

施用超微细磷矿粉对玉米生长发育及产量的影响

王 薇¹, 张晓松¹, 孟春玲¹, 刘智强¹, 钱 朗¹, 房娜娜², 吴春华¹

(1. 大连市农业科学研究院, 辽宁 大连 116036; 2. 沈阳中科新型肥料有限公司, 辽宁 沈阳 110016)

摘要:为充分利用我国的中低品位磷矿,减少环境污染,实现磷肥工业的可持续发展,将不同比例的以机械化学作用加工成的超微细磷矿粉和重过磷酸钙混合作为玉米的磷肥使用,研究其对玉米生长发育及产量的影响。结果表明:超微细磷矿粉替代所需磷素的20%施用时,产量最高,较全施用过磷酸钙增产1.18%,在成熟期能保持较高的叶面积和SPAD值,磷肥农学效率高于其余处理;超微细磷矿粉替代所需磷素10%时,在玉米苗期、拔节期和灌浆期一直保持最高的磷素累积量;超微细磷矿粉替代所需磷素的30%时,磷素累积量从苗期到成熟期一直平稳增长,籽粒的氮、磷累积量高于其余处理。

关键词:玉米;超微细磷矿粉;磷肥;磷素吸收

中图分类号:S513;S143.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2017)06-0027-06 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2017.06.0027

我国磷矿资源总储量丰富,但高品位磷矿(P_2O_5 含量 $\geq 30\%$)却不到总储量的10%^[1],因此合理利用中低品位的磷矿对缓解磷资源危机、实现磷肥可持续发展具有重要意义。

从20世纪50年代开始,机械化学作为矿物加工手段受到关注,并逐步将这种加工方法应用于磷矿粉加工,磷矿加工后作为磷肥直接使用。Amgalan等人长期研究表明,机械化学作用加工过的磷矿粉肥效时间可达5~7 a,而过磷酸钙只有1~2 a^[2]。有研究表明,由于普通磷矿粉颗粒粒径较大,比表面积较小,不利于磷矿粉养分的释放,从而影响其利用效率^[3-4]。山东农业大学和清华大学联合对磷矿粉的细度进行研究后提出了超微细磷矿粉的概念^[5-6]。利用机械化学作用原理来超细粉碎磷矿石,一方面可以引起磷矿粉晶体发生改变,有利于磷矿石的同晶置换;另一方面可以减小磷矿粉的晶粒,增大磷矿粉的比表面积,这样就可以增大磷矿粉与土壤的接触面积,增强土壤有机酸和生物对磷矿粉的分解,进而增强磷矿粉的有效性^[7]。连续6次用柠檬酸浸提过磷酸钙和机械活化磷矿粉中的有效磷,结果表明,尽管第一次浸提时过磷酸钙中的有效磷远远高于磷矿粉中的,但自第二次浸提后就显著低于机械活化磷矿粉中的有效磷,说明过磷酸钙是一种速效磷

肥,有效磷释放的速度较快,但持续供磷能力不如经机械活化的磷矿粉^[8]。

在东北地区,超微细磷矿粉在玉米大田上的应用效果研究鲜见报道。因此,本试验设计基于东北玉米磷肥施用不合理,农田磷的环境风险逐渐增大^[9-10]的情况下,以中低品位磷矿经机械化学作用加工成的超微细磷矿粉为研究对象,对持续供磷能力较强的磷矿粉和速效供磷的过磷酸钙进行合理配比,以期精准满足玉米整个生长季对磷素的需求。为充分利用我国的中低品位磷矿,减少环境污染,实现磷肥工业的可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

玉米品种为强硕68。试验于2013年在大连市农业科学研究院试验基地进行。试验土壤为砂壤土,pH6.25,有机质1.21%,全氮0.25%,全磷0.1%,全钾0.22%。试验肥料为湖北宜昌磷矿经机械研磨三次后的超微细磷矿粉,90%粒径达到了3 μm ,全磷26.71%,有效磷4.81%(超微细磷矿粉由沈阳中科新型肥料有限公司提供);过磷酸钙;尿素;硫酸钾。

