

磷肥不同施用方式对土壤速效磷及春玉米磷素吸收和产量的影响

耿玉辉, 曹国军, 叶青, 其其格, 武鹏, 张鹰
(吉林农业大学 资源环境学院, 吉林 长春 130118)

摘要:通过田间小区试验的方法研究了磷肥不同施用方式下,土壤速效磷含量变化、超高产春玉米磷素吸收规律以及产量的变化.结果表明,土壤速效磷含量随施磷量的增加呈增加的趋势,苗期不同处理间差异显著,至蜡熟期差异逐渐减小.施用磷肥提高了春玉米植株对磷素的吸收量,在磷肥总量相同的条件下,不同基肥、追肥比例春玉米磷素吸收量有所不同.春玉米产量与磷肥施用量呈典型抛物线关系,一定范围内随施磷量增加春玉米产量呈增加的趋势,过量施用磷肥导致减产.

关键词:土壤速效磷; 春玉米; 磷素吸收; 产量
中图分类号:S513.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2013)04-0470-05

Effects of Different Phosphorus Applications on Soil Available Phosphorus, Phosphorus Absorption and Yield of Spring Maize

GENG Yuhui, CAO Guojun, YE Qing, QI Qige, WU Peng, ZHANG Ying
(College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract:Field experiment was carried out to study the effects of different phosphorus applications on soil available phosphorus and phosphorus absorption of spring maize. The results showed that the content of soil available phosphorus increased with the application of phosphorus, and each treatment was significantly different in seedling, and it tended to be the same when mature. The phosphorus absorption in plant increased with the application of phosphorus, and the phosphorus absorption was different with different ratio between basal fertilizer and top application. The production increased with the application of phosphorus within a certain limit and decreased beyond some extent.

Key words:soil available phosphorus; spring maize; phosphorus absorption; yield

磷素是植物生长发育的必需营养元素之一,不仅是生物体内许多重要化合物的组分,而且还以多种途径参与植物体内的各种代谢过程.玉米 *Zea mays* 是典型的对磷敏感的作物,由于生产中的盲目施肥以及各地土壤磷含量存在较大差异,常会发生施磷过量或不足的情况.目前有关施磷对土壤养分变化及玉米磷素吸收的影响报道较多,王生录等^[1]认为增施磷肥对提高土壤速效磷具有重要作用.谢

林花等^[2]认为长期单施化肥可增加土壤全磷、无机磷和速效磷含量.在施磷对玉米磷素吸收影响的研究上,有研究认为磷肥深施不但提高了玉米中后期对磷素的吸收量,而且提高了玉米中磷素的积累速率^[3].而林国林等^[4]研究认为,当土壤含磷量较高时,磷肥施用与玉米吸磷量无显著相关性.虽然关于磷肥研究较多,但很少把磷肥的不同用量、不同施用时期、不同分配比例对作物产量及其构成因子和土

壤养分动态变化的研究联系起来,从作物生长的动态过程揭示磷不同处理引起作物产量变化的原因.而磷肥不同施用方式对土壤中速效磷含量影响必然有所不同,土壤中速效磷含量的不同又会直接影响玉米植株对磷素的吸收,最终导致产量的不同.本研究在氮、钾肥合理配施的基础上,通过设置不同施磷量、不同追磷时期以及不同施磷比例,研究磷肥不同施用方式对土壤速效磷含量以及超高产春玉米磷素吸收规律的影响.旨在为超高产春玉米合理施肥、提高玉米产量提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 材料

试验在吉林省桦甸市金沙乡超高产试验田进行.供试土壤为冲积土,土壤基础肥力:碱解氮 133.8 mg/kg;速效磷 26.9 mg/kg;速效钾 75.1mg/kg;有机

质 8.8 g/kg. 供试玉米品种为先玉 335,种植密度为 8.5 万株/hm². 供试肥料氮肥为尿素[*w*(N)46%];磷肥为二铵[*w*(N)18%、*w*(P₂O₅)46%];钾肥为氯化钾[*w*(K₂O)60%].

