

# 活化钙镁磷肥的养分释放特点 及其对玉米生长的影响

王艳 鄢海印 刘可星 廖宗文

华南农业大学资源环境学院, 广州 510642

**摘要** 通过4种活化剂(WZ、SMS、MSN、FM)对钙镁磷肥进行促释处理,采用连续浸提、盆栽试验分别对活化钙镁磷肥的水溶性磷释放量、肥效及磷效率进行了研究。连续浸提结果表明:活化钙镁磷肥处理每次的水溶性磷释放量总体上高于钙镁磷肥,且释放均衡稳定;4种活化钙镁磷肥的累积磷释放量增幅达22.5%~51.8%。2茬盆栽试验表明:与钙镁磷肥相比,4种活化钙镁磷肥的玉米生物量均提高;植株吸磷量均高于过磷酸钙和钙镁磷肥处理,植株的叶绿素和镁含量也均比钙镁磷肥提高,同时活化钙镁磷肥处理的后效明显;与钙镁磷肥处理相比,活化钙镁磷肥的水溶性磷含量、生物量、吸磷量、土壤有效磷均有不同程度的提高,可提高磷肥利用率,第2茬效果优于第1茬,其中SMS促释钙镁磷肥的效果最好。

**关键词** 钙镁磷肥; 促释; 肥效; 磷效率; 玉米

**中图分类号** S 147.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)04-0479-05

磷作为植物生长发育的必需营养元素,而土壤缺磷和有效磷含量低是我国乃至世界农业生产中重要的限制因素之一。因此,提高磷肥的当季利用率是合理施用磷肥的前提,也是磷肥研究的重点。钙镁磷肥是我国低浓度磷肥的主要品种,在我国磷肥生产中占有十分重要的地位<sup>[1]</sup>。它可以利用低品位磷矿生产磷肥,不受我国磷矿品位低、硫资源短缺等因素的限制,是充分地利用磷矿资源的重要途径<sup>[2]</sup>。但由于钙镁磷肥属于枸溶性磷肥,存在着水溶性磷含量低、肥效慢的缺点,因此,目前钙镁磷肥的产销仍在一个较低的水平上徘徊<sup>[3]</sup>。近年来,许多学者利用促释技术对难溶性磷矿粉进行促释处理,促进其磷素的释放、增加水溶性磷的含量,促进作物增产,并在这方面取得了较好的效果<sup>[4-6]</sup>。但关于对钙镁磷肥进行活化处理,水溶性磷动态释放特征及磷效率的研究鲜见报道。本试验利用促释技术对钙镁磷肥进行活化处理,通过活化钙镁磷肥水溶性磷动态释放和玉米盆栽试验,分别对活化钙镁磷肥的养分释放特点、肥效及玉米植株磷素的利用率和对土壤有效磷的影响进行研究,旨在为高效低成本的活

化钙镁磷肥的开发和利用提供科学依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 供试材料

所用过磷酸钙(SP)的有效磷含量( $P_2O_5$ )为11.1%;钙镁磷肥(CMP)的有效磷含量( $P_2O_5$ )为14.6%。

4种活化材料WZ、SMS、MSN、FM,均来源于工业废弃物,为无毒有机物。MSN pH 9,其余3种活化材料的pH 3.5~5.5,所有活化材料中氮钾( $N+K_2O$ )含量 $<0.8\%$ ,均未检测到磷、镁、钙。

供试土壤采自广州市五山花岗岩发育的旱地赤红壤,全氮、全磷( $P_2O_5$ )、全钾( $K_2O$ )含量分别为0.40、1.29和1.12 g/kg,有效氮(N)、有效磷( $P_2O_5$ )、有效钾( $K_2O$ )含量分别为92.96、52.72和148.01 mg/kg。

供试玉米品种为会单1号。

### 1.2 活化钙镁磷肥的制备

分别将活化材料(5%)与钙镁磷肥(95%)混合,加入蒸馏水(10%)混匀,研磨2 min,风干,过0.25

收稿日期: 2010-09-21

基金项目: “十一·五”国家科技支撑计划项目(2006BAD10B03)、农业部公益性行业科研专项(200803031)和广东省教育部产学研结合项目(2009B090300201)