1.2 试验设计

1.2.1 试验设计 采用单因素随机区组设计,设5个处理(见表1),每个处理3次重复。玉米栽培密度是40 425株 $\cdot hm^{-2}$,每小区5垄,共135株,按每垄需肥量施肥。施肥量根据大连地区玉米推荐用量: $N:P_2O_5:K_2O=230:90:51 kg \cdot hm^{-2}$ 。磷、钾肥作为基肥一次施入,基施氮肥量占总施氮

收稿日期:2017-04-25

第一作者简介:王薇(1984-),女,辽宁省东港市人,硕士,农艺师,从事土壤肥料与作物栽培研究。E-mail: wangwei2010117@126.com。

通讯作者:吴春华(1970-),女,博士,副研究员,从事植物组织培养生物技术研究。E-mail:2465861945@qq.com。

量的 70%，玉米拔节期追施 30%氮肥。

表 1 不同处理有效施肥量 g

Table 1 The amount of fertilizer application under different treatments

处理 Treatments		尿素(N)/g Urea	过磷酸钙(P ₂ O ₅)/g Calcium superphosphate	硫酸钾(K ₂ O)/g Potassium sulfate	超微细磷矿粉(P ₂ O ₅)/g Superfine phosphorite powder
CK	不施磷肥	768.1	0	170.3	0
P0	100%过磷酸钙	768.1	300.6	170.3	0
P10	10%超微细磷矿粉+90%过磷酸钙	768.1	270.5	170.3	30.1
P20	20%超微细磷矿粉+80%过磷酸钙	768.1	240.4	170.3	60.1
P30	30%超微细磷矿粉+70%过磷酸钙	768.1	210.4	170.3	90.2

1.2.2 测定项目及方法 在玉米生长发育的关键时期(苗期、拔节期、孕穗期、灌浆期、成熟期)测株高、叶面积,并取植株样品,分根、茎、叶、穗,用烘箱 105 ℃杀青 30 min 后,75 ℃烘干至恒重并称量玉米各部位干重,分别粉碎后用 H₂SO₄-H₂O₂消煮植株样品。玉米成熟时各小区单收记产。在玉米成熟期取土壤样品测土壤中速效磷含量。

植株全氮采用凯氏定氮法、全磷采用钼锑抗比色法、全钾采用火焰光度计法、土壤速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;叶绿素用 SPAD 叶绿素测定仪测定。

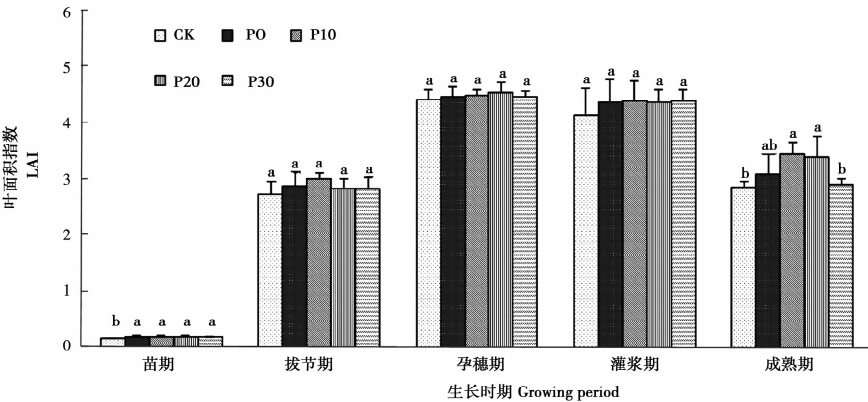
计算方法:叶面积指数采用长宽法测量,叶面积的校正系数是 0.75;增产率=(施肥处理产量-不施磷肥处理产量)/不施肥处理产量×100%;磷肥农学效率(AEP)=(施磷区产量-不施磷区产量)/施磷量;磷肥吸收效率(UEP)=(施磷区收获期地上部吸磷总量-施磷区收获期地上部吸磷总量)/施磷总量^[11]。

