

◆健康保育与环境修复◆

# 聚磷酸铵替代不同比例磷酸一铵提高辣椒产量、品质及磷肥利用率

黄莎莎<sup>1</sup>, 赵曙光<sup>2</sup>, 石孝均<sup>1</sup>

(1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400715; 2. 四川美丰化工股份有限公司, 四川 德阳 618000)

[摘要] 为探究聚磷酸铵 (APP) 替代磷酸一铵的最佳比例及其在促进农作物生长、增产提质和提高磷肥利用率的效果, 设置聚磷酸铵替代0%、20%、40%、60%、80%磷酸一铵和不施肥对照共6个处理, 通过田间试验研究不同替代比例对辣椒生长、产量、品质、磷肥利用率的影响。结果表明, 聚磷酸铵替代一定比例的磷酸一铵能促进辣椒营养期的生长、显著提高辣椒产量和磷肥利用率, 其中以聚磷酸铵替代40%磷酸一铵 (40%APP) 效果最好, 辣椒初果期株高和茎粗显著高于其他处理, 辣椒产量比其他处理提高22.56%~109.02%, 维生素C含量最高; 40%APP处理的吸磷量和磷农学效率相比于0%APP处理分别提高21.62%、211.47%, 磷肥利用率提高了6.4个百分点。

[关键词] 聚磷酸铵; 磷酸一铵; 辣椒; 产量; 品质; 磷肥利用率

[中图分类号] S144.9; S5-33

[文献标志码] A

[文章编号] 2097-4566 (2025) 10-0109-05

## Ammonium polyphosphate replaces monoammonium phosphate in different proportions to improve the yield, quality and phosphate fertilizer utilization efficiency of pepper

HUANG Shasha<sup>1</sup>, ZHAO Shuguang<sup>2</sup>, SHI Xiaojun<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Sichuan Meifeng Chemical Industry Co., Ltd., Deyang 618000, China)

**Abstract:** In order to explore the optimal ratio of APP instead of MAP and its effect on promoting crop growth, increasing yield and improving quality, improving phosphate fertilizer utilization efficiency, a total of 6 treatments are set up to replace 0%, 20%, 40%, 60% and 80% MAP with APP and no fertilization control, and the effects of different substitution ratios on the growth, yield, quality and phosphate fertilizer utilization efficiency of pepper are studied through field experiments. The results show that APP can promote the robust growth of pepper during the vegetative stage, significantly improve the yield and phosphate fertilizer utilization efficiency of pepper, among which APP replacing 40% MAP has the best effect. Compared with other treatments, the plant height and stem diameter of pepper are significantly higher than those of other treatments, and the yield of pepper is increased by 22.56%-109.02%, respectively, and the vitamin C content is the highest. Compared with the 0%APP treatment, the phosphorus absorption and phosphorus agronomic efficiency of 40%APP treatment are increased by 21.62% and 211.47%, respectively, and the phosphate fertilizer utilization efficiency is increased by 6.4 percentage points.

**Key words:** ammonium polyphosphate (APP); monoammonium phosphate (MAP); pepper; yield; quality; phosphate fertilizer utilization efficiency

### 0 引言

我国磷复肥生产中使用的磷源以速效性的正磷酸盐 (磷酸一铵和磷酸二铵) 为主<sup>[1]</sup>, 这类正磷酸盐施入土壤后极易被固定<sup>[2]</sup>, 降低磷肥利用效率。大量研究表明我国磷肥利用率仅为10%~20%<sup>[3]</sup>, 人们通常采用过量施磷来满足农作物对磷的需求, 导致磷资源浪费和土壤磷素大量累积<sup>[4-5]</sup>。聚磷酸铵 (APP) 作为一种新型的缓效磷源正越来越受到肥料生产企业和研究者的关注, 与磷铵相比, 低聚合