王艳, 硕士研究生, 研究方向: 固体废弃物农用资源化. E-mail: wangyandyx2008@yahoo.cn

通讯作者: 刘可星, 副教授, 研究方向: 固体废弃物农用资源化. E-mail: kxliu@scau.edu.cn

mm 孔径筛,备用。WZ、SMS、MSN、FM 四种活化材料制得的活化钙镁磷肥,分别记为 WZ-P、SMS-P、MSN-P、FM-P,同时钙镁磷肥也研磨 2 min,过 0.25 mm 孔径筛,备用。

### 1.3 活化钙镁磷肥的磷释放动态测定

分别称供试钙镁磷肥和活化钙镁磷肥 0.500 0 g 左右,加入 50 mL 蒸馏水于离心管中浸提、摇匀、振荡 15 min(振荡机速率 150~180 次/min),离心 7 min,过滤,得滤液 I;再将带有样品的滤纸放入离心管中,加入蒸馏水 50 mL 浸提,摇匀、振荡、离心,得滤液 II;用同样的方法处理得滤液 III。每个处理 2 次重复。分别取上述 3 次浸提液,用钼蓝比色法<sup>[7]</sup>测定水溶性磷。

### 1.4 活化钙镁磷肥玉米连作盆栽试验

试验共设置 7 个处理,每处理 3 个重复,CK0:不施磷肥;CK1:施 SP;CK:施 CMP;T1:施 WZ-P;T2:施 SMS-P;T3:施 MSN-P;T4:施 FM-P。各处理氮肥、钾肥一致,氮肥用量为 120 mg/kg(尿素,N 46%);钾肥用量 100 mg/kg(氯化钾,分析纯)。处理 CK1 和 CK 的磷肥用量( $P_2O_5$ )相等,为 80 mg/kg,其余处理的磷肥用量与 CK 处理的用量相同。每盆装土 4 kg,每盆种植 3 株玉米。玉米于 2009 年 8 月 8 日浸种,11 日播种,每盆 3 株,10 月 11 日收获。收获时测定玉米叶片叶绿素含量,收割玉米地上部分,烘干后称干重,并分析玉米植株全磷、镁含量。收获后按 5 点法取土样,经风干过筛分析土壤有效磷含量。收获后种植第 2 茬玉米,不施磷肥,各处理氮肥、钾肥一致,施肥量同第 1 茬。2009 年 10 月 23 日播种,每盆种 3 株,12 月 5 日收获。收获时其分析指标同第 1 茬。

玉米植株的全磷、镁、土壤有效磷含量的测定用常规分析方法<sup>[7]</sup>,叶片叶绿素含量用叶绿素测定仪(SPAD-502)测定,用 SPAD 值表示其相对含量。所有试验数据均采用 SAS System Release 9.0 分析软件处理。

磷利用率计算公式<sup>[8]</sup>为:磷利用率=(施 P 植株吸 P 量-CK0 植株吸 P 量)/肥料中 P 总量×

100%。

## 2 结果与分析

### 2.1 活化钙镁磷肥的磷释放动态

连续浸提试验表明,活化钙镁磷肥的水溶性磷含量总体上高于钙镁磷肥(WZ-P 第 1 次除外);随着浸提次数的增加水溶性磷含量降低,但后期降幅缓慢,且仍处于较高水平。

与钙镁磷肥相比,活化钙镁磷肥处理(WZ-P、SMS-P、MSN-P、FM-P)的 3 次累积磷释放量分别提高了 36.8%、51.8%、22.5%、50.3%,这表明活化处理能明显促进钙镁磷肥水溶性磷的释放,其供磷能力明显优于钙镁磷肥,能更好地满足作物对磷素的吸收。4 种活化钙镁磷肥处理中,SMS-P 的累积磷释放量最大且释放平稳。

