

## 不同磷物料培肥心土对大豆产量和品质的影响

王秋菊<sup>1</sup>, 米刚<sup>2</sup>, 张劲松<sup>1</sup>, 高中超<sup>1</sup>, 姜宇<sup>2</sup>, 崔喜安<sup>2</sup>, 刘峰<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院黑河分院, 黑龙江黑河 164300)

**摘要:**为明确黑土心土培肥不同磷物料效果,通过小区比对试验方法,采用自主研发的土壤深耕犁和心土培肥犁分别对嫩江薄层黑土进行心土培肥试验,比较5种不同磷肥( $P_2O_5$ 含量22.5%的磷矿粉、44%的磷酸一铵、28%的磷矿粉、46%的重过磷酸钙、12%的过磷酸钙)心土培肥效果,明确了不同磷物料心土培肥对大豆生育性状、产量及品质的影响。结果表明:不同磷物料对大豆生育及产量影响差异显著,盛花期和结荚期叶绿素含量也有显著差异,综合比较 $P_2O_5$ 含量44%的磷酸一铵处理增产效果最显著,比对照组增产32.79%,且大豆叶绿素含量、干物质重量比对照提高9.7%和35.5%,蛋白质含量提高3.45%,同时高于其它磷物料培肥处理,因此心土培肥应根据生产实际条件选择相应的培肥物料,更加利于大豆产量的提高。

**关键词:**黑土;心土培肥;磷物料;大豆;产量;品质

**中图分类号:**S143.2

**文献标识码:**A

**DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2016.06.0981

## Different Phosphorus Fertilizer Material Subsoil Effect on Yield and Quality of Soybean

WANG Qiu-ju<sup>1</sup>, MI Gang<sup>2</sup>, ZHANG Jin-song<sup>1</sup>, GAO Zhong-chao<sup>1</sup>, JIANG Yu<sup>2</sup>, CUI Xi-an<sup>2</sup>, LIU Feng<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/The Key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Harbin 150086, China; 2. Heihe Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heihe 164300, China)

**Abstract:** In order to clarify the effects of different phosphorus materials in subsoil fertilizing on soybean growth, we compared five different phosphate fertilizers treatments (22.5% of  $P_2O_5$  content ground phosphate rock, 44% of  $P_2O_5$  content monoammonium phosphate, 28% of  $P_2O_5$  content ground phosphate rock, 46% of  $P_2O_5$  content triple superphosphate, 12% of  $P_2O_5$  content superphosphate) in subsoil-fertilizing, by using the subsoil plough and subsoil fertilizer plough in Nenjiang. The results showed that different phosphorus materials had significant difference in soybean fertility and yield. There were significant difference in chlorophyll content at full-blossom period and fruiting period. The soybean chlorophyll content and dry matter weight of 44%  $P_2O_5$  content monoammonium phosphate treatment was maximum, which increased 9.7% and 35.5% than the control group (CK), also higher than other different phosphorus fertilizer treatments, the yield increased significantly by 32.79% than the CK, and protein content was as high as 42.2%. The subsoil fertilizer should choose the suitable fertilizer materials according to the actual production conditions.

**Keywords:** Black soil; Subsoil fertilizer; Phosphorus fertilizers; Soybean; Yield; Quality

黑龙江省是我国主要的商品粮基地<sup>[1-2]</sup>,作为世界三大黑土带之一的东北黑土拥有近两个世纪的开垦历史<sup>[3]</sup>,在长期不合理的耕作管理方式下,黑土耕层变薄,土壤有机质含量减少,黑土肥力持续下降<sup>[4-5]</sup>,生产潜力降低,严重威胁农业生产的可持续发展<sup>[6-7]</sup>。面对黑土层变薄的问题,目前国内外的改良途径主要集中在生物改土、化学改土和耕作改土等方面<sup>[8-9]</sup>,因此要更好的提高瘠薄黑土的理化性质,提高其产量,需要在改良土壤物理状态的同时改良其不良的化学性质,将机械耕作改良与土壤培肥两者有机结合,收效更高。心土培肥是在心土混层耕的基础上,向瘠薄的心土层内投入化学