1.2 试验方法

磷肥试验设 13 个处理(表 1),对照为无肥处理,每个处理 3 次重复,共 39 个试验小区,每个小区 10 垄,垄长为 6 m,小区面积 36 m²,随机区组排列,小区间留 1 m 过道,占地面积共约 3 402 m².4 月 29 日播种,5 月 31 日间苗,9 月 25 日收获.其他管理同一般生产.

各处理均施 N 360 kg/hm²,氮肥中基肥占总施氮量的 30%,种肥或苗期追肥占总施氮量的 10%,拔节期追肥占总施氮量 25%,抽雄期追肥占总施氮量的 35%.各处理均施 K₂O 150 kg/hm²,总钾量的 90%作基肥、10%作苗期追肥.

表 1 不同处理的磷肥施用量、施用时期和比例
Tab.1 The phosphorus application rate, period and proportion in different treatments

处理	P ₂ O ₅ / (kg·hm ⁻²)	基肥占比 ¹⁾ /%	种肥或苗期 追肥占比 ¹⁾ /%	追肥占比 ¹⁾ /%		
				拔节期	喇叭口期	抽雄期
P0	0	0	0	0	0	0
P1	75	90	10	0	0	0
P2	150	90	10	0	0	0
P3	225	90	10	0	0	0
P4	300	90	10	0	0	0
P5	150	60	10	30	0	0
P6	150	60	10	0	30	0
P7	150	60	10	0	0	30
P8	150	30	10	60	0	0
P9	150	30	10	0	60	0
P10	150	30	10	0	0	60
P11	150	30	10	30	30	0
P12	150	30	10	0	30	30

1) 指占总养分(P₂O₅)的比例.

所有处理均在玉米不同生育期(苗期、拔节期、喇叭口期、抽雄期、灌浆期、乳熟期、蜡熟期和完熟期)进行田间观测和样品采集,各处理选取有代表性的玉米 3~5 株(苗期 30 株),以及 0~20 cm 耕层土样,分别测定植株磷含量和土样中的速效磷含量.

1.3 测试项目和方法

播种前取 0~20 cm 耕层供试土壤进行养分分析,按常规法测定^[5].有机质的测定采用重铬酸钾容量法-外加热法;碱解氮的测定采用碱解扩散法;速效磷的测定采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 法;速效钾的测定采用 NH₄OAc 浸提,火焰光度法.植株全磷的测定采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-火焰光度计法.土样速效

磷的测定采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 法.

1.4 数据处理与统计分析

采用 Excel、DPS 等软件进行数据处理、统计和分析.

2 结果与讨论

2.1 磷肥不同施用方式对土壤速效磷含量的影响

图 1a 可以看出,在整个玉米生育时期,各个处理(除 P4 外)土壤速效磷含量整体都呈现从苗期到拔节期升高,拔节期以后逐渐降低,至蜡熟期达到最低这样的变化趋势.这与苗期土壤温度较低,影响了

速效磷释放有很大关系,拔节期以后随着气温逐渐升高,土壤中的磷逐渐释放,速效磷含量增加,但拔节期以后,随着玉米的生长,对磷的吸收量逐渐增多,又导致了土壤中速效磷开始逐渐下降.各处理之间相比,施用磷肥处理在苗期土壤速效磷含量随施磷量的增加而增加,说明施用磷肥可以在短期内显著提高土壤速效磷的含量.统计分析表明,P1 处理与不施磷处理差异达到显著水平,其他各施磷处理与不施磷处理之间差异达到极显著水平.刘建玲等^[6]也得出类似的研究结果.拔节期至蜡熟期各处理土

壤速效磷含量都出现下降趋势,说明此期间植株吸收磷素较多,但各处理之间差异仍然达到显著水平.此后土壤速效磷含量平稳且略有回升.这可能与玉米植株后期吸收磷素减少、磷素有一定外排有关.此外,虽然一开始各处理由于施肥导致土壤速效磷含量有所不同,但最后都基本趋于一致,而不施磷处理相对施磷肥处理却相对较高,这可能是因为不施磷肥导致植株生长减弱,吸磷量降低,最后相比施磷肥处理土壤残留速效磷反而较高.统计分析显示,不施磷与施磷处理差异达到显著水平.