1.2.3 数据分析 采用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理,采用 SPSS10.0 软件进行数据统计分析,其中采用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米叶面积指数的影响

从图 1 中可以看出,在玉米苗期,对照(CK)处理叶面积指数显著低于其余处理,P0、P10、P20 和 P30 处理之间差异不显著,表现为P0=P10=P20>P30。在玉米拔节期、孕穗期和灌浆期各处理对叶面积指数的影响不显著。在成熟期 P10 和 P20 的叶面积指数都显著高于 CK 和 P30 处理。说明,用超微细磷矿粉代替一部分过磷酸钙,对玉米光合作用不仅不会有影响,反而会在玉米生长中后期缓慢释放有效磷,延缓叶片衰老进程,有效防止叶片早衰。其中超微细磷矿粉替代 10%和 20%的处理效果最好,而替代比例 30%的处理在玉米成熟期会出现叶片早衰现象。



不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下同。
Different lowercase letters mean significant difference at 0.05 level. The same below.

图 1 不同处理对叶面积指数的影响
Fig. 1 Effect of different treatments on LAI

2.2 不同处理对玉米叶绿素的影响

由图2可以看出,除灌浆期外,其余各时期处理间差异不显著,各处理的磷施用量满足玉米生

长需求。在灌浆期,处理P10和P20仍然保持较高的SPAD值,比孕穗期升高了8.2%和3.1%。处理P0和P30次之。

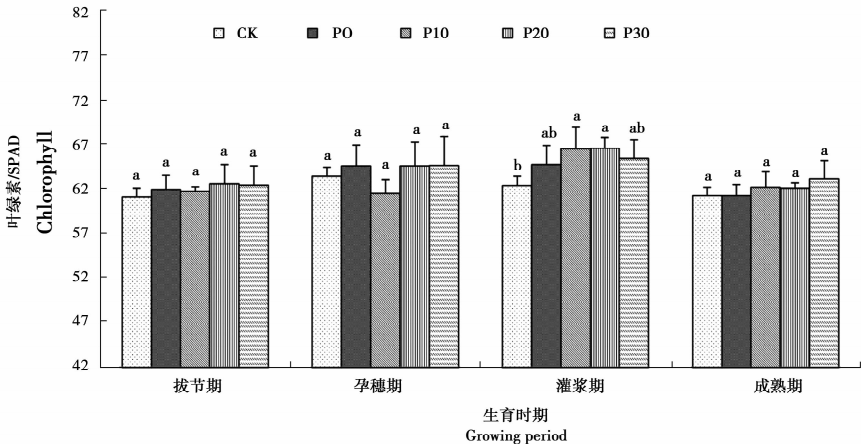


图2 不同处理对叶绿素 SPAD 值变化的影响
Fig. 2 Effect of different treatments on chlorophyll SPAD value of leaf

2.3 不同处理对玉米株高的影响

在玉米苗期、孕穗期和灌浆期,处理CK的株高低于其余处理,孕穗期和灌浆期处理P10、P20、

P30间差异不显著。超微细磷矿粉可以在10%~30%的比例替代重钙,而不影响玉米植株前期的生理生长,同时可以满足后期生殖生长的需要。

表2 不同处理对株高的影响

处理 Treatments	株高/cm Plant height				
	苗期	拔节期	孕穗期	灌浆期	成熟期
	Seedling stage	Jointing stage	Booting stage	Filling stage	Mature stage
CK	32.50±0.87 b	130.33±4.51 a	242.67±6.43 b	258.33±9.07 b	263.67±4.04 a
P0	35.00±0.71 b	132.67±4.95 a	248.33±1.41 ab	277.00±2.83 a	269.33±3.54 a
P10	35.17±0.29 b	132.33±2.08 a	254.00±3.46 a	277.33±10.21 a	273.33±7.57 a
P20	36.33±0.58 ab	135.67±5.13 a	254.00±8.00 a	278.00±13.23 a	267.00±12.12 a
P30	37.00±1.00 a	132.33±2.08 a	247.00±3.61 ab	278.67±5.13 a	266.67±14.47 a