度的农用聚磷酸铵具有氮磷养分含量高<sup>[6]</sup>、在土壤中移动性较强<sup>[7]</sup>、养分缓慢释放、磷素利用效率高的特性<sup>[8]</sup>。因此, 探究聚磷酸盐部分替代正磷酸盐

[收稿日期] 2025-02-08

[作者简介] 黄莎莎(2000-), 女, 湖南益阳人, 在读硕士研究生, 主要从事磷复肥研究。

[通信作者] 石孝均(1964-), 女, 重庆铜梁人, 二级教授, 主要从事植物营养与施肥研究。

[基金项目] 四川美丰化工股份有限公司重大科技项目“绿色高效作物专用肥开发”

对农作物生长、产量和品质的影响,实现磷复肥中速效磷与缓效磷协同供应、提高磷肥利用效率具有重要的工业和农业利用价值。

国内外对聚磷酸铵的农用效果进行了较多研究,但是关于聚磷酸铵与磷铵最佳配施比例的研究尚无定论。陈日远等<sup>[9]</sup>的试验表明,添加聚磷酸铵后能明显提高玉米幼苗株高、茎粗、生物量以及根冠比,其中以 $m(\text{聚磷酸铵}):m(\text{磷酸二铵})$ 为2:1时效果最好。陈小娟<sup>[10]</sup>在玉米上的试验结果显示,聚磷酸铵与磷酸一铵按质量比1:1配施能显著增加作物的生物量及养分吸收量。关于蔬菜作物种植中聚磷酸铵与磷铵的最佳配比研究较少,浅根系的蔬菜作物对磷的吸收利用效率低,普遍存在磷肥用量高、土壤磷素累积、环境风险大等问题。为此,以种植面积较大的代表性蔬菜——辣椒为供试作物,研究聚磷酸铵替代不同比例磷酸一铵作为复合肥磷源对辣椒生长、产量、品质和磷肥利用率的影响,明确聚磷酸铵的最佳替代比例,为高效复合肥生产中含磷原料优化提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

田间试验地位于四川省德阳市旌阳区四川美丰化工股份有限公司农业实验中心,年平均气温为16℃,年平均降雨量为925 mm,年日照时间为1 100 h。供试土壤为紫色土,试验前土壤基本理化性质:pH为7.12, $w(\text{有机质})$ 为41.84 g/kg, $w(\text{碱解氮})$ 为65.50 mg/kg, $w(\text{有效磷})$ 为64.00 mg/kg, $w(\text{速效钾})$ 为141.85 mg/kg。

### 1.2 供试材料

供试肥料:聚磷酸铵, $w(\text{N})$ 为18%, $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 为60%,聚合度为6;磷酸一铵, $w(\text{N})$ 为11.5%, $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 为60.5%;硝酸磷肥, $w(\text{N})$ 为30%, $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 为6%;硫酸钾, $w(\text{K}_2\text{O})$ 为52%。供试辣椒品种为苏润903。

### 1.3 试验设计

试验设6个处理:①对照,不施肥(CK);②磷酸一铵作为单一磷肥(0%APP);③聚磷酸铵替代20%磷酸一铵作为磷肥(20%APP);④聚磷酸铵替代40%磷酸一铵作为磷肥(40%APP);⑤聚磷酸铵替代60%磷酸一铵作为磷肥(60%APP);⑥聚磷酸铵替代80%磷酸一铵作为磷肥(80%APP)。除对照外,其他各施肥处理都在等量氮磷钾基础上进行,全生育期肥料养分施用量为N 150 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 150 kg/hm<sup>2</sup>,其中基肥N、

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O用量分别为45、30、45 kg/hm<sup>2</sup>,其余养分在初花期、初果期和盛果期分3次追施,每次用量N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O分别为35、15、35 kg/hm<sup>2</sup>,氮磷钾养分分别由硝酸磷肥、磷酸一铵、聚磷酸铵、硫酸钾提供,施肥方法为撒施。辣椒于2024年4月9日移栽,种植行距为50 cm,株距为40 cm,田间管理参照当地推荐技术进行。每个处理3次重复,小区面积15 m<sup>2</sup>,随机区组排列。