改土物质,是一种彻底改良土壤物理化学性质的综合改土技术,可进一步提高改土增产的效果<sup>[10]</sup>。在近期的一些研究中,很多学者也发现深层土壤中的养分对作物的生长起着重大作用,李晓林等<sup>[11]</sup>研究表明心土在供应作物养分和水分方面具有重要作用,这与心土培肥有异曲同工之效<sup>[12]</sup>。而磷素作为植物生长发育必需的大量元素之一,对植物生长发育和新陈代谢起着非常重要的作用<sup>[13]</sup>,同时,大豆产量构成因素受土壤磷水平的影响也较为显著,株高表现尤为明显,土壤磷水平越高的大豆株高增加越多<sup>[14]</sup>。同时,王立刚等<sup>[15]</sup>研究表明,大豆在整个生育期都要求有较高磷营养水平,特别是在幼苗

收稿日期:2015-07-03

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201303126-7);黑龙江省招标项目(2014BAD11B01-A027);黑龙江省农业科学院创新工程。

第一作者简介:王秋菊(1978-),女,博士,副研究员,主要从事土壤改良研究。E-mail:bjqiang@126.com。

通信作者:刘峰(1957-),男,博士,研究员,主要从事土壤改良研究。E-mail:liufengjms@163.com。

期,虽然植株对磷素吸收量较少,但却是大豆的需磷敏感期,可见磷素对大豆生育性状及产量影响之大。课题组前期工作研究了白浆土深耕改土及心土培肥技术,结果表明在白浆土上不同培肥种类对作物生长效果存在一定差异<sup>[16-18]</sup>。本研究在前期工作基础上,在瘠薄黑土上开展心土培肥技术研究,选择不同培肥物料,明确不同培肥物料对作物的影响效果,为因地制宜选择培肥物料,改善瘠薄土壤生产能力,提高作物产量提供理论基础。

表1 试验区土壤基础养分值

Table 1 Chemical characters of tested soil

深度 Depth /cm	碱解氮 Available N /(mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷 Available P /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K /(mg·kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N /%	全磷 Total P /%	全钾 Total K /%	pH	盐分 Salinity /(g·kg <sup>-1</sup> )	有机质 Organic matter /(g·kg <sup>-1</sup> )
0~10	266.0	16.4	251	0.237	0.090	266.0	6.38	0.14	46.8
10~20	228.0	15.3	165	0.247	0.088	228.0	6.08	0.14	45.6
20~30	222.6	10.3	159	0.246	0.078	222.6	6.31	0.11	43.4
30~40	106.4	8.6	153	0.123	0.046	106.4	5.86	0.11	16.7

## 1.2 试验设计

试验设5个处理,耕层正常施肥,施肥量:纯氮150 kg·hm<sup>-2</sup>,纯磷100 kg·hm<sup>-2</sup>,纯钾120 kg·hm<sup>-2</sup>(尿素326 kg·hm<sup>-2</sup>,二铵217.39 kg·hm<sup>-2</sup>,硫酸钾240 kg·hm<sup>-2</sup>),在心土层施不同磷物料,增施肥量纯磷量为75 kg·hm<sup>2</sup>对照为心土层不施肥(CK),具体施用磷物料处理如下:

A: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量22.5%的磷矿粉(磷矿粉1)166.67 kg·hm<sup>-2</sup>;

B: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量44%的磷酸一铵85.23 kg·hm<sup>-2</sup>;

C: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量28%的磷矿粉(磷矿粉2)133.93 kg·hm<sup>-2</sup>;

D: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量46%的重过磷酸钙81.52 kg·hm<sup>-2</sup>;

E: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量12%的过磷酸钙312.5 kg·hm<sup>-2</sup>。