2.4 不同处理对产量和磷肥农学效率的影响

处理P20的产量最高,处理P10次之。与不施磷肥(CK)比较P20增产率达7.24%。处理P20的磷肥农学效率是6.20,其次是P10为5.35。在超微细磷矿粉占总磷肥的20%的时候,磷肥农学效率最高,同时磷肥吸收效率、氮肥吸收效率、钾肥吸收效率分别是0.21、1.21、2.21,也

为最高值,处理P10次之。农学效率反映肥料养分的作用^[13],结合氮肥与钾肥吸收效率来看,当超微细磷矿粉占磷肥10%或20%的时候,玉米对各营养素的吸收效率是最高的,可以充分利用肥料养分。因此,利用超微细磷矿粉替代部分化肥磷是可行且是较优的选择。

表3 不同处理相关参数分析

Table 3 Analysis of the relevant factor under different treatments						
处理 Treatments	产量/(kg·hm ²) Yield	增产率/% Increasing rate	磷肥农学效率 AEP	磷肥吸收效率 UEP	氮肥吸收效率 UEN	钾肥吸收效率 UEK
CK	7697.75 a	-	-	-	-	-
P0	8159.05 a	5.99 a	5.13	0.03	1.17	1.81
P10	8179.50 a	6.26 a	5.35	0.08	1.21	1.82
P20	8255.40 a	7.24 a	6.20	0.21	1.21	2.21
P30	7911.70 a	2.78 a	2.38	0.19	1.08	1.48

2.5 不同处理对玉米干物质累积量的影响

随着玉米生长时期的推移,干物质质量逐渐增加,拔节期到孕穗期主要以叶的生长为主,之后营养器官所占比例逐渐降低而生殖器官比例逐渐增大。由图 3 可知,在苗期,各处理所施用的磷肥基本满足玉米生长需要,其中处理 P10 的整株干物质重量最大,与处理 P0、P20 和 P30 差异不显著;在拔节期,各处理玉米茎、叶分别占干物质重量的 34%~45%和 33%~40%。处理 P0 的干物质重量最大,其次为 P10,两个处理间差异不显著。

P20 和 P30 的干物质重显著低于 P0 和 P10,说明在拔节期,用 10%超微细磷矿粉替代重钙的处理,能满足玉米拔节期各个器官对磷素的需求;在灌浆期,随着籽粒的形成,生殖器官所占干物质比重迅速增加,籽粒占干物质总量的 20%(CK)~25%(P10)。其中,处理 P10 和 P20 籽粒的干物质重大于其余处理;成熟期玉米干物质重量在处理 P0、P10、P20 和 P30 之间差异不显著,处理 P30 的籽粒占干物质总量的比例略高于其余处理。

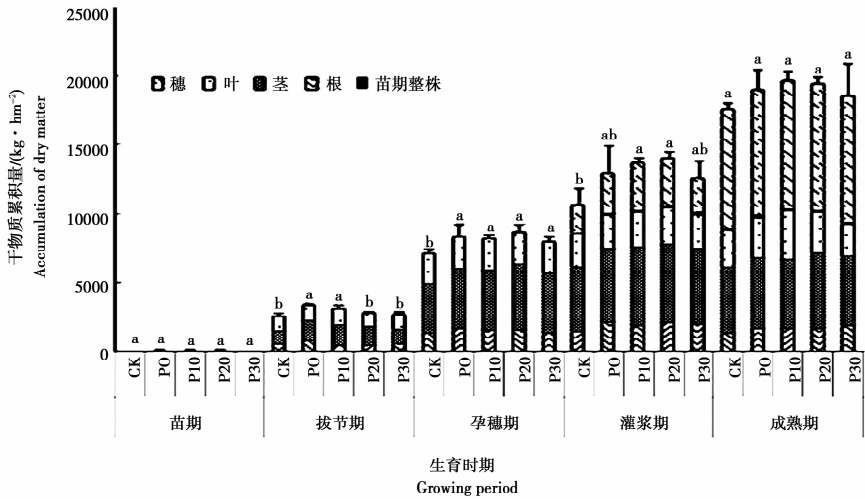


图 3 不同处理干物质累积及分配

Fig. 3 Accumulation and distribution of dry matter under different treatments

2.6 不同处理对玉米氮、磷、钾养分累积的影响

从表 4 显著性分析可知,灌浆期中的穗部处理 P20 和 P30 显著低于其余处理;成熟期的叶,处理 P0 显著低处理 P10、P20 和 P30;其余时期各处理间无显著差异。