### 1.4 样品采集与测定

辣椒植株性状:各小区随机选8株辣椒挂牌标记,于定植后分别在辣椒苗期、初花期、初果期和盛果期测量辣椒植株的株高、茎粗和SPAD值。株高用卷尺测量,茎粗用游标卡尺测定,SPAD值采用便携式叶绿素测定仪测定。在初花期和盛果期采集不同处理的辣椒植株,分别测量植株地上部(茎、叶、果)和地下部根的鲜质量,并将样品在105℃杀青30 min后,70℃烘干至恒质量后称量其干物质质量。植株用全自动消解仪进行前处理(HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮),然后用ICP-OES测定不同器官磷含量。

辣椒产量和品质:辣椒每次成熟后统计各小区的单株挂果数,并采收20个大小较一致的果实,用电子天平测定单果质量取平均值,得出各小区的辣椒产量。各小区选取代表性的辣椒,去除果柄、萼片,置于60℃恒温箱中烘干后粉碎,过0.450 mm(40目)筛后用于测定品质指标。辣椒果实维生素C采用2,6-二氯酚酚滴定法测定,可溶性蛋白采用考马斯亮蓝比色法测定,可溶性糖采用蒽酮比色法测定。

### 1.5 数据处理与统计分析

地上部吸磷量=茎干质量×茎磷质量分数+叶干质量×叶磷质量分数+果干质量×果磷质量分数;

磷生理效率=(施磷区产量-不施肥区产量)/(施磷区地上部植株吸磷量-不施肥区地上部植株吸磷量);

磷肥农学效率=(施磷区产量-不施肥区产量)/施磷量;

磷肥利用率=(施磷区植株吸磷量-不施肥区植株吸磷量)×100%/施磷量。

利用Excel 2019整理试验数据,通过SPSS 26.0进行单因素方差分析(ANOVA),采用Duncan's对处理间指标差异进行显著性分析( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

2.1 不同聚磷酸铵替代比例对辣椒植株生长的影响  
不同处理对辣椒各生育期生长指标的影响见图

1. 由图1可知，聚磷酸铵替代一定比例磷酸一铵显著促进了辣椒的生长发育。从株高看出，在初果期和盛果期，20%APP、40%APP、60%APP、80%APP聚磷酸铵替代处理辣椒植株的株高均高于磷酸一铵处理(0%APP)，以40%APP替代处理在辣椒所有生长期中株高最高，在苗期、初花期、初果期和盛果期株高分别比磷酸一铵处理(0%APP)提高10.97%、2.57%、2.63%和0.28%。从茎粗看，在初果期聚磷酸铵替代的所有处理辣椒茎粗均高于磷酸一铵处理(0%APP)，其中40%APP替代处理最

高，在苗期、初花期和初果期茎粗分别比磷酸一铵处理(0%APP)提高8.51%、6.82%和3.69%。从叶片SPAD值看，40%APP替代处理在苗期、初花期和初果期的SPAD值都显著高于其他处理，有利于辣椒叶片的光合作用；40%APP处理在苗期、初花期和初果期SPAD值分别比0%APP处理提高14.57%、4.38%和6.36%；其余处理间差异不显著，到生长后期所有处理间无显著差异。结果表明，聚磷酸铵替代一定比例的磷酸一铵有利于辣椒营养期的健壮生长，以40%APP替代比例最佳。