小区面积200 m<sup>2</sup>,3次重复。播种方式为65 cm垄距双行精量平播,保苗株数30万株·hm<sup>-2</sup>左右,播种深度2~3 cm,5月9日播种。

## 1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤化学指标 各项化学指标测定均按照《土壤农业化学分析方法》测定<sup>[19]</sup>。

1.3.2 生育调查及产量 在盛花期和结荚期调查叶绿素含量、结荚期调查干物质积累量,并于成熟期田间取样(每处理选择代表性点连续10株进行考种、农艺性状调查)、室内考种测产。

1.3.3 叶绿素含量 参照张宪政主编的《作物生理研究法》<sup>[20]</sup>,采用丙酮乙醇混合法提取叶绿素,采

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

土壤类型为黑土,土壤基础性质如表1。

大豆黑河品系2085(嫩江农业推广中心自主选育测试品种),生育期90 d。试验中所使用的尿素:N≥46.2%,中农瑞利源;二铵:总养分≥57%,中国农资;硫酸钾:氧化钾≥51.0%,氯含量≤1.5%,硫含量≥17.5%,罗布泊。

用分光光度法进行测定。取各处理时期叶片剪成细条(1~2 mm宽),准确称取0.1 g,放入刻度试管,加混合提取液25 mL,避光常温提取,过夜。然后分别在663和645 nm波长下测定吸光值。

1.3.4 植株农艺性状 随机测定大豆苗株高,测量范围为从土面到生长点;收获大豆后用去离子水洗干净,置于烘箱中65~70℃烘干,72 h后称量植株干重;收获期对试验区不同处理大豆进行考种测产,调查项目包括株高、单株节数、有效荚数和单株粒数。

产量(kg) = 株数(株) × 株粒数(粒) × 百粒重(g) × 10<sup>-5</sup>

1.3.5 脂肪和蛋白含量 脂肪含量的测定采用索氏提取法<sup>[21]</sup>;采用Perten 8620近红外仪型测蛋白质含量,校正采用凯氏定氮法。

### 1.4 数据分析

数据运算采用Excel 2003和DPS V 14.10软件进行数据处理与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 磷物料培肥心土对大豆生育的影响

从表2大豆生育期调查结果可以看出,处理B(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量44%的磷酸一铵)的大豆出苗、开花、结荚和成熟期均早于其它处理样,但大豆生育期缩短不显著,其余处理对大豆生育期影响无变化,均与对照组相同;说明心土培肥施磷、施钙对大豆生育期的影响不大。

表2 不同处理大豆生育期田间调查结果

Table 2 Investigation results of soybean growth stages of different treatments in field

处理 Treatment	播种时间 Planting date /(month-day)	出苗期 Emerging date /(month-day)	开花期 Flowering period /(month-day)	结荚期 Fruiting date /(month-day)	成熟期 Mature date /(month, day)	生育期 Growth period /d
CK	6-09	6-21	7-10	8-05	9-27	89
A	6-09	6-21	7-10	8-05	9-27	89
B	6-09	6-20	7-09	8-03	9-26	88
C	6-09	6-21	7-10	8-05	9-27	89
D	6-09	6-21	7-10	8-04	9-27	89
E	6-09	6-21	7-10	8-05	9-27	89

## 2.2 磷物料培肥心土对大豆植株重量和叶绿素含量的影响

对大豆盛花期和结荚期进行叶绿素测定,测定结果如表3所示,两个时期大豆 SPAD 值均是处理 B( $P_2O_5$  含量 44% 的磷酸一铵)最高,与对照组相比最显著,分别是 47.23 和 51.68,其次为处理 A( $P_2O_5$  含量 22.5% 磷矿粉)大豆 SPAD 分别为 46.33 和 50.20,其它 3 个处理盛花期 SPAD 值在 43.5~44.2 之间,结荚期 SPAD 值在 45.4~47.2 之间,并且,结

