

砖红壤上淋施不同聚合度的聚磷酸铵对玉米苗期生长及养分累积的影响

杨依彬, 余柚朴, 邓兰生, 张承林*, 陈小娟, 陈煜林 (华南农业大学资源环境学院, 广东广州 510642)

摘要 通过盆栽试验, 研究不同聚合度的聚磷酸铵 (APP) 和磷酸二氢铵 (MAP) 对玉米苗期地上部长势以及各养分累积量的影响。结果表明, 施用磷肥明显提高了玉米长势和养分吸收, 在生物量、氮、磷、锌、铁养分累积量上, MAP 肥效最为显著, 明显促进了玉米苗期的生长, 其地上部干重达 12.21 g/株, 磷累积量较 APP 增加了 40% 以上, 锌累积量是 APP 的 3 倍多, 而不同 APP 之间则差异不显著; 在钾、钙、镁、锰养分累积量上, APP1 肥 (低聚磷酸盐) 和 MAP 肥 (正磷酸盐) 差异不显著。说明在砖红壤上, MAP 的作用效果最好, 不同形态 APP 之间差异不显著。

关键词 玉米; 聚磷酸铵; 磷酸二氢铵; 养分累积

中图分类号 S147.2 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)13-0146-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.13.045



开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):

Effects of Different Ammonium Polyphosphate on Growth and Nutrient Accumulation of Corn on Latosols

YANG Yi-bin, YU You-pu, DENG Lan-sheng et al (College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642)

Abstract Pot experiments were conducted to study the effects of different degree of polymerization of ammonium polyphosphate (APP) and ammonium dihydrogen phosphate (MAP) on aboveground growth potential and nutrient accumulation of maize seedlings. The results showed that application of phosphorus fertilizer significantly improved maize growth vigor and nutrient uptake. In terms of biomass, nitrogen, phosphorus, zinc and iron nutrient accumulation, MAP fertilizer had the most significant effect, significantly promoted maize growth at seedling stage. Its shoot dry weight reached 12.21 g/plant, phosphorus accumulation increased by more than 40% compared with APP, and zinc accumulation was more than three times that of APP, but there was no significant differences between different APPs. There was no significant differences between APP1 fertilizer (oligophosphate) and MAP fertilizer (orthophosphate) in the accumulation of magnesium and manganese nutrients. The results showed that the effect of MAP was the best in latosol, and there was no significant difference among different forms of APP.

Key words Corn; Ammonium polyphosphate; Ammonium dihydrogen phosphate; Nutrient accumulation

磷肥施入土壤后, 易与土壤中富含的铁铝氧化物和水化氧化物、层状硅酸盐、碳酸钙以及钙、铁、铝等发生沉淀反应和吸附反应, 导致磷肥利用率大幅降低, 在砖红壤中表现更明显^[1-2]。近年来, 国内市场上逐渐出现了以聚磷酸铵 (简称 APP) 为代表的新型磷肥, 其磷源是由大部分正、焦、三聚和少部分四聚及其以上组成的聚合态磷酸混合物, 在发达国家尤其是美国已广泛应用于颗粒肥和液体肥料生产, 普遍施用于农田中^[3]。

研究表明, APP 具有长效速效相结合的特点, 在土壤中缓慢水解为正磷酸盐供作物吸收, 而不同聚合态的聚磷酸铵在土壤中的水解吸附特性不同, 对作物的养分吸收也会有不同的效果^[4-7], Rhue 等^[8]通过多年田间试验发现在低磷土壤中, 施用颗粒 DAP 与液体 APP 对马铃薯的肥效无明显差异, 但 APP 明显增加了马铃薯对 Ca、Mn、Mg、Zn 等养分的吸收; Ghosh 等^[9]在酸性淋溶土上进行小麦-大豆轮作试验, 发现聚磷酸铵的肥效明显优于二铵以及其他水溶性磷肥处理的肥效。

国外对 APP 的肥效研究主要以石灰性、中性土或砂壤土为主, 我国对聚磷酸铵在农业生产上的应用研究尚处于初级阶段。广东、广西、云南、海南等地分布大量的砖红壤, 其铁铝化合物高度富集, 大部分磷以土壤铁铝氧化物固定态或