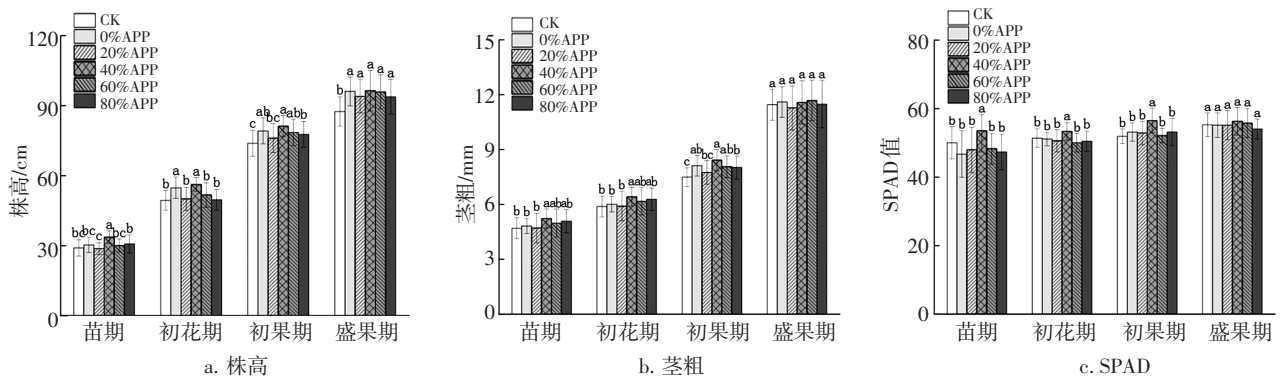


图1 不同处理对辣椒各生育期生长指标的影响

Fig.1 Effects of different treatments on growth indexes of pepper at different growth stages

注:图中同一生育期的不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

### 2.2 不同聚磷酸铵替代比例对辣椒产量的影响

不同处理辣椒收获期产量见表1。由表1可知，聚磷酸铵替代比例过高或过低都不利于产量的形成，其中以40%APP替代处理辣椒产量最高。相比于0%APP处理，40%APP替代处理茎和根的鲜质量分别

提高51.55%和44.44%；40%APP处理辣椒产量，为10.43 t/hm<sup>2</sup>，比其他处理提高22.56%~109.02%，主要是提高了辣椒的单果质量和挂果数，40%APP处理的单果质量和挂果数分别比0%APP高13.06%和36.93%；各替代比例的经济系数均高于0%APP处理。

表1 不同处理辣椒收获期产量

Table 1 Effects of different treatments on yield of pepper at harvest time

处理	茎质量/(t·hm <sup>-2</sup> )	叶质量/(t·hm <sup>-2</sup> )	根质量/(t·hm <sup>-2</sup> )	辣椒产量/(t·hm <sup>-2</sup> )	单果质量/g	挂果数	经济系数/%
CK	1.50 ± 0.16 d	0.70 ± 0.05 c	0.17 ± 0.02 d	4.99 ± 0.15 f	14.00 ± 0.22 d	16.71 ± 4.66 c	19.0 b
0%APP	1.61 ± 0.08 cd	1.16 ± 0.06 a	0.18 ± 0.02 cd	6.74 ± 0.55 e	17.38 ± 0.71 b	18.17 ± 3.20 bc	23.3 ab
20%APP	1.70 ± 0.04 c	0.89 ± 0.06 b	0.18 ± 0.03 c	7.50 ± 0.08 d	17.25 ± 0.10 b	20.38 ± 4.61 b	25.8 a
40%APP	2.44 ± 0.09 a	1.13 ± 0.01 a	0.26 ± 0.03 a	10.43 ± 0.44 a	19.65 ± 0.42 a	24.88 ± 8.82 a	25.7 a
60%APP	1.98 ± 0.06 b	1.07 ± 0.11 a	0.23 ± 0.02 b	8.51 ± 0.21 b	20.04 ± 0.25 a	19.92 ± 3.90 b	25.5 a
80%APP	1.61 ± 0.08 cd	0.91 ± 0.08 cd	0.22 ± 0.01 b	8.12 ± 0.67 c	16.12 ± 0.67 c	23.59 ± 7.54 a	25.2 a

