

◆健康保育与环境修复◆

增效稳定性肥料制备及对玉米生长、产量的影响

王婷婷^{1,2}, 李善玲³, 李元峰^{1,2}, 解学仕^{1,2}, 宋艳^{1,2}, 周丽^{1,2},
吴文涛^{1,2}, 白静^{1,2}, 李香芝¹

(1. 史丹利农业集团股份有限公司, 山东 临沭 276700; 2. 山东省绿色肥料技术创新中心, 山东 临沭 276700;
3. 临沭县科技创新服务中心, 山东 临沭 276799)

[摘要] 以磷酸一铵、氯化钾、抑制剂、聚谷氨酸为原料开发增效稳定性肥料, 讨论添加抑制剂和聚谷氨酸对20-8-16高塔复合肥造粒生产及产品质量的影响; 并以田间试验研究抑制剂与聚谷氨酸复合增效稳定性肥料对玉米氮肥利用率和产量指标的影响。结果表明, 聚谷氨酸添加量在1.0%以内, 对于20-8-16高塔复合肥产品的造粒及产品质量无显著影响。20-8-16稳定性肥料添加1.0%聚谷氨酸减量15%一次性施肥处理, 氮肥利用率比常规肥料一次性施肥处理和常规肥料分次施肥处理分别提高21.91%、14.90个百分点, 百粒质量分别提高9.92%、4.18%; 比常规肥料一次性施肥处理、常规肥料分次施肥处理、稳定性肥料减量15%一次性施肥处理分别增产30.80%、23.76%、25.56%。抑制剂与聚谷氨酸复合添加制备的稳定性肥料处理, 可显著提高玉米氮肥利用率、百粒质量、产量等。

[关键词] 聚谷氨酸; 稳定性肥料; 增效; 玉米; 产量

[中图分类号] S143.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 09-0106-05

Preparation of efficient and stable fertilizer and its effect on the growth and yield of corn

WANG Tingting^{1,2}, LI Shanling³, LI Yuanfeng^{1,2}, XIE Xueshi^{1,2}, SONG Yan^{1,2}, ZHOU Li^{1,2},
WU Wentao^{1,2}, BAI Jing^{1,2}, LI Xiangzhi¹

(1. Stanley Agricultural Group Co., Ltd., Linshu 276700, China; 2. Shandong Green Fertilizer Technology Innovation Center, Linshu 276700, China; 3. Linshu Science and Technology Innovation Service Center, Linshu 276799, China)

Abstract: A high-efficiency stable fertilizer is developed using monoammonium phosphate, potassium chloride, inhibitors and polyglutamic acid as raw materials. The effects of adding inhibitors and polyglutamic acid on the granulation and product quality of 20-8-16 tower compound fertilizer products are discussed; The effects of high-efficiency stable fertilizer containing inhibitor and polyglutamic acid on nitrogen fertilizer utilization efficiency and yield indicators of corn are studied with field test. The results show that the addition of polyglutamic acid within 1% has no significant effect on the granulation and product quality of the 20-8-16 tower compound fertilizer product. The nitrogen fertilizer utilization rate of the treatment applying 20-8-16 stable fertilizer containing 1% polyglutamic acid in a 15% reduction of application rate is increased by 21.91, 14.90 percentage points compared with the conventional fertilizer one-time applying treatment and the conventional fertilizers in batches applying treatment, the 100 grain weight is increased by 9.92% and 4.18%; The yield is increased by 30.80%, 23.76%, 25.56% compared with the conventional fertilizer one-time applying treatment, the conventional fertilizers in batches applying treatment and stable fertilizer reduction of 15% one-time applying treatment. The stable fertilizer treatment prepared by the combination of inhibitors and polyglutamic acid can significantly improve the nitrogen fertilizer utilization efficiency, grain weight and yield of corn.