有机磷形态存在, 对磷的固定能力极强^[10], 因此, 研究 APP 在砖红壤上的应用效果对于南方农作物生产具有重要的参考意义。笔者在前人研究的基础上, 以磷酸一铵 (MAP) 为对照, 探讨在砖红壤上淋施不同聚合度的 APP 肥料对玉米苗期生长的影响, 以期为大田 APP 应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试作物: 玉米 (品种为郑单 958); 供试土壤: 砖红壤, 质地为黏壤土, 取自广东省湛江市徐闻县。土壤基本性质: pH 5.2, EC 131 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 有机质 15.4 g/kg, 碱解氮 39.5 mg/kg, 有效磷 0.08 mg/kg, 速效钾 33.3 mg/kg, 有效锰 8.01 mg/kg, 有效锌 0.33 mg/kg, 有效铁 3.56 mg/kg, 有效铜 0.38 mg/kg, 交换性钙 2.01 $\text{cmol}(1/2\text{Ca}^{2+})/\text{kg}$, 交换性镁 0.64 $\text{cmol}(1/2\text{Mg}^{2+})/\text{kg}$ 。属严重缺磷土壤。

供试肥料: 试验所用配方肥由不同的磷原料配制而成, 补齐氮、钾及中微量养分。2 种固体 APP 原料均由四川大学化工学院提供 (APP 的聚合态分布见表 1), MAP 为工业级磷酸二氢铵。追施所用配方肥分别为 APP1 配方肥 (7-10-4+TE)、APP2 配方肥 (21-30-12+TE)、MAP 配方肥 (4.7-6.7-2.7+TE)、无磷配方肥 (7-0-4+TE)。

供试装置: 塑料盆及配套塑料托盘。规格: 上部内径 22 cm, 高 24 cm, 下部直径 16 cm。

1.2 试验设计 按照不同磷源设置 5 个追施处理, 每个处理 4 个重复, 完全随机排列。每盆装土 5 kg, 将肥料溶解后追施 (等氮磷钾养分)。设置 5 个追肥处理: 不施肥 (CK)、无磷液体配方肥 (P_0)、APP1 固体配方肥 (P_1)、APP2 固体配方

基金项目 国家重点研发项目 (2016YFD0200404)。

作者简介 杨依彬 (1989—), 女, 福建仙游人, 农艺师, 硕士, 从事植物营养以及新型肥料的研究与开发工作。* 通信作者, 教授, 硕士生导师, 从事作物营养与施肥理论和技术研究。

收稿日期 2019-01-10

表 1 APP 中磷形态构成

Table 1 Phosphorus morphological composition in APP %

序号 No.	P ₂ O ₅	APP1	APP2
1	正磷酸盐	5.09	0.49
2	焦磷酸盐	22.69	1.39
3	三聚磷酸盐	15.16	10.18
4	四聚磷酸盐	5.04	22.59
5	五聚磷酸盐	0.20	6.34
6	多聚磷酸盐	0.24	2.64
	总磷	48.42	43.00

肥(P₂)、MAP 液体配方肥(P₃)。2017 年 3 月 26 日选取长势均匀的玉米苗, 移苗定植, 每盆 1 株, 2017 年 4 月 2 日第一次

表 2 配方肥追肥用量

Table 2 Application amount of formula fertilizer

g/盆

处理 Treatment	第 1、2 次每次施肥量 The first and second fertilizer application amount each time				第 3、4 次每次施肥量 The third and fourth fertilizer application amount each time			
	配方肥 Formula fertilizer	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	配方肥 Formula fertilizer	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	—	—	—	—	—	—	—	—
P ₀	3.0	0.21	0	0.12	6	0.42	0	0.24
P ₁	3.0	0.21	0.3	0.12	6	0.42	0.6	0.24
P ₂	1.0	0.21	0.3	0.12	2	0.42	0.6	0.24
P ₃	4.5	0.21	0.3	0.12	9	0.42	0.6	0.24

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米生长性状的影响 由表 3 可知, 淋施不同磷肥对玉米株高和地上部干重的影响趋势相同。施用磷肥(P₁、P₂、P₃)的玉米生物量显著高于未施磷肥处理(CK、P₀), 不同 APP(P₁、P₂)之间在各生物量上均无显著差异, P₁(APP1 肥)和 P₃(MAP 肥)处理对株高和地上部干重均有促进作用。P₃(MAP 肥)处理在株高上显著高于 P₂(APP2 肥)处理 11.8 cm。在地上部干重方面, P₃ 处理较 P₂ 处理显著增加了 20.7%。因此, P₁(APP1 肥)和 P₃(MAP 肥)对玉米生物量的作用效果无差异。