注:①茎、叶、根、产量、单果质量均为鲜质量。

### 2.3 不同聚磷酸铵替代比例对辣椒品质的影响

不同处理辣椒品质指标如表2所示。从表2可以看出，施用聚磷酸铵显著影响了维生素C和可溶性糖含量，对可溶性蛋白和可溶性固形物无显著影响。各处理辣椒w(维生素C)以20%APP和

40%APP处理最高(平均为1.074 7 mg/g)，较其他处理平均值0.800 5 mg/g提高34.25%。随着APP替代比例提高，各施肥处理的辣椒可溶性糖含量呈上升趋势，80%APP处理的可溶性糖含量显著高于其他处理，相比于其他处理提高了4.81%~47.35%。

表2 不同处理辣椒品质指标

Table 2 Effects of different treatments on pepper quality indexes

处理	w(维生素C)/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性蛋白)/(μg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性糖)/%	w(可溶性固形物)/%
CK	0.899 4 ± 0.162 5 bc	4.4±0.1 a	5.57 ± 0.55 c	6.07 ± 0.60 a
0%APP	0.799 8 ± 0.164 7 bc	4.0±0.6 a	5.47 ± 0.60 c	6.17 ± 0.41 a
20%APP	1.020 4 ± 0.033 4 ab	4.4±0.3 a	5.91 ± 0.52 c	6.37 ± 0.49 a
40%APP	1.1290 ± 0.022 7 a	4.7±0.3 a	6.50 ± 1.18 bc	6.37 ± 0.35 a
60%APP	0.674 2 ± 0.123 7 c	4.0±0.6 a	7.69 ± 0.41 ab	6.40 ± 0.52 a
80%APP	0.828 4 ± 0.097 1 bc	3.9±0.4 a	8.06 ± 0.74 a	6.17 ± 0.41 a

各处理之间可溶性蛋白和可溶性固形物含量无显著差异。

2.4 不同聚磷酸铵替代比例对辣椒磷素吸收利用的影响

不同处理对辣椒磷素吸收利用的影响见表3。由表3可知，聚磷酸铵替代磷酸一铵显著影响了辣椒对磷的吸收和磷肥利用效率。各处理的辣椒吸磷量表现为：40%APP > 20%APP > 60%APP ≈ 0%APP > 80%APP > CK，随聚磷酸铵替代比例的增加呈现先上升后下降的趋势，以40%APP处理吸磷量

最高，比其他处理提高8.78% ~ 79.61%。80%APP处理的辣椒磷生理效率显著高于其他处理，相比0%APP处理提高109.28%。40%APP处理的辣椒磷农学效率显著高于其他处理，相比0%APP处理提高211.47%。各处理的磷肥利用率表现为：40%APP > 20%APP > 60%APP > 0%APP > 80%APP，相比于0%APP处理，40%APP处理的磷肥利用率提高了6.4个百分点。

3 讨论

本研究表明，聚磷酸铵替代40%磷酸一铵作为

表3 不同处理对辣椒磷素吸收利用的影响

Table 3 Effects of different treatments on the uptake and utilization of phosphorus of pepper

处理	吸磷量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	磷生理效率/(kg·kg <sup>-1</sup> )	磷农学效率/(kg·kg <sup>-1</sup> )	磷肥利用率/%
CK	15.01 ± 0.63 d			
0%APP	22.20 ± 2.35 c	256.70 ± 19.69 c	23.27 ± 7.43 d	9.60 ± 3.13 c
20%APP	24.82 ± 0.65 ab	256.03 ± 16.80 c	33.44 ± 1.19 c	13.10 ± 0.87 ab
40%APP	27.00 ± 0.47 a	454.00 ± 34.19 b	72.48 ± 5.96 a	16.00 ± 0.63 a
60%APP	22.71 ± 1.59 bc	471.63 ± 26.03 ab	46.96 ± 2.88 b	10.28 ± 2.13 bc
80%APP	20.88 ± 0.75 c	537.22 ± 42.92 a	41.64 ± 8.99 b	7.84 ± 1.01 c