表 1 不同活化钙镁磷肥的水溶性磷释放动态<sup>1)</sup>

Table 1 Release dynamics of water-soluble P of different PRCMPs

	mg/kg			
处理 Treatment	第 1 次 First time	第 2 次 Second time	第 3 次 Third time	累积总量 Accumulative
CK(CMP)	537.0 c	435.7 d	371.8 d	1 344.5 d
T1(WZ-P)	413.8 d	772.0 a	653.5 a	1 839.3 b
T2(SMS-P)	660.6 b	720.1 a	660.5 a	2 041.2 a
T3(MSN-P)	601.6 bc	513.9 c	531.7 c	1 647.3 c
T4(FM-P)	831.4 a	627.2 b	562.4 b	2 021.0 a

1)表中所示的数值为平均值,同一列数据中具有不同字母的数据无显著性差异( $P<0.05$ ),下同。The mean values within a column followed by the different letters are significantly different ( $P<0.05$ ). The same as below.

### 2.2 活化钙镁磷肥对玉米生长的影响

不同处理的植株生物量测定结果(表 2)表明:与 CK0 相比,施用各种磷肥均可明显地增加玉米地上部生物量。与钙镁磷肥相比,第 1 茬 T2 处理的玉米生物量提高;第 2 茬活化钙镁磷肥各处理玉米生物量明显提高;第 2 茬中,与 CK 相比,T1、T2、T3、T4 玉米生物量的增幅达 37.1%~175.6%。说明活化钙镁磷肥能提高肥效,而且后效更为明显。总体上 T2 处理在 2 茬盆栽中生物量均高于 CK,肥效较高,与其磷的释放水平一致。

表 2 不同处理的玉米生物量(以每盆干质量计)

Table 2 The biomass (dry matter mass per pot) of potted corn of different treatments

生物量 Biomass	CK0	CK1	CK	T1	T2	T3	T4
第 1 茬 First crop	37.52 b	45.45 a	44.96 a	43.13 ab	46.00 a	44.71 a	42.81 ab
第 2 茬 Second crop	0.76 e	3.86 b	1.97 d	4.35 b	2.70 cd	3.36 bc	5.43 a

### 2.3 活化钙镁磷肥对玉米叶片叶绿素和镁含量的影响

与CK0相比,磷肥处理显著提高了植株叶片的叶绿素含量(SPAD值)。与过磷酸钙和钙镁磷肥相比,第1茬活化钙镁磷肥处理的SPAD值均提高,活化钙镁磷肥处理的增幅为11.7%~18.4%;第2茬活化钙镁磷肥的SPAD值均高于CK,处理T3和T4的SPAD值高于过磷酸钙。这表明活化钙镁磷肥促进磷释放的同时也能促进叶绿素的合成,其原因与磷的活化有关,也与镁的活化有关。

表3 不同处理玉米叶片的叶绿素(SPAD)和镁含量

Table 3 The contents of chlorophyll(SPAD) and Mg in the leaves of different treatments

处理 Treatment	SPAD		Mg/%	
	第1茬 First crop	第2茬 Second crop	第1茬 First crop	第2茬 Second crop
CK0	24.23 c	24.38 d	0.209 c	0.142 d
CK1	32.13 ab	28.10 b	0.252 ab	0.162 c
CK	29.74 b	26.06 c	0.235 ab	0.172 b
T1	36.44 a	27.22b c	0.297 a	0.172 b
T2	35.01 a	27.98 b	0.272 a	0.184 a
T3	34.14 ab	28.36 b	0.290 a	0.174 b
T4	33.64 ab	31.06 a	0.248 b	0.181 a

与CK0相比,各磷肥处理中镁的含量都显著提高,表明施用磷肥促进了玉米对镁的吸收。与过磷酸钙相比,第2茬活化钙镁磷肥处理的玉米叶片中镁含量均显著提高,且差异显著;除第茬T1与CK