表 3 不同处理对玉米生长性状的影响

Table 3 Effects of different treatments on growth traits of maize

处理 Treatment	株高 Plant height cm	茎粗 Stem diameter mm	地上部干重 Dry weight above ground//g/株
CK	96.4±2.7 c	8.83±0.48 c	3.30±0.40 c
P ₀	97.6±4.6 c	10.32±0.53 b	2.97±0.45 c
P ₁	143.3±2.9 ab	16.23±0.56 a	10.73±0.66 ab
P ₂	139.0±3.2 b	15.82±0.33 a	10.12±0.49 b
P ₃	150.8±1.7 a	16.17±0.53 a	12.21±0.51 a

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant differences between different treatments(P<0.05)

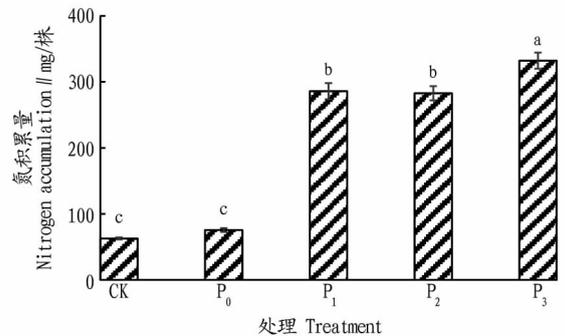
2.2 不同处理对玉米地上部氮磷钾养分累积量的影响 由图 1、2 可知, 淋施不同磷肥对氮磷养分累积量影响一致, 对照(CK)与无磷肥处理的氮磷养分累积量相同, 不同 APP 肥处理对氮磷累积量无显著影响。与对照相比, 施用磷肥(P₁、P₂、P₃)明显促进了玉米地上部对氮磷养分的吸收, 尤其是 P₃(MAP 肥)处理, 效果更为显著。P₁(APP1 肥)、P₂(APP2 肥)

施肥, 2017 年 4 月 9 日第 2 次施肥, 2017 年 4 月 17 日第 3 次施肥, 2017 年 4 月 24 日第 4 次施肥。4 月 30 日收获。各配方肥追肥用量见表 2。

1.3 测定项目与方法 玉米收获时, 分别测量各处理植株的株高、地上部生物量和植株氮、磷、钾、锌、钙、镁、铁、锰的养分含量。株高: 垂直拉伸植株达到最高点, 然后用卷尺测量从地表到植株最高点的高度, 齐土面剪下地上部; 茎粗: 用游标卡尺测定, 测定标准为距离地面 10 cm 高度的玉米茎粗度; 地上部生物量: 玉米植株地上部样品于 105 ℃ 下杀青 30 min, 75 ℃ 下烘干 48 h 称重; 玉米植株氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰、锌养分含量: 参照《土壤农业化学分析方法》测定^[11]。

养分累积量(mg/株)=植株干物质重×植株养分含量。

处理在氮累积量方面显著高于 P₀(无磷肥)处理 278.1%、274.0%, P₃ 处理的氮累积量分别较 P₁、P₂ 处理显著增加 16.2%、17.5%; 在磷累积量方面, CK 和 P₀ 处理吸磷量极低, P₃ 处理比 P₁、P₂ 处理分别高 42.0%、47.1%。



注: 不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)

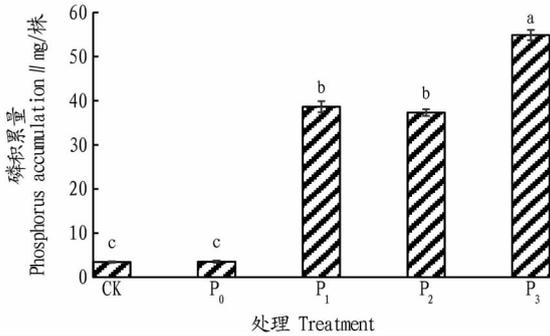
Note: Different lowercase letters in the same column mean significant differences between different treatments(P<0.05)

图 1 不同处理对玉米地上部氮累积量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on nitrogen accumulation in the upper part of maize

由图 3 可知, 不同磷肥处理对钾累积量的影响不同, 随着供试磷肥正磷酸盐含量的升高而增加, MAP 肥处理对玉米钾累积量的增加最为明显。钾累积量表现为 P₃(MAP 肥)>P₁(APP1 肥)>P₂(APP2 肥)>P₀(无磷肥)>CK。与 CK 相比, P₀ 处理显著高 92.7%, P₂ 处理的钾累积量较无磷肥处理显著增加了 2 倍, P₁ 处理较 P₂ 处理显著增加 45.85 mg/株, P₃ 处理的钾累积量显著高于 P₁ 处理 13.7%。