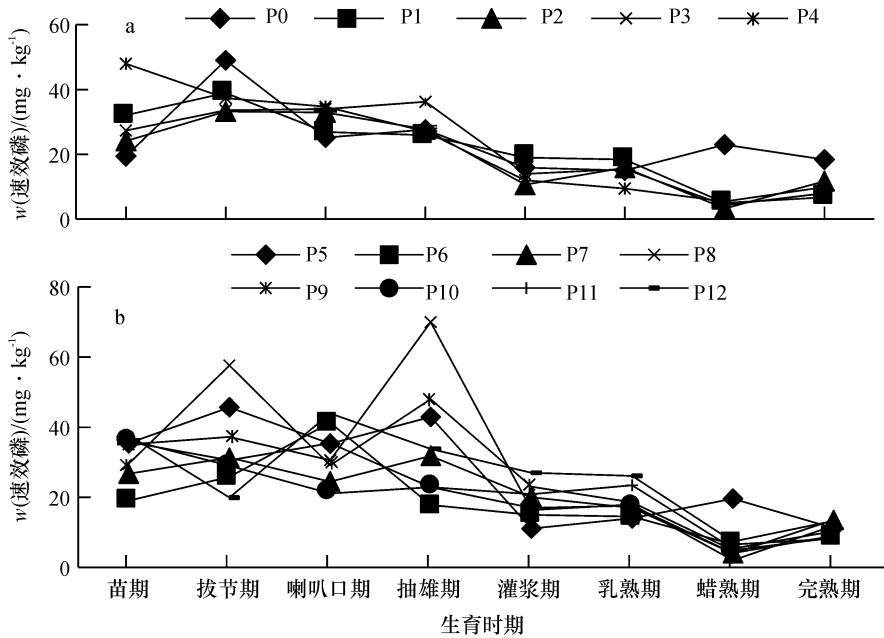


图 1 磷素不同施用量(a)和不同施用方式(b)对土壤速效磷含量的影响

Fig. 1 Effects of the different phosphorus application rates (a) and ways (b) on soil available phosphorus contents

图 1b 可以看出,虽然各处理的施磷总量相同,但由于各时期施用比例不同,土壤速效磷含量有所不同.由于磷肥基肥施用量不同,在苗期土壤速效磷含量呈现较大差异,这主要是因为苗期植株对磷素吸收量较小,土壤速效磷含量主要与施磷量多少有关,所以磷肥基肥比例高的处理苗期土壤速效磷含量相对较高.但统计分析表明,苗期各处理之间差异并不显著.后期由于追肥时期比例的不同,不同处理土壤速效磷含量差别较大.P5、P11、P12 处理在苗期速效磷都明显高于其他几个处理,但拔节期至灌浆期则都呈现明显降低趋势,乳熟期至成熟期呈平稳趋势,P8、P9、P10 处理在玉米整个生育期间土壤速效磷含量先呈现一个上升的波峰,随后平稳下降,完熟期各处理土壤速效磷含量都趋于相同.各处理在灌浆期之前差异显著,至完熟期差异不显著.

2.2 磷肥不同施用方式对超高产春玉米磷素吸收、积累规律的影响

在不同磷肥处理(P1~P12)之下,春玉米植株磷

吸收规律表现出相似的变化(图 2),苗期吸收量少,占总吸收量的 0.27%~0.94%,苗期虽吸收量少,但植株含磷量很高,因而此时期是玉米需磷的敏感期.苗期缺磷,不仅抑制了营养器官的生长,还会影响以后的雌穗分化^[7].拔节期后植株对磷素的吸收显著增加,至喇叭口期出现春玉米吸收磷素的第 1 个高峰,平均日吸收磷量为 0.68~1.92 kg/hm²,占总吸收量的 14.9%~24.02%;至抽雄期吸收量有所下降;至灌浆期吸收量又开始增加,出现磷素吸收的第 2 个高峰期,平均日磷吸收量为 1.00~4.14 kg/hm²,占总吸收量的 18.87%~24.62%;灌浆期后磷吸收量呈下降趋势.综上所述,春玉米在抽雄期之后,磷素的吸收量占总吸收量 50% 左右,因此在春玉米生育后期,必须保证足够的磷素供给.