持平外,2茬玉米盆栽试验的活化钙镁磷肥处理中镁含量均高于CK。由此可见,促释材料不仅促进作物对活化钙镁磷肥中磷的吸收,还能够提高镁的生物有效性。

### 2.4 活化钙镁磷肥对玉米磷利用率的影响

由表4可见,第1茬中,处理T1、T2、T3、T4的植株吸磷量均高于过磷酸钙和钙镁磷肥处理,表明活化钙镁磷肥能促进植株对磷的吸收。第2茬中,与CK相比,活化钙镁磷肥处理的植株吸磷量均明显提高,且吸磷量增幅更大,差异显著。活化钙镁磷肥能增强磷的活性,后期效果更明显。2茬盆栽,4个活化钙镁磷肥处理的吸磷量规律总体上与其磷素释放特征一致,其中T2的吸磷量最大,T2两茬的吸磷量分别比CK提高了18.5%、207.3%。活化钙镁磷肥的吸磷量基本上高于过磷酸钙,这表明虽然过磷酸钙中有效磷含量高,但随着时间的延长过磷酸钙中的磷有效性不断下降。而活化钙镁磷肥处理的磷有效性较稳定,抗固定能力强,能较好满足植株生长的需要,因而优于过磷酸钙。

2茬盆栽过磷酸钙的磷利用率均高于CK,但是钙镁磷肥经过活化材料处理后,活化钙镁磷肥的磷利用率总体上高于钙镁磷肥,且明显高于过磷酸钙,差异显著。这说明钙镁磷肥经促释活化后,对提高磷利用率有明显效果。2茬盆栽后,活化钙镁磷肥的磷总利用率为22.1%~25.5%。

表4 不同处理玉米的吸磷量和磷利用率

Table 4 P uptake and P use efficiency of different treatments

处理 Treatment	第1茬 First crop			第2茬 Second crop			磷总利用率/% Total P use efficiency rate
	每盆吸磷量/mg P uptake per pot	与CK相比增幅/% Compared to CK	磷利用率/% P use efficiency rate	每盆吸磷量/mg P uptake per pot	与CK相比增幅/% Compared to CK	磷利用率/% P use efficiency rate	
CK0	68.33 b	—	—	1.11 d	—	—	—
CK1	119.19 a	3.5	15.9	7.78 bc	128.2	3.3	18.0
CK	115.17 a	—	14.6	3.41 d	—	1.1	15.4
T1	131.23 a	13.9	20.7	9.63 bc	182.4	4.7	23.5
T2	136.44 a	18.5	22.4	10.48 b	207.3	5.4	25.5
T3	133.90 a	16.3	21.6	7.17 c	110.3	3.4	23.6
T4	119.15 a	3.5	16.7	17.60 a	416.1	8.5	22.1

### 2.5 活化钙镁磷肥对土壤有效磷含量的影响

从图1可见,活化钙镁磷肥4个处理的2茬盆栽土壤有效磷均高于过磷酸钙,说明活化材料能够促进钙镁磷肥中磷的释放,在2茬收获后仍然显示较高的有效性。第1茬,与CK相比,活化钙镁磷肥处理(WZ-P、SMS-P、MSN-P、FM-P)的土壤有效磷含量分别提高了8.7%、8.6%、8.3%、6.7%。这表

明活化钙镁磷肥不仅可以促进玉米对磷的吸收,还可以增加土壤有效磷含量,有利于培肥土壤。与CK相比,第2茬活化钙镁磷肥处理的土壤有效磷和第1茬有相同的提高土壤有效磷的趋势。其中第2茬的土壤有效磷含量均低于第1茬,这是由于第2茬未施磷肥而作物继续生长吸收土壤磷,所以随着时间的延长土壤中的有效磷含量是逐渐降低的。

CK0 第 2 茬土壤有效磷高于第 1 茬,这与作物生长慢,吸收量相对较低,而作物根系分泌有机酸对土壤磷有一定活化有关。但从土壤有效磷绝对值来看,2 茬活化钙镁磷肥处理均明显高于 CK0,显示其提升土壤有效磷的效果明显。