综上所述, 在玉米苗期, 正磷酸盐更能促进玉米氮磷钾



注:不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant differences ($P < 0.05$)

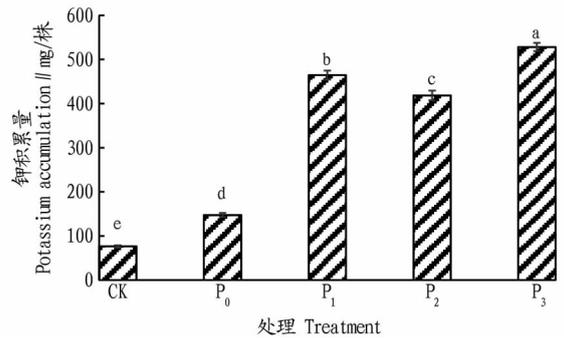
图2 不同处理对玉米地上部磷积累量的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on phosphorus accumulation in the upper part of maize

养分的吸收,聚合态磷酸盐限制了玉米地上部对土壤内大量元素的吸收。

2.3 不同处理对玉米地上部中微量养分积累量的影响 由表4可知,施用磷肥促进了玉米地上部钙镁养分的累积,P₃(MAP肥)处理的钙累积量最高,P₁(APP1肥)和P₃(MAP肥)处理对玉米地上部镁养分的吸收效果一致。在钙养分吸收效果上,P₃处理较P₁处理显著增加了14.0%,P₁处理显著高于P₂处理17.3%;P₃、P₁处理对玉米镁养分的吸收较

P₂处理分别提高了39.6%、26.7%。



注:不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant differences between different treatments ($P < 0.05$)

图3 不同处理对玉米地上部钾积累量的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on potassium accumulation in the upper part of maize field

淋施磷肥明显促进玉米地上部对锌、铁、锰的吸收,其中,P₃(MAP肥)处理对玉米锌铁的吸收效果最佳,P₃和P₁(APP1肥)处理对玉米锰的吸收效果相同。P₁、P₂(APP2肥)处理的玉米锌累积量分别为P₀(无磷肥)的1.9倍、1.8倍,P₃处理的锌累积量则为P₁处理的3.0倍、P₂处理的3.3倍;P₃处理对铁累积量较P₁、P₂处理增加了49.7%、59.7%;P₃、P₁处理的锰累积量显著高于P₂处理20.7%、22.4%。

表4 不同处理对玉米地上部养分积累量的影响

Table 4 Effects of different treatments on nutrient accumulation in the upper part of maize

处理 Treatment	钙 Calcium	镁 Magnesium	锌 Zinc	铁 Iron	锰 Manganese
CK	17.67±0.97 d	19.58±1.04 c	0.15±0.02 c	0.71±0.07 d	0.47±0.06 c
P ₀	21.42±0.95 d	15.27±1.61 d	0.23±0.02 c	1.79±0.11 c	0.49±0.04 c
P ₁	46.54±2.04 b	38.46±1.51 a	0.44±0.02 b	3.34±0.15 b	1.42±0.05 a
P ₂	39.68±0.78 c	30.36±0.60 b	0.41±0.01 b	3.13±0.16 b	1.16±0.05 b
P ₃	53.06±2.42 a	42.39±1.77 a	1.37±0.09 a	5.00±0.17 a	1.40±0.05 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant differences between different treatments ($P < 0.05$)

3 结论与讨论

该试验中,在砖红壤上进行玉米种植时,施磷不仅促进作物生长发育,也增加作物干重,还能促进植株体内各养分累积量,提高土壤有效磷。与前人施磷肥增加产量结果一致。邢月华等^[12]研究表明玉米施磷处理比不施磷处理增产3.25%~21.50%,施用磷肥在一定程度上促进了玉米对氮磷钾养分的吸收利用;田间玉米试验结果显示增施磷肥可以显著增加土壤微生物数量、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性,进而增加玉米干物质量,显著提高玉米产量^[13]。

国外研究普遍认为,聚磷酸铵肥效与土壤理化性质、土壤温度及作物种类有关,部分研究认为25℃条件下,不同土壤上不同聚合态磷水解很快,基本不影响作物对磷的吸收利用,且聚磷酸盐和正磷酸盐在酸土中的供磷能力一致^[8,14];在碱性土上进行的玉米苗期盆栽试验发现聚磷酸铵与磷酸氢二铵合理配比对玉米的生长效果最好,施用聚磷酸铵可有效提高玉米地上部磷和锌累积量以及根系锌累积量^[15]。然

