丝期	吐丝后15 d	吐丝后30 d	吐丝后45 d	成熟期
P0	14.57a	115.44a	212.48a	308.27a	352.17a	375.71a
P1	11.80a	114.65a	205.59a	328.89a	351.53a	379.28a
P2	13.97a	110.78a	216.64a	331.16a	353.86a	369.06a

2.5 不同施磷量对玉米子粒磷含量的影响

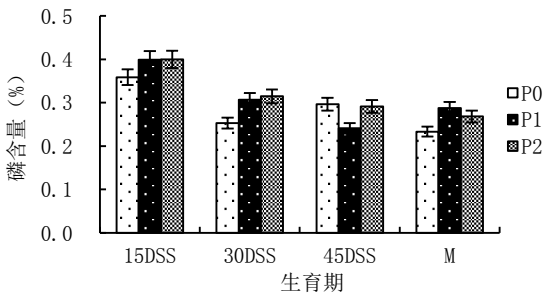


图1 不同施磷量下玉米子粒磷含量的比较

15DSS=吐丝期后15 d,30DSS=吐丝期后30 d,
45DSS=吐丝期后45 d,M=成熟期

子粒作为光合作用合成的有机物流向的重要“库”,子粒中磷含量多少在某种程度上反映有机物质的转移量。从图1可以看出,不同处理子粒中磷含量P2>P1>P0,表明磷肥施用量对子粒产生重要影响;吐丝后15 d,子粒中磷含量相对其他时期磷含量较高;施磷肥处理子粒磷含量均高于不施磷肥处理。以上结果表明,施用磷肥有利于子粒中磷含量增加,高量磷肥对子粒中磷含量的增

加作用不明显。

2.6 不同施磷量对玉米产量及构成的影响

对不同磷肥施用量条件下玉米产量及构成进行比较(表5)。结果表明,不施磷肥处理的有效穗长和施磷肥处理间有显著差异,不施磷肥处理的穗行数和施高量磷肥间有显著差异,不施磷肥处理的百粒重和施高量磷肥处理间有显著差异,其他指标差异不显著。以上结果表明,施磷肥对提高玉米的有效穗长、穗粗有显著效果,施高量磷肥对提高玉米子粒重有显著效果。

2.7 不同施磷量对玉米灌浆速率的影响

子粒的起始生长势R₀反映了受精子房的生长潜势与子粒生长初期的生长速率有密切关系^[8]。从表6可以看出,起始势R₀、最大灌浆速率G_{max}和灌浆平均速率G_{mean}三个指标表现一致性;最大灌浆速率出现在吐丝后30 d左右,活跃灌浆期大约为49 d。施高量磷肥有利于延长活跃天数,提高平均灌浆速率;适宜的磷肥施用量有利于提高起始势,增大最大灌浆速率。

表 5 不同施磷量条件下玉米产量及构成的比较

处理	有效穗长 (cm)	穗粗 (cm)	穗行数	行粒数	秃尖长 (cm)	百粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
P0	15.98b	4.85a	15.2b	35.66a	2.18a	33.8b	12284.29a
P1	16.35a	4.87a	15.73ab	35.63a	1.97a	36.25ab	12325.19a
P2	16.05a	4.87a	16a	37.4a	1.93a	36.38a	12940.27a

表 6 不同施磷量条件下玉米灌浆参数的比较

处理	灌浆曲线方程	起始势 (R ₀)	最大灌浆速率时间 (T _{max})	活跃灌浆期 (D)	最大灌浆速率 (G _{max})	平均灌浆速率 (G _{mean})
P0	$y=337.0288/(1+37.7043e^{-0.1244x})$	0.1244	29.2723	48.225	10.4826	5.729
P1	$y=335.1435/(1+39.3522e^{-0.1273x})$	0.1273	29.5181	47.140	10.6453	5.685
P2	$y=351.0347/(1+32.5464e^{-0.1136x})$	0.1136	30.6519	52.808	9.9711	5.913

2.8 不同施磷量对玉米磷素积累量的影响

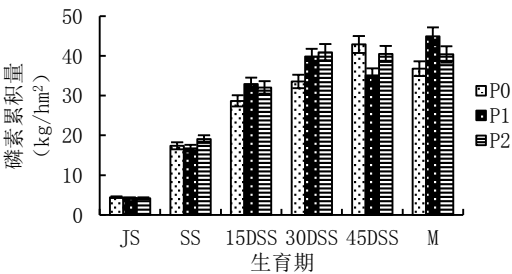


图 2 不同施磷量条件下磷素积累量的比较
JS=拔节期,SS=吐丝期,15DSS=吐丝后 15 d,
30DSS=吐丝后 30 d,45DSS=吐丝后 45 d,M=成熟期