研究认为,施用磷肥可以促进玉米对氮、磷、钾养分的吸收^[8-9].本研究中,在不同磷肥施用量条件下(P1~P4),春玉米植株磷吸收量随着施磷量增加而增加,统计分析显示,苗期各施磷处理较不施磷处

理差异达到显著水平,各施磷处理之间差异不显著.当施磷量超过一定阈值时,植株磷吸收量反而下降,其中 P2 处理对植株吸收磷量的影响最大,平均日吸收量在抽雄期达到 3.96 kg/hm².与对照(P0)相比,其他处理的吸磷量均有提高,在一定施磷范围内,各处理对春玉米植株吸磷量的影响表现为 P2 > P3 > P4 > P1 > P0(图 2a).彭正萍等^[10]研究也得出类似结论.统计分析显示在灌浆期之前,各处理除了 P3 和 P4 处理之间差异不显著外,其他各处理之间都达到差异显著($P < 0.05$).而乳熟期开始到完熟期,各施磷处理均与不施磷处理差异显著($P < 0.05$),各处理之间差异不显著.

图 2b 是在施磷总量固定,不同施磷时期和不同分配比例条件下玉米磷素吸收情况.在抽雄期

之前,各处理对植株吸磷量的影响表现为 $P7 > P10 > P11 > P12 \approx P5$,但各处理之间差异不显著.到灌浆期,各处理对植株吸磷量的影响表现为 $P10 > P11 > P12 > P7 \approx P5$,P10 处理与 P7、P9、P11、P12 差异不显著,与 P6、P5、P8 差异显著($P < 0.05$).P10 处理为磷肥作基肥、种肥和抽雄期追肥施用,分配比例为基肥占 30%、种肥占 10%、抽雄期一次重施 60%.表明磷肥在春玉米生育后期作追肥施用能提高植株对磷素的吸收利用.本试验结果表明,磷肥(P₂O₅)施用量为 150 kg/hm²时,作基肥(占 90%)一次重施,植株对磷的吸收利用效率最高.磷肥若作为追肥施用,在抽雄期一次性重施(施用量为 30%~60%)对植株吸收利用磷效率最高.