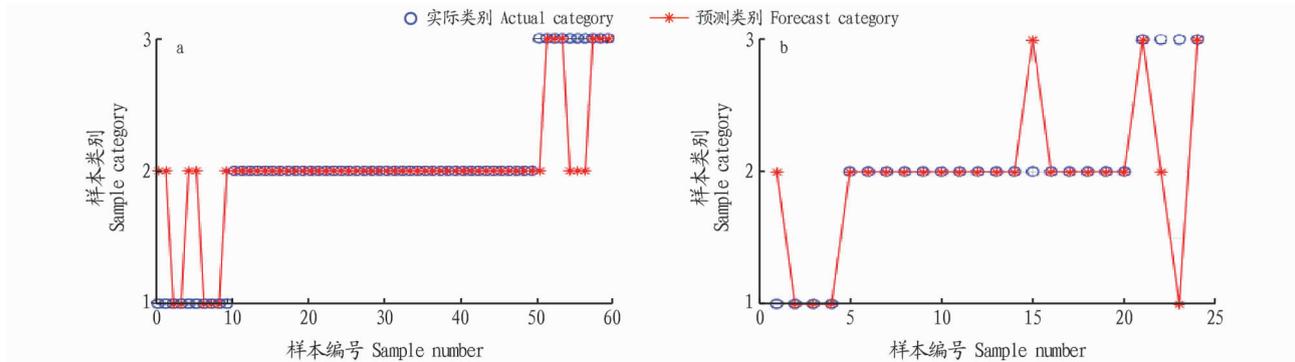
而,该研究发现,不同APP在生物量、氮、磷、锌、铁养分累积量上无显著差异,而MAP肥处理的玉米在养分累积上效果最佳;在钾、钙、镁、锰累积量上,APP1肥(低聚磷酸盐)和MAP肥(正磷酸盐)显著高于APP2肥(中高聚磷酸盐),说明正磷酸盐或低聚磷酸盐含量更高更能促进作物对玉米的养分吸收。该试验结果可能与土壤理化性质有关,前人研究多选用砂壤土、粉壤土、壤土或碱性壤土,APP肥效与MAP肥效等同,甚至效果更好,更能促进作物对养分的吸收利用,该试验则采用强酸性砖红壤,固磷能力较强,对聚磷酸盐的吸附能力更强,且聚磷酸盐水解为正磷酸盐根据条件的不同需要4~100 d^[7],各影响因素的不同导致肥效结果的差异。

该研究结果表明,在砖红壤上,磷肥的施用明显提高了玉米的长势,促进了玉米地上部对养分的吸收,聚磷酸铵的玉米苗期肥效明显低于磷酸一铵的肥效,并未在苗期表现出促进作物生长、提高养分吸收的优势,说明聚磷酸铵可能并

(下转第187页)

标准正态变换(SNV)、多元散射校正(MSC)、一阶导数(FD)及二阶导数(SD)结合核主成分分析(KPCA)等光谱预处理方法对 ELM 模型预测性能的影响。结果显示, MSC+KPCA

预处理下, ELM 模型的预测效果最优, 训练集及测试集的正确识别率分别为 86.67% 和 83.33%。可见近红外光谱技术结合 ELM 在牛肉中猪肉掺假的快速鉴定方面具有很大潜力。



注:纵坐标上的“1”表示纯牛肉;“2”表示牛肉掺假猪肉;“3”表示纯猪肉

Note:“1” on the ordinate indicates pure beef;“2” indicates beef adulteration with pork;“3” indicates pure pork.

图2 MSC+KPCA 预处理下 ELM 模型训练集(a)和测试集(b)识别结果

Fig. 2 Identification results of the training set(a) and testing set(b) of ELM model under MSC+KPCA preprocessing

参考文献

- [1] OECD, Food, Agriculture Organization of the United Nations. OECD-FAO agricultural outlook 2018–2027[M]. Paris: OECD, 2018.
- [2] 李婷婷, 张桂兰, 赵杰, 等. 肉及肉制品掺假鉴别技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(2): 409–415.
- [3] 张娟, 张申, 张力, 等. 电子鼻结合统计学分析对牛肉中猪肉掺假的识别[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 296–300.
- [4] ROPODI A I, PAVLIDIS D E, MOHAREB F, et al. Multispectral image analysis approach to detect adulteration of beef and pork in raw meats[J]. Food research international, 2015, 67: 12–18.
- [5] GRASSI S, ALAMPRESE C. Advances in NIR spectroscopy applied to process analytical technology in food industries[J]. Current opinion in food science, 2018, 22: 17–21.
- [6] ALAMPRESE C, CASALE M, SINELLI N, et al. Detection of minced beef