荚期各处理 SPAD 值高于盛花期各处理。

表3大豆植株物质积累结果显示,处理 B( $P_2O_5$  含量 44% 的磷酸一铵)大豆在结荚期植株生物重和地上部分干鲜重均显著高于其余处理,整株鲜干重分别比对照组高 22.46 和 17.88 g,地上部分鲜干重分别比对照组高 22.27 和 19.99 g。其余各处理与对照组相比差异不显著,但 5 种处理植株鲜干重以及地上部分鲜干重均高于对照组。

表3 不同处理大豆植株重量及叶绿素含量

Table 3 Soybean reproductive traits and SPAD of different treatments

处理 Treatment	单株重量 Plant biological weight/g		单株地上部分重量 Shoot weight per plant/g		叶绿素含量 Chlorophyll content (SPAD)	
	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight	盛花期 Full-bloom stage	结荚期 Fruiting period
	CK	80.02 c	62.59 c	71.35 c	56.29 c	43.48 b
A	81.70 c	63.06 c	73.32 c	58.16 c	46.33 a	50.20 b
B	102.48 a	80.47 a	93.62 a	76.28 a	47.23 a	51.68 a
C	90.96 b	75.19 b	82.98 b	66.63 b	44.14 b	47.23 c
D	81.34 c	64.51 c	72.02 c	57.96 c	43.07 b	45.74 de
E	92.18 b	75.87 b	81.38 b	64.88 b	43.84 b	46.34 d

同列数值后不同字母分别表示差异达到 5% 显著水平,下同。

Values in the same line followed by different lowercase are significantly different at 0.05 probability levels, the same below.

## 2.3 磷物料培肥心土对大豆农艺性状、产量和品质的影响

如表4所示,处理 B( $P_2O_5$  含量 44% 磷酸一铵)大豆植株株高最高,为 46.10 cm,比对照高 8.85 cm,其余处理株高为 37.10~39.55 cm;从单株荚数上看,处理 B 大豆荚数最多(26.85 个),依次为 CK、处理 D 和处理 A,分别达到 22.35,21.20,20.55 个,较低的为处理 C(磷矿粉 2)和处理 E(正常施肥 + 过磷酸钙),分别为 17.56 和 15.90 个;从单株粒数看,处理 B 最多为 54.00 个,最少的为处理 E,粒数仅为 33.10 个,其余均在 41.75~47.75 个范围内;百粒重也以处理 B 最高,为 19.67 g,其次为处理 C(18.17 g),其它处理为 17.40~17.90 g。综合品种

农艺性状各项指标来看,以处理 B( $P_2O_5$  含量 44% 磷酸一铵)在株高、单株荚数、粒数、百粒重等产量构成要素上均优于其它处理,以处理 E 过磷酸钙处理各项指标最差。不同处理产量分析差异达到显著水平,从最终产量结果来看,处理 B( $P_2O_5$  含量 44% 磷酸一铵)产量最高,增产 32.79%,其次为处理 D( $P_2O_5$  含量 46% 的重过磷酸钙)增产 27.72%,而处理 E 则减产 5.86%,不利于作物增产。

同时,表4结果显示,处理 C( $P_2O_5$  含量 28% 的磷矿粉)、处理 D( $P_2O_5$  含量 46% 的重过磷酸钙)、处理 E( $P_2O_5$  含量 12% 的过磷酸钙)大豆脂肪含量较高,分别为 21.16%、21.00%、21.09%,处理 B( $P_2O_5$  含量 44% 的磷酸一铵)脂肪含量最低,为

19.62%,但处理间与对照组相比差异不显著,说明各处理对大豆脂肪含量影响差异较小。对大豆蛋白质含量测定结果显示,处理B( $P_2O_5$ 含量44%的磷酸一铵)蛋白质含量最高,达到42.20%,比处理A( $P_2O_5$ 含量22.5%的磷矿粉)、处理C( $P_2O_5$ 含量