对不同施磷量条件下磷素积累量进行了比较 (图 2)。结果表明,随着生育期的推进积累量有不断增加的趋势,收获期达到最大;吐丝期到吐丝后 30 d,这段时间段内磷素积累量变化较快;施高量磷肥处理的磷素积累量高于其他处理的磷素积累量。

3 讨 论

磷是植物生长发育所必需的大量营养元素之一,在植物生长过程中起着重要作用^[12-15]。通过相关关系分析,施常量磷肥处理的 LAI 显著高于不施磷肥处理;拔节期施高量磷肥处理 SPAD 值显著高于不施磷肥处理;吐丝期施常量磷肥处理的 SPAD 值显著高于不施磷肥和施高量磷肥处理;施高量磷肥处理的百粒重和穗行数都显著高于不施磷肥处理;而处理间玉米光合因素、地上干物质重和产量都差异不显著。

土壤有效磷含量多少对作物生长、光合产物积累以及磷在植物体内分配有一定影响,施磷肥提高了玉米产量和光合生产率,延长了灌浆期群体的光合速率高值持续期,提高了玉米高产潜力^[14]。但从本试验角度来看,播种前有效磷含量一致,播前 0~30 cm 耕层有效磷含量大于 30 mg/kg,此含量在酸性土壤上属于高含量;收获后,3 个处理的土壤有效磷含量分别为 35.91 mg/kg (P0)、63.04 mg/kg (P1) 和 86.88 mg/kg (P2),P2>P1>P0,且 P0 的有效磷含量低于播前土壤中的有效磷含量;收获后,施常量磷肥和施高量磷肥处理的土壤有效磷含量均高于播前。土壤中有有效磷含量高,满足当季玉米生长发育所需磷素量,玉米生育期内吸收利用当季所施磷肥有限,大量磷留在土壤中。pH 在 6.5~7.5,磷有效性较高;小于 6.5 时,易形成磷酸铁、磷酸铝,有效性降低^[16],但是这些磷在某些条件下会转化为能够被玉米或其他植物吸收的形式,以备玉米或植物吸收,供其生长发育。

李孝良等的研究结果表明,高磷土壤施用磷肥可提高土壤有效磷含量,改善小麦的磷素营养状况,但对小麦产量无明显作用^[6]。而梁林洲等采用土培方式,在高磷 (Olsen-P 为 117 mg/kg 土) 条件下探讨高磷土壤施用磷肥的影响,结果表明,施用 400 mg/kg 处理磷肥对小白菜有显著增产效果^[5]。

本试验研究结果表明,高磷土壤施用磷肥对产量影响不显著。从提高经济收益和保持土壤供磷能力的角度,土壤中有有效磷含量较高时,可以适当少施用一定量磷肥,能使土壤中磷含量在一定范围内,避免耗竭,同时也可避免(下转第 50 页)