由图 4 可以看出,磷素的累积量,在玉米孕穗期和灌浆期的增长迅速,并在灌浆期达到最大值。处理 P10 的磷素累积量在苗期、拔节期和孕穗期

均高于其它处理,但与灌浆期相比,成熟期下降 29.9%。而处理 P30 的磷素累积量一直平稳增长,在成熟期依然保持稳定,与灌浆期相比只下降了 6.7%。处理 P20 在成熟期的磷素累积量与灌浆期相比下降了 19.2%。结合表 4,磷素的累积量的差异主要是由于各处理的干物质重不同所引起的。

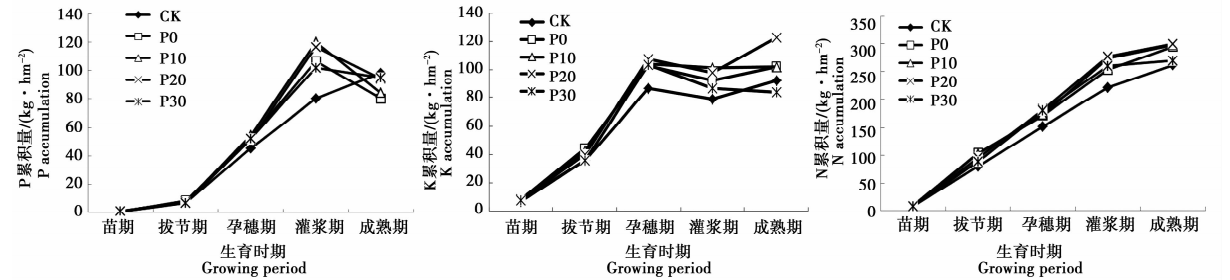


图 4 不同处理对玉米植株氮、磷、钾养分累积的影响

Fig. 4 Effect of different treatments on N,P,K accumulation in maize

表 4 不同处理植株磷含量

Table 4 Paccumulation in maize under different treatments

%

处理 Treaments	苗期 Seeding stage	拔节期 Jointing stage			孕穗期 Booting stage		
		根	茎	叶	根	茎	叶
		Root	Stem	Leaf	Root	Stem	Leaf
CK	0.66±0.05 a	0.42±0.05 a	0.13±0.02 a	0.33±0.03 a	0.52±0.13 a	0.66±0.1 a	0.64±0.07 a
P0	0.63±0.02 a	0.40±0.08 a	0.13±0.09 a	0.32±0.1 a	0.44±0.03 a	0.66±0.08 a	0.61±0.13 a
P10	0.66±0.03 a	0.42±0.11 a	0.12±0.02 a	0.30±0.03 a	0.52±0.06 a	0.64±0.02 a	0.65±0.04 a
P20	0.69±0.05 a	0.47±0.09 a	0.14±0.04 a	0.33±0.09 a	0.46±0.04 a	0.61±0.05 a	0.63±0.13 a
P30	0.67±0.07 a	0.42±0.02 a	0.11±0.03 a	0.30±0.02 a	0.54±0.01 a	0.69±0.5 a	0.58±0.05 a