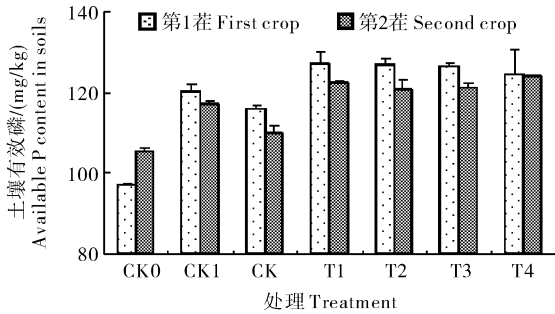


图 1 玉米收获后不同处理土壤中有有效磷含量

Fig. 1 The available P content in the soils of different treatments after potted corn harvesting

### 3 讨论

#### 3.1 活化钙镁磷肥的磷释放特性及其测定

经 3 次连续浸提试验显示,4 种活化钙镁磷肥的水溶性磷累积量高,且各次的水溶性磷含量高(除第 1 次 WZ-P 外),3 次浸提的水溶性磷数值波动率小。钙镁磷肥的水溶性磷含量随着浸提次数的增加而逐渐降低,而活化钙镁磷肥的水溶性磷含量随着浸提次数的增加有升也有降,没有连续下降,这种供磷状况对作物较有利。整体上各个活化钙镁磷肥处理的水溶性磷处于较高水平且均衡稳定,这是活化钙镁磷肥增产效果好的基础。采用水连续浸提方法所测定的是活化钙镁磷肥中水溶性磷的动态变化,与植物对磷的吸收动态变化相符,比常规的静态有效性测定更接近实际<sup>[9]</sup>。但是简单地以水溶性磷的高低来判断肥效的高低是不全面的,还需结合土壤、作物等条件综合考虑。同一活化钙镁磷肥对作物的增产效果不仅和水溶性磷含量有关,也与作物的基因型有关<sup>[10-13]</sup>,因此还应在活化钙镁磷肥对不同基因型作物的生长影响方面做进一步研究。

#### 3.2 活化钙镁磷肥的肥效及其应用前景

钙镁磷肥比较适用于酸性土壤,且其中含有钙和镁,但实际肥效多数情况下不如过磷酸钙。其原因是钙镁磷肥磷的释放较慢且后效不足。本研究的测定数据也清楚地显示了这一点(表 1)。通过 2 茬盆栽的生物量可以看出,第 1 茬活化钙镁磷肥处理与钙镁磷肥相比有所提高,虽差异未达到显著水平,

但试验中活化钙镁磷肥处理的磷加入量只为钙镁磷肥的 95%,活化钙镁磷肥在磷含量较低的情况下,其肥效还略优于钙镁磷肥,更显示出活化钙镁磷肥的增效作用。与钙镁磷肥相比,第 2 茬活化钙镁磷肥的增产幅度更高,差异显著,显示了活化钙镁磷肥的后效更明显。同时活化钙镁磷肥能够提高磷利用率。活化钙镁磷肥在施磷肥量比钙镁磷肥少 5% 的情况下,产量不减反增,吸磷量和磷利用率均增加,表明活化钙镁磷肥可提高磷利用率,这与邱慧珍等<sup>[2]</sup>的研究结果一致。

活化钙镁磷肥处理的增产不仅与磷有关,也与镁和叶绿素含量的增加有关,镁是构成叶绿素分子的核心元素,对植物体内叶绿素的含量至关重要<sup>[14]</sup>。研究显示活化钙镁磷肥也能够提高叶片镁和叶绿素的含量,是否还能够对钙和某些微量元素产生活化效果,有待继续研究。今后拟通过对土壤和植株中钙及某些微量元素含量的测定来探讨活化钙镁磷肥中钙及微量元素的活化效果,为活化钙镁磷肥的利用和增产机理研究提供进一步的科学依据。

从经济角度来看,目前国内钙镁磷肥价格平均为 500 元/t,本研究所利用的促释材料是由工业废弃物加工而成,一般低于 450 元/t,价格低廉,活化钙镁磷肥价格低于钙镁磷肥,肥效又优于钙镁磷肥,若规模化生产其成本还可下降,经济效益可进一步提高,每吨可降低成本 50~80 元<sup>[15-16]</sup>。因此钙镁磷肥的促释技术具有节支、增效的明显优势,有广阔的应用前景。