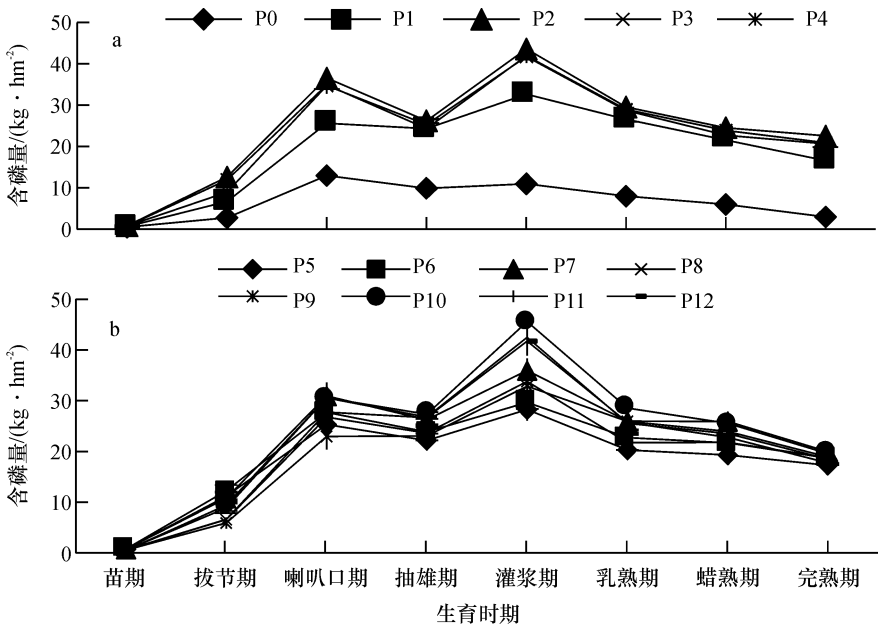


图 2 磷素不同施用量(a)和不同施用方式(b)对春玉米磷素吸收的影响
Fig. 2 Effects of the different phosphorus application rates (a) and ways (b) on P uptake of spring maize

2.3 磷肥不同施用方式对春玉米产量的影响

大量研究证明磷肥可以增加作物的产量^[11-14].从表 2 也可以看出,在一定施磷量范围内,春玉米产量随着施磷量的增加而增加,但当施磷量达到一定值后,再继续增加施肥量,产量反而开始下降.磷肥过量导致减产的原因很多,如施用过多磷肥造成土壤中养分失衡,进而导致玉米营养失调,最终导致减产;过量磷肥往往导致其他营养元素的有效性降低,如磷过量造成锌、钼等营养元素缺乏,最终导致减产;磷肥过多还会促使作物呼吸作用过于旺盛,消耗的干物质大于积累的干物质,造成繁殖器官提前发育,引起作物过早成熟,籽粒小,产量低.本研究中施磷处理比不施磷处理(P0)增产幅度 P1 为 10.13%、

P2 为 21.79%、P3 为 15.64%、P4 为 9.16%,与不施磷相比差异都达到显著水平($P < 0.05$).P2 处理产量最高为 15 613.6 kg/hm²,P2 与 P1、P4 处理差异极显著($P < 0.01$),与 P3 处理差异显著($P < 0.05$).各处理产量的高低顺序为 $P2 > P3 > P1 > P4 > P0$.王宜伦等^[15]研究认为,土壤含磷量较低时,施用磷肥才有增产效果.本试验结果也表明,并不是磷肥施用量越多产量越高.在本试验条件下,P2 处理产量最高,与其他处理都差异显著.

在总施磷量固定的前提下,春玉米产量随着磷肥施用时期和分配比例不同而有所不同,各处理与对照(P0)相比,其增产幅度 P2 为 21.79%、P5 为 6.41%、P6 为 12.05%、P7 为 12.68%、P8 为 12.65%、

P9 为 12.05%、P10 为 17.06%、P11 为 14.71%、P12 为 14.57%。其中 P2 处理产量最高,为 15 613.6 kg/hm²;P10 处理产量其次,为 15 006.7 kg/hm²。各处理产量的大小顺序为:P2>P10>P11>P12>P7>P8>P9>P6>P5。P2 处理产量最高,表明磷肥施用量为 150 kg/hm²,作基肥和种肥施用,分配比例为基肥占 90%、种肥占 10% 的处理最佳。磷肥若作追肥施用,在抽雄一次重施效果最好,即基肥占 30%、种肥占 10%、抽雄期追肥占 60%。

表 2 磷肥不同施用方式对春玉米产量的影响¹⁾
Tab.2 Effects of the different phosphorus applications on yield of spring maize

处理	产量/(kg·hm ⁻²)	处理	产量/(kg·hm ⁻²)
P0	1 281 9.8dC	P7	1 444 5.3bcAB
P1	1 412 2.5bcBC	P8	1 444 1.1bcAB
P2	1 561 3.6aA	P9	1 436 5.0bcAB
P3	1 482 5.2abAB	P10	1 500 6.7abAB
P4	1 399 4.1bcBC	P11	1 470 5.7abAB
P5	1 364 1.4cdBC	P12	1 468 8.2abAB
P6	1 436 4.0bcAB		