Key words: polyglutamic acid; stable fertilizer; efficiency enhancement; corn; yield

化肥是粮食的“粮食”, 对我国粮食生产有着极为突出的贡献。20世纪以来, 粮食单产的1/2、总产的1/3来自肥料的贡献, 肥料在保障我国粮食安全上发挥着重要且不可替代的作用^[1]。由于传统化学肥料自身的缺陷及施用不科学、不合理, 造成养分利用率低、肥料资源浪费严重、面源污染加剧等一系列问题^[2]。随着传统化肥产能过剩和行业竞

争加剧, 养分利用率高、绿色环保的新型肥料成为

[收稿日期] 2024-10-12; **[修回日期]** 2025-03-15

[作者简介] 王婷婷(1986-), 女, 山东泰安人, 高级农艺师, 从事新型肥料研发及生产工艺研究。

[基金项目] 山东省绿色肥料与土壤健康产品科技示范工程(2022SFGC0301); 国家重点研发计划项目(2022YFD1700604); 国家农业科技项目(20221805)

研究热点。20世纪60年代,国外开始研究包膜缓释肥料、稳定性肥料等高效肥料产品。我国从20世纪70年代开始研究长效碳铵、硝化/脲酶抑制剂及包裹型缓释肥料等新型肥料产品,并在20世纪90年代以后开展包膜缓释肥料、包裹型肥料、稳定性肥料、脲醛肥料等新型肥料的研究,这些产品陆续实现产业化,并在农业生产中逐步发挥重要作用^[3-4]。

稳定性肥料是指经过一定工艺加入脲酶抑制剂和(或)硝化抑制剂,施入土壤后能通过脲酶抑制剂抑制尿素的水解,和(或)通过硝化抑制剂抑制铵态氮的硝化,使肥效期得到延长的一类含氮肥料(包括含氮的二元或三元肥料和氮肥)。在国家标准《稳定性肥料》(GB/T 35113—2017)中,将稳定性肥料分为3种类型:稳定性肥料I型仅含脲酶抑制剂,稳定性肥料II型仅含硝化抑制剂,稳定性肥料III型同时含有两种抑制剂^[5]。稳定性肥料具有养分释放速率与农作物吸收规律相同步的特点,可显著提高肥料利用率,为解决肥料资源浪费和农业面源污染等问题提供了有效途径^[6-8],其作用机制是利用脲酶抑制剂和硝化抑制剂控制土壤酶和微生物的活性,从而控制氮的转化和形态,减少流失。我国科研人员对稳定性肥料的作用机制进行了大量研究,例如,中国科学院沈阳应用生态研究所等机构在脲酶抑制剂和硝化抑制剂方面开展了诸多工作,明确了不同抑制剂对土壤中氮素转化过程的影响,为稳定性肥料的研发提供了理论支持^[6]。脲酶抑制剂抑制尿素水解,从而减少 NH_3 挥发损失;硝化抑制剂抑制 NH_4^+ 的氧化而减少 NO_3^- 淋溶与 N_2 、 N_2O 等气态损失^[6-8]。双翼抑制剂调控技术利用其协同作用,能够有效调节尿素氮在土壤中的转化,从而减少氮的多种途径的损失,增加土壤中氮的保有量,可实现多种农作物一次施肥后免追肥,由于成本较低和生产工艺相对简单,在农业上得到广泛应用^[9-13]。

高分子聚合物聚谷氨酸通过与养分阴离子(磷酸根、硝酸根等)和阳离子(钾离子、铵离子、钙离子等)的结合,将肥料养分进行改性,施入土壤后在土壤-养分-根系之间架起转运通道,促进养分吸收;分解产物可刺激农作物侧根的形成,使植物根系更加发达,增强吸收能力和促进农作物长势;具有超强的保水性能,其分子中含有许多网状交联体和超亲水基团,能够吸收和保持自身质量数百倍的水分,充足的水分可以使肥料更好地溶解和运