磷肥能有效促进辣椒植株生长发育，显著提高辣椒生物产量和经济产量。植株生长前期需磷量较低，但是需磷关键期<sup>[11]</sup>，土壤中有有效磷含量对作物的生长发育具有关键作用，聚磷酸铵替代一定比例磷酸一铵，既有一部分磷酸一铵提供能被作物直接吸收利用的速效性正磷酸盐，保证前期有效磷的供给，又有一部分聚磷酸铵能缓慢水解为作物生长后期提供有效磷养分<sup>[12]</sup>，不仅促进辣椒营养期的健壮生长，还有利于收获期辣椒产量的形成。聚磷酸铵替代不同比例磷酸一铵作为磷肥能有效提高辣椒挂果数和单果质量从而显著提高辣椒产量，且随着聚磷酸铵替代比例的增加，增产效果呈现先升高后下降的趋势；聚磷酸铵替代比例过低或过高对作物的作用效果都会降低，可能是替代比例较低时无法在后期供应充足的有效磷，替代比例过高无法满足前期磷的快速供应<sup>[13]</sup>，本试验条件下以聚磷酸铵替代40%磷酸一铵最佳。

本试验结果显示聚磷酸铵替代一定比例磷酸-

铵能提高辣椒维生素C和可溶性糖含量，提高辣椒品质。这与前人的研究结果相似，王旭鹏<sup>[14]</sup>的设施蔬菜生长试验结果显示，在磷水平相同情况下，适当增加聚磷酸铵比例能促进蔬菜的光合作用，且蔬菜的维生素C和可溶性糖含量随聚磷酸铵比例的增加呈现先升高后降低的趋势。

该研究中，聚磷酸铵替代40%磷酸一铵作为磷肥能有效提高辣椒植株吸磷量、磷生理效率、磷农学效率和磷肥利用率，主要是因为施用一定比例聚磷酸铵更有利于辣椒全生育期磷吸收和产量形成。磷农学效率反映作物从土壤中获得磷素的能力，本试验中各替代处理的辣椒磷农学效率显著高于不替代处理，且随着聚磷酸铵替代比例的增加呈先上升后降低的趋势，主要原因是水溶性聚磷酸铵中的磷以聚合态为主，在土壤中迁移性较好且具有缓释性，减少了土壤对磷的吸附与固定，提高土壤磷库中高活性磷含量<sup>[15]</sup>，使得作物更易从土壤中吸收可利用的磷素。磷肥利用率是衡量磷肥合理施用的

重要参考指标<sup>[16]</sup>,本试验中40%APP替代处理的磷肥利用率比不替代处理提高了6.4个百分点,说明聚磷酸铵替代适宜比例磷酸一铵能够实现磷肥的增产效益。

#### 4 结论

聚磷酸铵替代不同比例磷酸一铵显著影响了辣椒生长发育、产量品质和对磷的吸收利用,随着聚磷酸铵替代比例增加,辣椒苗期生长、增产效果和磷肥利用率呈现先升高后下降的趋势。其中以聚磷酸铵替代40%磷酸一铵的效果最好,显著提高了辣椒株高、茎粗和SPAD值,有利于辣椒营养期的健壮生长,促进了辣椒对磷的吸收利用,从而提高了辣椒产量、品质和磷肥利用率,该研究结果为高效绿色磷复肥生产中磷原料的优化配置提供了理论依据。