28%的磷矿粉)、处理D( $P_2O_5$ 含量46%的重过磷酸钙)、处理E( $P_2O_5$ 含量12%的过磷酸钙)和CK分别提高2.00%、2.45%、2.56%、2.60%、3.45%,所有处理蛋白质含量均高于对照组含量,说明心土培肥施磷和钙对大豆蛋白质含量影响较大。

表4 不同处理大豆的农艺性状产量及品质调查

Table 4 The soybean quality and agronomic characters of different treatments

处理 Treatment	株高 Plant height /cm	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100-seed weight	产量 Yield /( $kg \cdot hm^{-2}$ )	增产率 Increase rate/%	蛋白质含量 Protein content/%	脂肪含量 Fat content /%
CK	37.25 b	22.35 b	47.75 b	17.40 b	1656 c	-	38.75 c	20.39 ab
A	38.90 b	20.55 c	41.75 c	17.80 b	1656 c	0	40.20 b	20.32 ab
B	46.10 a	26.85 a	54.00 a	19.67 a	2199 a	32.79	42.20 a	19.62 b
C	38.10 b	17.65 d	42.05 c	18.17 b	1867 b	12.74	39.75 b	21.16 a
D	39.55 b	21.20 c	46.65 b	17.90 b	2115 a	27.72	39.64 b	21.00 ab
E	37.10 c	15.90 e	33.10 d	17.73 b	1559 c	-5.86	39.60 b	21.09 ab

### 3 讨论

本研究在黑土上进行深耕培肥,通过调查研究发现,磷酸一铵、重过磷酸钙、 $P_2O_5$ 含量28%的磷矿粉都具有促进大豆生长发育,提高大豆叶绿素含量、干物质重量、提高大豆产量、改善品质的作用。在该类型土壤上不同肥料对大豆生长作用不同, $P_2O_5$ 含量44%磷酸一铵对大豆生长影响效果最显著,分析由于施用的磷酸一铵大多是以料浆法生产的,其pH值为4.8,呈酸性,施入土壤后,可使根际pH<7.0,从而延缓了氨的挥发,进而提升了肥料的整体利用效果<sup>[22-23]</sup>,利于促进作物生长,提高作物产量。由于施入土壤内的磷酸盐具有特定的土壤化学行为,大部分很快被土壤胶体吸附或固定,很快转化为不能被植物吸收利用的非有效态,加之磷在土壤中的移动性较小,导致磷肥的当季利用率较低<sup>[24-26]</sup>,因此重过磷酸钙、 $P_2O_5$ 含量28%的磷矿粉处理在该类型土壤上对大豆产量影响较 $P_2O_5$ 含量44%磷酸一铵处理下降;而 $P_2O_5$ 含量12%的过磷酸钙处理大豆减产5.86%,分析在该类型土壤上 $P_2O_5$ 含量12%的过磷酸钙有效磷含量较低且品质不稳定,入土后容易被固定,不利于大豆对土壤养分的吸收<sup>[27]</sup>,所以导致作物产量降低;同时可能是由于过磷酸钙吸附氨饱和后呈强碱性,施用土壤不利于作物吸收<sup>[28]</sup>,不同形态的磷酸钙盐发生系列的化学反应,最终形成了磷酸钙沉淀,从而降低了磷肥的效性,这种难溶性化合物的形成在影响磷肥有效性的同时也影响了钙肥的有效性<sup>[29]</sup>,从而不利于作物生长,需要进一步研究改善,也是我们后期的工作重点所在。

### 4 结论

心土培肥施用不同磷肥对大豆生育性状及产量均有不同程度影响,其中 $P_2O_5$ 含量44%的磷酸一铵处理效果最显著,大豆增产32.79%,植株鲜重提高28.07%,干重提高28.57%,蛋白质含量提高3.45%。结果表明瘠薄黑土通过心土培肥能够有效改善土壤养分,利于作物增产,起到改良土壤的作用。