- microbial biomass carbon as an indicator of long-term environment change[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003(35): 401-407.
- [38] Manna M C, Swarup A, Wanjari R H, et al. Long-term effect of fertilizer application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustain ability under sub-humid and semi-arid tropical India[J]. *Field Crops Research*, 2005(93): 264-280.
- [39] Wander M M, Yun W, Goldstein W A. Organic N and particulate organic matter fraction in organic and conventional farming systems with a history of manure application[J]. *Plant and Soil*, 2007(291): 311-321.
- [40] Malhi S S, Harapiak J T, Noyborg M, et al. Total and light fraction organic C in a thick black Chernozemic grass and soil as affected by 27 annual applications of six rates of fertilizer[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003(66): 33-41.
- [41] 李辉信,袁颖红,黄欠如,等.长期施肥对红壤性水稻土团聚体活性有机碳的影响[J]. *土壤学报*, 2008,45(2):259-266.
- [42] 佟小刚,徐明岗,张文菊,等.长期施肥对红壤和潮土颗粒有机碳含量与分布的影响[J]. *中国农业科学*, 2008,41(11):3664-3671.
- [43] 张继光,秦江涛,要文倩,等.长期施肥对红壤旱地土壤活性有机碳和酶活性的影响[J]. *土壤*, 2010,43(3):364-371.
- [44] 尹云锋,蔡祖聪,钦绳武.长期施肥条件下潮土不同组分有机质的动态研究[J]. *应用生态学报*, 2005,16(5):875-878.
- [45] Smolander A, Kitunen V. Soil microbial activities and characteristics of dissolved organic and Nin relation to tree species[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002(34): 651-660.
- [46] Marschner B, Kalbitz K. Controls of Bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soil[J]. *Geoderma*, 2003(113):211-235.
- [47] Janzen H H. Carbon cycling in earth system—a soil science perspective[J]. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2004(104): 399-417.
- [48] Leifeld, Kogel-Knabner. Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use[J]. *Geoderma*, 2005(124): 143-155.
- [49] Ikeya K, Yamamoto S, Watanabe A. Semi-quantitative GC/MS analysis of thermo chemolysis products of soil humic acids with various degrees of humification[J]. *Organic Geochemistry*, 2004(35): 583-594.
- [50] 闫娥,孙文凤.土壤腐殖质的分析化学研究现状[J]. *青海大学学报(自然科学版)*, 2000,18(5):17-18,22.
- [51] Keeler C, Kelly E F, Maciel G E. Chemical-structural information from solid-state ^{13}C NMR studies of a suite of humic materials from a lower montane forest soil, Colorado, USA[J]. *Geoderma*, 2006(130): 124-140.
- [52] Spaccini R, Mbagwu J S C, Conte P, et al. Change of humic substances characteristics from forested to cultivated soils in Ethiopia[J]. *Geoderma*, 2006(132): 9-19.
- [53] Zhou P, Pan G X, Spaccini R, et al. Soil organic carbon dynamics under long-term fertilizations in arable land of northern China[J]. *Biogeosciences*, 2010(7): 409-425.
- [54] 高忠霞,周建斌,王祥,等.不同培肥处理对土壤溶解性有机碳含量及特性的影响[J]. *土壤学报*, 2010,47(1):115-121.
- [55] 龚伟,颜晓元,王景燕,等.长期施肥对小麦-玉米作物系统土壤腐殖质组分碳和氮的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009,15(6):1245-1252.
- [56] 张奇春,王光火.施用化肥对土壤腐殖质结构特征的影响[J]. *土壤学报*, 2006,43(4):617-623.

(上接第44页)对下季作物产量产生严重影响。从保护环境角度来说,也不能大量施用磷肥,一方面是浪费磷肥资源,增加种植成本;另一方面,易造成水体富营养等一系列的环境问题。

参考文献:

- [1] 孟佳佳,董树亭,张吉旺,等.玉米不同部位子粒灌浆特性与粒重的关系研究[J]. *玉米科学*, 2013,21(4):42-47,54.
- [2] 彭正萍,张家铜,袁硕,等.不同供磷水平对玉米干物质和磷动态积累及分配的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009(4):793-798.
- [3] 戴照福,王继增,程炯.土壤磷素非点源污染及其对环境影响的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2006(S1):323-327.
- [4] Darilek J L, Huang B, Wang Z, et al. Changes in soil fertility parameters and the environmental effects in a rapidly developing region of China[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2009, 129(1): 286-292.
- [5] 梁林洲,沈仁芳,伊晓云,等.高磷土壤施用磷肥对小白菜和苋菜产量及肥料利用率的影响[J]. *江苏农业学报*, 2010(1):70-74.
- [6] 李孝良,叶诗瑛.高磷土壤磷肥施用效果研究[J]. *安徽技术师范学院学报*, 2002(4):37-39.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [8] 朱庆森,曹显祖,骆亦其.水稻子粒灌浆的生长分析[J]. *作物学报*, 1988,9(3):182-192.
- [9] 杨锦忠,张洪生,杜天庆,等.玉米果穗生长特征的量纲分析[J]. *玉米科学*, 2013,21(4):148-152.
- [10] 王育红,张园,王向阳,等.不同生态型夏玉米灌浆参数的模糊聚类分析[J]. *玉米科学*, 2010(1):77-81.
- [11] 刘明,齐华,张卫健,等.深松与施氮方式对春玉米子粒灌浆及产量和品质的影响[J]. *玉米科学*, 2013(3):115-119,130.
- [12] 邢月华,汪仁,包红静,等.不同磷肥用量对玉米产量·效益及养分吸收的影响[J]. *安徽农业科学*, 2011(32):19834-19835,19923.
- [13] 李银水,鲁剑巍,廖星,等.磷肥用量对油菜产量及磷素利用效率的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2011(1):52-56.
- [14] 陈钢,吴礼树,李煜华,等.不同供磷水平对西瓜产量和品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007(6):1189-1192.
- [15] 程明芳,何萍,金继运.我国主要作物磷肥利用率的研究进展[J]. *作物杂志*, 2010(1):12-14.
- [16] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000.