#### [参考文献]

- [1] 王莹,方俊文,李博. 2020年我国磷复肥行业运行情况及发展趋势[J]. 磷肥与复肥,2021,36(7): 1-8.  
WANG Y, FANG J W, LI B. Production and developing trends of phosphate and compound fertilizer industry in China in 2020[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2021, 36(7): 1-8.
- [2] 冶康康,俄胜哲,陈政宇,等. 土壤中磷的存在形态及分级方法研究进展[J]. 中国农学通报,2023,39(1): 96-102.  
YE G K, E S Z, CHEN Z Y, et al. The Forms and Classification Methods of Phosphorus in Soil: Research Progress [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2023, 39(1): 96-102.
- [3] 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.
- [4] 陶文鼎. 磷肥减量对玉米产量、养分吸收利用与损失的影响[D]. 长沙:湖南农业大学,2023.  
TAO W D. Effects of phosphorus reduction on maize yield, nutrient uptake, utilization and loss [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2023.
- [5] 王树荣. 晋中地区施磷量对冬小麦产量及品质形成的影响[D]. 晋中:山西农业大学,2023.  
WANG S R. Effect of phosphorus application on winter wheat yield and quality formation in Jinzhong area [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2023.
- [6] 焦立强,汤建伟,化全县,等. 聚磷酸铵的研发、生产及应用[J]. 无机盐工业,2009,41(4): 4-7.  
JIAO L Q, TANG J W, HUA Q X, et al. Research, production, and application of ammonium polyphosphate [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2009, 41(4): 4-7.
- [7] SHAH J A, CHU G. Short-chain soluble polyphosphate fertilizers increased soil P availability and mobility by reducing P fixation in two contrasting calcareous soils[J]. Peer J, 2021, 9: e11493.
- [8] 熊子怡,邱焯,郭琳钰,等. 聚磷酸铵在土壤中有有效性的变化及其影响因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(8): 1473-1480.  
XIONG Z Y, QIU Y, GUO L Y, et al. The availability of ammonium polyphosphate in soil and the impacting factors[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(8): 1473-1480.
- [9] 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.  
CHEN R Y, DAI M, HOU W T, et al. Effect of Ammonium Polyphosphate on Plant Growth Development and Absorption of Phosphorus and Zinc in Corn Seedlings[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014, 42(5): 104-106.
- [10] 陈小娟. 不同聚合度组成的聚磷酸铵对玉米生长的影响[D]. 广州:华南农业大学,2018.  
CHEN X J. Effect of Ammonium Polyphosphates (APP) with Different Degree of Polymerization on the Growth of Maize Seedling [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018.
- [11] 黎恩. 辣椒科学施肥技术要点分析[J]. 特种经济动植物, 2021, 24(6): 39-40.  
LI E. Analysis of key points of scientific fertilization technology of pepper [J]. Special Economic Animal and Plant, 2021, 24(6): 39-40.
- [12] 王连祥. 农用肥料聚磷酸铵的制备与应用[J]. 磷肥与复肥, 2008(2): 49-50.  
WANG L X. Preparation and application of agricultural ammonium polyphosphate [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2008(2): 49-50.
- [13] 陈小娟,陈煜林,林净净,等. 不同聚合度的聚磷酸铵对土壤磷动态转化及有效性的影响[J]. 浙江农业学报,2019,31(10): 1681-1688.  
CHEN X J, CHEN Y L, LIN J J, et al. Conversion dynamics and effectiveness of ammonium polyphosphate with different polymerization degrees to soil phosphorus[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2019, 31(10): 1681-1688.
- [14] 王旭鹏. APP与PDP不同供磷比营养液对生菜、油麦菜生长和品质的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2018.  
WANG X P. Effects of Different APP/PDP Ratios in Nutrient Solution on Growth and Quality of Substrate Cultured Lettuce and Leaf Lettuce [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2018.
- [15] GUPPY C N, MENZIES N W, MOODY P W, et al. Analytical methods and quality assurance: A simplified, sequential, phosphorus fractionation method [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2000, 31(11-14): 1981-1991.
- [16] JIN D, GAO J, JIANG P, et al. Nitrogen Use Efficiency and Rice Yield of Different Locations in Northeast China [J]. National Academy Science Letters, 2017, 40(4): 227-232.