- adulteration with turkey meat by UV-vis, NIR and MIR spectroscopy[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(1): 225–232.
- [7] MORSY N, SUN D W. Robust linear and non-linear models of NIR spectroscopy for detection and quantification of adulterants in fresh and frozen-thawed minced beef[J]. Meat science, 2013, 93(2): 292–302.
- [8] 孟一, 张玉华, 王家敏, 等. 基于近红外光谱技术快速识别不同动物源肉品[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 156–158.
- [9] 张丽华, 郝雨花, 李顺峰, 等. 基于支持向量机的近红外光谱技术快速鉴别掺假羊肉[J]. 食品工业科技, 2015, 36(23): 289–293.
- [10] 韩方凯, 张雪柯, 吕日琴, 等. 基于极限学习机的高品质葡萄酒等级识别模型[J]. 宿州学院学报, 2018, 33(2): 101–104.
- [11] 梁晓燕, 郭中华, 钱文瑶, 等. 基于高光谱和极限学习机的冷鲜羊肉颜色无损检测[J]. 食品工业科技, 2016, 37(24): 69–73.
- [12] 黎源鸿, 王红军, 邓建猛, 等. 基于 PCA-ELM 和光谱技术预测香蕉成熟度[J]. 现代食品科技, 2017, 33(10): 268–274.

(上接第 148 页)

不适用于砖红壤上,或是由于其水解吸附特性,可能在苗期很难表现出其肥效优势,需要在不同土壤上或是进行作物整个生长期的肥效试验来进一步验证聚磷酸铵的肥效,为农业生产提供更多参考与指导。

参考文献

- [1] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 196–202.
- [2] 邱燕, 张鼎华. 南方酸性土壤磷素化学研究进展[J]. 福建稻麦科技, 2003, 21(3): 14–17.
- [3] DOMINGO S. Improvement of polyphosphates as soil fertilizers[D]. Manhattan: Kansas State University, 1985.
- [4] BLANCHARD R W, HOSSNER L R. Hydrolysis and sorption reactions of orthophosphate, pyrophosphate, tripolyphosphate, and trimetaphosphate anions added to an Elliot soil[J]. Soil science society of America journal, 1969, 33(1): 141–144.
- [5] STROECHLEIN J I, SABET S A, CLEMENTIZ D M. Response of plants to polyphosphate on calcareous soils[J]. Agronomy journal, 1968, 60(5): 576–577.
- [6] SUBBARAO Y V, ROSCOE E. Reaction products of polyphosphates and orthophosphates with soils and influence on uptake of phosphorus by plants[J]. Soil science society of America journal, 1975, 39(6): 1085–1088.

- [7] SUTTON C D, GUNARY D, LARSEN S. Pyrophosphate as a source of phosphorus for plants. II. Hydrolysis and initial uptake by a barley crop[J]. Soil science, 1966, 101(3): 199–209.
- [8] RHUE R D, HENSEL D R, YUAN T L, et al. Ammonium orthophosphate and ammonium polyphosphate as sources of phosphorus for potatoes[J]. Soil science society of America journal, 1981, 45: 1229–1233.
- [9] GHOSH G K, MOHAN K S, SARKAR A K. Characterization of soil-fertilizer P products and their evaluation as source of P for grams(*Cicer arietinum* L.)[J]. Nutrient cycling in agroecosystems, 1996, 46(1): 71–79.
- [10] 李杰, 石元亮, 陈智文. 我国南方红壤磷素研究概况[J]. 土壤通报, 2011, 42(3): 763–768.
- [11] 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, 1999: 296–336.
- [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, 39(32): 19834–19835, 19923.
- [13] 赵靓, 侯振安, 李水仙, 等. 磷肥用量对土壤有效磷及玉米产量和养分吸收的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(2): 123–128.
- [14] DOBSON J W, WELLS K L, FISHER C D. Agronomic effectiveness of ammonium orthophosphate and ammonium polyphosphate as measured by ion uptake and yield of corn[J]. Soil science society of America journal, 1970, 34(2): 323–326.
- [15] 陈日远, 代明, 侯文通, 等. 聚磷酸铵对玉米幼苗吸收磷、锌养分及生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(5): 104–106.