1)各处理间凡是有一个相同大、小写字母者,分别表示在 0.01、0.05 水平差异不显著(Duncan's 法)。

3 结论

土壤速效磷含量随磷肥施用量的增加而增加。不同施磷量土壤速效磷含量在玉米苗期差异最明显,至成熟期差异逐渐缩小。不同磷肥施用时期及比例对土壤速效磷含量影响表现为,不同处理随追肥时期不同呈现一个上升的波峰,随后平稳下降,至成熟期各处理土壤速效磷含量都趋于相同。

磷素营养对超高产春玉米磷素吸收规律的影响表现为:在一定范围内,施用磷肥能促进植株对磷素的吸收,但过量施磷则会导致吸收量的减少。磷肥在春玉米生育后期作追肥施用能提高对磷素的吸收利用。本试验结果表明,磷肥若作追肥施用,在抽雄期一次性重施(施用量为 30%~60%)对植株吸收利用磷的效率最高。

春玉米产量与磷肥施用量呈典型的抛物线关系,在适宜的施用量范围内,春玉米产量随施肥量增加而增加,当超过一定阈值时,产量反而下降。本试验条件下最高磷肥施用量(P₂O₅)为 150 kg/hm²。不同磷肥施用时期及分配比例对春玉米产量也有影响,本试验条件下,磷肥若作追肥施用,在抽雄一次重施效果最好,即基肥占 30%、种肥占 10%、抽雄期追肥占 60%。

参考文献:

[1] 王生录. 黄土高原旱地磷肥残效及利用率研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 71-75.

[2] 谢林花, 吕家珑. 长期施肥对石灰性土壤磷素肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(5): 787-789.

[3] 赵亚丽, 杨春收, 王群, 等. 磷肥施用深度对夏玉米产量和养分吸收的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(23): 4805-4813.

[4] 林国林, 云鹏, 陈磊, 等. 小麦季磷肥施用对后作玉米的效果及土壤中无机磷形态转化的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(3): 676-680.

[5] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 74-116.

[6] 刘建玲, 李仁岗, 张福锁, 等. 小麦-玉米轮作土壤中磷肥化学行为及积累态磷生物有效性的研究[J]. 植物营养与肥科学报, 1999, 5(1): 14-20.

[7] 张国辉, 谢佳贵, 王立春, 等. 依据土壤有效磷测定值推荐玉米磷肥最佳用量[J]. 吉林农业科学, 2008, 33(2): 25-28.

[8] 李建奇. 氮、磷营养对黄土高原旱地玉米产量、品质的影响机理研究[J]. 植物营养与肥科学报, 2008, 14(6): 1042-1047.

[9] 何萍, 金继运, 李文娟, 等. 施磷对高油玉米和普通玉米吸磷特性及品质的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(3): 538-543.

[10] 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]. 植物营养与肥科学报, 2009, 15(4): 793-798.

[11] ZHU Xinkai, LI Chunyun, JIANG Zongqing, et al. Responses of phosphorus use efficiency, grain yield, and quality to phosphorus application amount of weak-gluten wheat[J]. J Integr Agric, 2012, 11(7): 1103-1110

[12] REDDY D D, RAO A S, REDDY K S, et al. Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean-wheat system on vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus[J]. Field Crops Res, 1999, 62(2/3): 181-190

[13] SHEN J, LI R, ZHANG F, et al. Crop yields, soil fertility and phosphorus fractions in response to long-term fertilization under the rice monoculture system on a calcareous soil[J]. Field Crops Res, 2004, 86(2): 225-238

[14] LI Fengmin, SONG Qiuhua, LIU Hongsheng, et al. Effects of pre-sowing irrigation and phosphorus application on water use and yield of spring wheat under semi-arid conditions[J]. Agric Water Manage, 2001, 49(3): 173-183

[15] 王宜伦, 苗玉红, 谭金芳, 等. 豫北平原土壤养分与施肥状况探析[J]. 中国农学通报, 2008, 24(10): 296-299.

【责任编辑 周志红】