### 参 考 文 献

- [1] LU Q M, LIAO Z W. Comparative study on characteristics of P fixation by Mn, Fe and Al[J]. Pedosphere, 1997, 7(4): 325-330.
- [2] 邱慧珍,张福锁.活化钙镁磷肥对不同磷效率基因型冬小麦生长及磷效率的影响[J].土壤通报,2002,33(4):295-299.
- [3] 许秀成.钙镁磷肥发展前景综述[J].磷肥与复肥,2006,21(3): 17-22.
- [4] 杜建军,郑超,廖宗文,等.雷州半岛地区磷肥高效利用技术及其应用[J].生态环境,2004,13(3):373-375.
- [5] 吴平霄,廖宗文,毛小云.改性磷肥的结构特征及其增效机理研究[J].植物营养与肥料学报,2000,6(3):287-292.
- [6] 张玉兰,王俊宇,马星竹,等.提高磷肥有效性的活化技术研究进展[J].土壤通报,2009,40(1):196-202.
- [7] 鲁如坤.土壤农化分析[M].北京:中国农业科技出版社,2000:

- 1-336.
- [8] 丁洪,李生秀,李世清.不同形态无机磷对大豆磷利用效率的影响[J].中国油料作物学报,1998,20(4):71-75.
- [9] 孙克君,赵冰,卢其明,等.活化磷肥的磷素释放特性、肥效及活化机理研究[J].中国农业科学,2007,40(8):1722-1729.
- [10] 杨建峰,贺立源,刘艳飞,等.不同磷效率水稻在不同酸度土壤上生态适应性鉴定[J].华中农业大学学报,2009,28(1):31-34.
- [11] 王树亮,田奇卓,李娜娜,等.不同小麦品种对磷素吸收利用的差异[J].麦类作物学报,2008,28(3):476-483.
- [12] 张海伟,徐芳森.不同磷效率甘蓝型油菜对土壤磷和铁锰铜锌的吸收差异[J].华中农业大学学报,2010,29(5):567-571.
- [13] 敖雪,谢甫绀,张惠君,等.磷素处理对不同磷效率基因型大豆根系性状的影响[J].大豆科学,2008,27(5):787-791.
- [14] 李国良,姚丽贤,周修冲,等.沙田柚配施钾镁肥效应研究[J].中国土壤与肥料,2007(2):61-63.
- [15] 王涛.关于持续发展我国钙镁磷肥的几点建议[J].磷肥与复肥,2008,23(5):23-24.
- [16] STOLLER J. Learn the language of the plant[J]. Fertilizer International,1995,347:86-88.

## Release characteristics of activated calcium-magnesium phosphates and its effects on growth of potted corn

WANG Yan YAN Hai-yin LIU Ke-xing LIAO Zong-wen

*College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China*

**Abstract** Four kinds of activating agents (WZ, SMS, MSN, FM) were used to promote the release of calcium-magnesium phosphate (PRCMPs). Continuous water extraction and potted corn were used to study the contents of water-soluble P, fertilizer effect and phosphorus efficiency of PRCMPs. The result of continuous water extraction indicated that the content of water-soluble P of PRCMPs was higher and more stable each time compared to calcium-magnesium phosphate. The accumulative rate of release increased from 22.5% to 51.8%. The result of potted experiments showed that the biomass of potted corn from four PRCMPs were much higher than that of calcium-magnesium phosphate. Compared to calcium-magnesium phosphate, the uptaking of P of PRCMPs was improved. The contents of Mg and chlorophyll of PRCMPs were high as well. Furthermore, the residual effects of PRCMPs increased. Compared to calcium-magnesium phosphate, the contents of water-soluble P, biomass of sweet corns, phosphorus uptake and soil available phosphorus were higher. The use efficiency of phosphorus also increased. The effect of the second pot experiment was better than that of the first. Among the PRCMPs, the effect of PRCMP of SMS is the best.

**Key words** calcium-magnesium phosphate; promoted-release; fertilizer effect; phosphorus efficiency; corn

(责任编辑:张志钰)