### 参考文献

- [1] 国家统计局黑龙江调查总队. 2014年黑龙江统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2014. (Heilongjiang Survey Corps of National Bureau of Statistics. Heilongjiang Statistical Yearbook, 2014 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2014.)
- [2] 魏丹,匡恩俊,迟凤琴,等. 东北黑土资源现状与保护策略[J]. 黑龙江农业科学,2016(1):158-161. (Wei D, Kuang E J, Chi F Q, et al. Status and protection strategy of black soil resources in northeast of China [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2016(1):158-161.)
- [3] 赵纪昌. 推行科学耕作拯救黑土地[J]. 农机化研究,2004(1):23-24. (Zhao J C. Practice scientific tillage to rescue blackland [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004(1):23-24.)
- [4] 陈鹏,王海军,姜建祥. 松嫩平原土壤盐渍化的逆向演替规律研究[J]. 吉林农业科学,2002,27(3):40-42. (Chen P, Wang H J, Jiang J X. Study on the reverse succession law of soil salinization in Songnen Plain [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2002,27(3):40-42.)
- [5] 杨长明,杨林章. 有机无机肥配施对水稻剑叶光合特性的影响[J]. 生态学杂志,2003,22(1):1-4. (Yang C M, Yang L Z. Effects of combined application of organic manure and chemical fertilizers on photosynthetic characteristics of rice flag leaves [J].

- Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(1):1-4. )
- [6] 崔海山,张柏,于磊,等. 中国黑土资源分布格局与动态分析[J]. 资源科学, 2003, 25(3): 64-68. (Cui H S, Zhang B, Yu L, et al. Pattern and change of black soil resources in China[J]. Resources Science, 2003, 25(3): 64-68. )
- [7] 王小兵,吴元元,邓玲. 东北黑土区黑土退化防治与保护研究[J]. 资源与产业, 2008, 10(3): 81-83. (Wang X B, Wu Y Y, Deng L. Approaches to black soil degeneration in Northeast China[J]. Resources & Industries, 2008, 10(3): 81-83. )
- [8] 张桃林,王兴祥. 土壤退化研究的进展与趋向[J]. 自然资源学报, 2001, 5(3): 280. (Zhang T L, Wang X X. Development and orientation of research work on soil degradation[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 5(3): 280. )
- [9] 于磊,张柏. 中国黑土退化现状与防治对策[J]. 干旱区资源环境, 2004, 18(1): 99-103. (Yu L, Zhang B. The degradation situations of black soil in china and its prevention and counter measures[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2004, 18(1): 99-103. )
- [10] 高盼,王秋菊,高中超,等. 心土层对作物生育影响及其改良效果的研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(24): 23-26. (Gao P, Wang Q J, Gao Z C, et al. Research progress of effect on crop growth and improvement of subsoil[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2004, 18(1): 99-103. )
- [11] 李晓林,陈新平,崔俊霞,等. 不同水分条件下表层施磷对小麦吸收下层土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1995(7): 40-45. (Li X L, Chen X P, Cui J X, et al. Uptake of nutrients from subsoil by wheat as affected P supply under different soil moistures[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Sciences, 1995(7): 40-45. )
- [12] 王秋菊,刘峰,高中超,等. 心土培肥犁改良瘠薄土壤的效果[J]. 农业工程学报, 2016, 32(6): 27-33. (Wang Q J, Liu F, Gao Z C, et al. Subsoil fertilization plow and its effect on improving barren soil[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(6): 27-33. )
- [13] 丁玉川,陈明昌,程滨,等. 不同大豆品种磷吸收利用特性比较研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(9): 1791-1797. (Ding Y C, Chen M C, Cheng B, et al. Phosphorous uptakes and uses of different soybean varieties[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(9): 1791-1797. )
- [14] 蔡柏岩,葛菁萍. 不同磷肥水平对大豆磷营养状况和产量品质性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 404-410. (Cai B Y, Ge J P. Effect of phosphorus levels on soybean phosphorus nutrition, yield and quality[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(3): 404-410. )
- [15] 王立刚,刘克礼,高聚林,等. 大豆对磷素吸收规律的研究[J]. 大豆科学, 2007, 26(1): 30-35. (Wang L G, Liu K L, Gao J L, et al. Study on the law of phosphorus absorption in soybean[J]. Soybean Science, 2007, 26(1): 30-35. )
- [16] 刘峰,贾会彬,赵德林,等. 白浆土心土培肥效果的研究[J]. 黑龙江农业科学, 1997(3): 1-4. (Liu F, Jia H B, Zhao D L, et al. Effect of subsoil-fertilizing of lessive soil[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 1997(3): 1-4. )
- [17] 匡恩俊. 心土培肥改良白浆土效果及机理的研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2008. (Kuang E J. Effect and mechanism of subsoil fertilization on the albic luvisol improvement[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2008. )
- [18] 匡恩俊,刘峰,郭文义. 心土培肥改良白浆土后效调查[J]. 黑龙江农业科学, 2008(3): 56-59. (Kuang E J, Liu F, Guo W Y. Effect on physical-chemical properties of planosol with subsoil fertilizing[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2008(3): 56-59. )
- [19] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. (Soil Science Society of China. Soil agricultural chemical analysis method[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999. )
- [20] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1992. (Zhang X Z. Crop physiological study method[M]. Beijing: Agriculture Press, 1992. )
- [21] 中华人民共和国质量技术监督局. GB/T 2906-1982 谷物、油料作物种子粗脂肪测定方法[S]. 1982. (Quality and Technical Supervision of China. GB/T2906-1982 grain and oil crop seeds crude fat method[S]. 1982. )
- [22] 任树山. 国产磷酸一铵在石灰性(碱性)土壤的肥效及施用技术简介[J]. 农资科技, 2001(4): 19. (Ren S S. Domestic phosphate in alkaline soil fertilizer effect and application of technology introduction[J]. Chinese Agricultural Material, 2001(4): 19. )
- [23] 吴鲁智,张清海,牛河钧,等. 磷酸一铵在石灰性土壤上的肥效及施用技术[J]. 磷肥与复肥, 1999(4): 67-70. (Wu L Z, Zhang Q H, Niu H J, et al. The availability of MAP on limy soil and its application technique[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 1999(4): 67-70. )
- [24] 解锋,李颖飞. 土壤中磷的形态及转化的探讨[J]. 杨凌职业技术学院学报, 2011, 10(1): 4-9. (Xie F, Li Y F. Discussion on phosphorus forms and transformation in soil[J]. Journal of Yangling Vocational & Technical College, 2011, 10(1): 4-9. )
- [25] 李亚娟. 改性磷矿粉在石灰性土壤上的肥效及其作用机理的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005. (Li Y J. The effects of modified phosphate rock on spring wheat in calcareous soil and their mechanism[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2005. )
- [26] 冯兆滨. 活化磷矿粉的土壤反应和植物有效性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2006. (Feng Z B. Soil reaction and plant availability of an activated phosphorus rock powder[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Master Dissertation, 2006. )
- [27] 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. (Cheng M F, He P, Jin J Y. Advance of phosphate recovery rate in Chinese main crops[J]. Crops, 2010(1): 12-14. )
- [28] 吕丹丹,种云霄,吴启堂. 过磷酸钙对氨气的吸附解吸特性研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(11): 2506-2510. (Lyu D D, Zhong Y X, Wu Q T. Adsorption and desorption of calcium superphosphate to ammonia gas[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(11): 2506-2510. )
- [29] 易江婷. 不同速效磷水平植烟土壤磷肥施用效应的研究[D]. 福建: 福建农林大学, 2009. (Yi J T. Studies on effects of fertilizer application in tobacco soil with different levels of available phosphorus[D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009. )