处理 Treaments	灌浆期 Filling stage				成熟期 Mature stage			
	根	茎	叶	穗	根	茎	叶	穗
	Root	Stem	Leaf	Ear	Root	Stem	Leaf	Ear
CK	0.52±0.11 a	0.97±0.03 a	0.67±0.04 a	0.59±0.11 a	0.51±0.06 a	0.45±0.01 a	0.36±0.05 a	0.44±0.07 a
P0	0.51±0.03 a	1.24±0.08 a	0.72±0.1 a	0.45±0.08 a	0.43±0.07 a	0.46±0.07 a	0.22±0.04 b	0.46±0.05 a
P10	0.47±0.08 a	1.22±0.08 a	0.81±0.07 a	0.47±0.09 a	0.41±0.03 a	0.39±0.07 a	0.53±0.11 a	0.41±0.08 a
P20	0.50±0.09 a	1.34±0.02 a	0.67±0.04 a	0.37±0.04 b	0.34±0.09 a	0.55±0.1 a	0.44±0.05 a	0.49±0.06 a
P30	0.50±0.08 a	1.24±0.07 a	0.66±0.15 a	0.38±0.04 b	0.43±0.07 a	0.52±0.05 a	0.48±0.09 a	0.53±0.02 a

玉米在拔节期对钾肥敏感,孕穗期对氮肥敏感。从吸收强度分析,对钾素和氮素的吸收最大时期是拔节期到孕穗期。从图 4 中看出,各处理在玉米苗期和拔节期对钾素的累积量相差不大。在孕穗期,不施肥 CK 和不施磷肥 P0 处理对钾素的累积量明显小于其余处理,钾素累积量为 P20>P10>P30>P0。在灌浆期,处理 P10 的钾素累积量最大。

处理 P0、P10、P20 和 P30 对氮素的累积量趋势相同,其中 P20 的氮素累积量在玉米的各个生育期最大。

由表 5 可以看出,在玉米成熟期,处理 P20 的土壤速效磷含量最高,显著高于其它处理,P10 速效磷含量次之,但也显著高于 CK、P0 和 P30。

表 5 成熟期土壤速效磷含量

Table 5 Content of available P in soil in mature stage	
处理 Treaments	速效磷含量/(mg·kg ⁻¹) Content of available P
CK	23.57±1.06 c
P0	24.77±2.14 c
P10	29.50±2.18 b
P20	36.43±2.00 a
P30	25.03±2.18 c

3 结论与讨论

本研究表明,可以用超微细磷矿粉部分替代过磷酸钙作为磷肥。磷肥对叶面积的作用在玉米生育前期影响有限,但灌浆期影响较为明显,成熟期后磷肥施入量越少叶面积指数下降速度越快^[14]。在替代量为 10%和 20%的时候,既可以满足玉米前期对磷素的需求,又可以在成熟期,延缓叶片衰老,为增产提供光合产物;在灌浆期和成熟期,籽粒占干物质总量的比例显著高于其余处理。替代量为 20%处理的叶片在玉米灌浆期有较高的 SPAD 值,产量最高,较不施肥处理增产 29.49%,较不施磷肥处理增产 7.24%,比全部施用过磷酸钙的处理产量也增加了 1.18%,同时磷肥农学效率也高于其余处理。氮、磷、钾养分累积与运转直接影响作物的生长发育情况^[15],替代量为 10%处理的磷素累积量在玉米生育前期保持较高水平,但在玉米成熟期磷素累积量有所下降;而替代量为 30%的处理的磷素累积量则保持稳定。从土壤中生育后期的速效磷含量来看,替代量为 20%处理的速效磷含量最高,可以在后期依然维持较高的磷供应水平。综上,玉米生长前期所需磷由速效的过磷酸钙提供,生长后期则由缓效的超微细磷矿粉提供,过磷酸钙和超微细磷矿粉结合施用,可满足玉米整个生育期对磷素的需求。

求。在超微细磷矿粉占所需磷素的 20% 时,可以在获得高产的同时,减少化肥过磷酸钙的使用量。既利用中低品位磷矿,又能减少化肥过量施用,从而减少环境污染。

在东北地区,土壤温度和湿度变化较大,温度的变化会影响土壤酶活性等因素的变化,从而影响超微细磷矿粉中磷素的释放^[16],所以,对缓释的超微细磷矿粉在土壤中的养分释放状况应进一步研究。同时应该做长期定位试验,以期观察超微细磷矿粉在大田中的长效性。

参考文献:

[1] 柳正. 我国磷矿资源的开发利用现状及发展战略[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2006(1): 21-23.

[2] Amgalan J, M V Chaikina, M Dulamsuren, et al. Mechanical activation of phosphorites as an ecologically pure technology to prepare phosphorous-containing fertilizers [J]. Chem. Sustain. Dev., 1998, 6: 221-226.

[3] 蒋柏藩. 中低品位磷矿粉肥直接施用的研究[J]. 化工矿山技术, 1990(1): 32-34.

[4] 李庆奎, 蒋柏藩, 鲁如坤. 中国磷矿的农业利用[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 100-102.

[5] 国林涛, 史衍玺, 盖国盛. 超微细磷矿粉的特性及其肥效机理研究[J]. 化工矿物与加工, 2008(2): 14-16, 19.

[6] 赵夫涛, 盖国胜, 井大伟, 等. 磷矿粉的超微细活化及磷释放动态研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 474-477.

[7] 赵夫涛, 盖国胜, 杨玉芬, 等. 超微细磷矿粉的制备研究[J]. 中国粉体技术, 2008(4): 198-200.

[8] 何振全, 刘春生, 盖国胜, 等. 磷矿粉超微细化对磷有效性的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 210-212.

[9] 张维理, 武淑霞, 冀宏洁, 等. 中国国际面源污染形势估计及控制对策 I: 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.

[10] 张四代, 王激清, 张卫峰, 等. 我国东北地区化肥消费与生产现状、问题及其调控思路[J]. 磷肥与复肥, 2007, 22(5): 74-78.

[11] Dordas C A, Lithourgidis A S, Matsi T, et al. Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation and partitioning in maize[J]. Nutr. Cycl. Agroecosys, 2008, 80(3): 283-296.

[12] Stewart D W, Costa C, Dwyer L M, et al. Canopy structure, light interception, and photosynthesis in maize[J]. Agronomy Journal, 2003, 95(6): 1465-1474.

[13] 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 Research, 1999, 62(2-3): 181-190.

[14] 赵海峰, 张红, 张晓翔. 不同磷肥水平对高油玉米生长指标的影响[J]. 吉林农业科技学院学报, 2009, 18(3): 6-8.

[15] 杨恒山, 张玉芹, 徐寿军, 等. 超高产春玉米干物质及养分累积与运转特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 315-323.

[16] 王光华, 周克琴, 金剑, 等. 黑土区高效溶磷真菌筛选及其溶解磷矿粉效果的研究[J]. 生态农业学报, 2004, 12(3): 143-145.

Effects of Superfine Phosphorite Powder Application on Growth and Yield of Maize

WANG Wei¹, ZHANG Xiao-song¹, MENG Chun-ling¹, LIU Zhi-qiang¹, QIAN Lang¹, FANG Na-na², WU Chun-hua¹

(1. Dalian Academy of Agricultural Sciences, Dalian, Liaoning 116036; 2. Shenyang Zhongke New Fertilizer Limited Company, Shenyang, Liaoning 110016)

Abstract: In order to make full use of China's medium and low grade phosphate rock, reduce environmental pollution and realize the sustainable development of phosphate fertilizer industry, the different proportion in superfine phosphorite powder and triple superphosphate mixed as maize fertilizer use, the effect of mixed fertilizer on growth and yield of maize was studied. The results showed that the application of 20% superfine phosphorite powder instead of phosphorus had the highest yield, which was 1.18% higher than the whole superphosphate treatment, and could maintain a higher leaf area and the SPAD in the mature period, and the agronomic efficiency of phosphate was higher than other treatments. At seedling, jointing and filling stage the application of 10% superfine phosphorite powder instead of phosphorus had maintained the highest phosphorus accumulation. From seedling to maturity stage, phosphorus accumulation of the superfine phosphorite powder instead of 30% phosphorus treatment had been steady growth, nitrogen and phosphorus accumulation in grain were higher than other treatments

Keywords: maize; superfine phosphorite powder; phosphorus fertilizer; phosphorus uptake