输,便于植物吸收,同时保持良好的土壤水分状况有利于植物根系的生长和生理活动,使根系能够充分地吸收肥料中的养分。因此聚谷氨酸克服了普通肥料短期内养分释放快、流失过快与农作物短时间内不能高效吸收利用的矛盾,提供了一种能在短期内防止养分流失,提高养分吸收效率,满足农作物短期内养分快速、高效吸收需要,长时间保留养分的肥料增效技术^[14-15]。

以上两种肥料增效技术各有特点,但各自也存在短板:抑制剂控氮只作用于养分调控,无法解决吸收问题,特别是在障碍性土壤中;聚谷氨酸有助于促进养分吸收和农作物生长,但是调控养分幅度有限,且作用时间短。笔者通过开展玉米田间肥效试验,研究抑制剂与聚谷氨酸的复合增效效果,为开发增效稳定性肥料提供支撑。

1 增效稳定性肥料的研制

1.1 制备方法

本研究采用高塔熔体造粒工艺生产供试肥料,将原料中的尿素颗粒加热熔融,将尿素熔融液泵送至高塔塔顶的混合槽,磷酸一铵、氯化钾、抑制剂(脲酶抑制剂和硝化抑制剂)、聚谷氨酸及填充料分别计量、预热后,通过刮板机提升至高塔塔顶,投入混合槽中,与尿素熔融液充分搅拌混合,形成流动性良好的均匀料浆,料浆经过造粒机旋转喷洒成小液滴,小液滴在高塔塔体下落过程中,遇冷凝结成复合肥颗粒,落到塔底集料装置上,经冷却、筛分、防板结处理后得到供试肥料成品。

供试稳定性肥料为III型稳定性肥料,同时添加了脲酶抑制剂与硝化抑制剂,二者添加质量比例为1.0:1.5,在复合肥中的整体添加量为0.8%。

1.2 产品质量检测

产品一次性成品率可体现出该产品生产的难易程度,一次性成品率高的产品生产成本相对较低,同时产品中的缩二脲含量也可得到有效控制。

生产过程中监测各供试肥料一次性成品率,对得到的供试肥料,取样测定养分合格率、颗粒强度。

产品一次性成品率=(一次性成品质量/投料质量)×100%。

成品养分合格率:肥料养分检测采用《复合肥料》(GB 15063—2021)中指定的检测方法,然后计算成品养分合格率。

颗粒强度采用颗粒强度测定仪(LD-KD4A)测定。

4种供试肥料的一次性成品率、成品养分合格

率、颗粒强度见表1。由表1可以看出,4种供试肥料的一次性成品率、成品养分合格率、产品颗粒强度均无显著差异,由此表明添加抑制剂和聚谷氨酸对于20-8-16高塔复合肥产品的造粒生产及产品质量无显著影响。

表1 不同供试肥料试产情况及产品质量对比

Table 1 Comparison of trial production and product quality among different tested fertilizers

供试肥料	一次性 成品率/%	成品养分 合格率/%	颗粒 强度/N
20-8-16普通复合肥	82a	100a	27a
20-8-16稳定性肥料	83a	100a	26a
20-8-16稳定性肥料+ 0.5%聚谷氨酸	82a	100a	26a
20-8-16稳定性肥料+ 1.0%聚谷氨酸	84a	100a	28a

注:表中相同小写字母表示差异不显著。

2 不同施肥处理对玉米氮素累积及氮肥利用率的影响

2.1 材料

供试肥料:20-8-16普通复合肥、20-8-16稳定性肥料、20-8-16稳定性肥料+0.5%聚谷氨酸、20-8-16稳定性肥料+1.0%聚谷氨酸,均以高塔熔体造粒工艺生产。

供试农作物:玉米,品种为登海685。

2.2 试验设计

试验地点位于山东省临沂市临沭县周庄西街村。试验田土壤质地为壤土,中等肥力水平,耕层土壤基础理化性质见表2。

表2 玉米田间肥效试验耕层土壤基础理化性质

Table 2 Basic physical and chemical properties of cultivated soil in corn field fertilizer efficiency experiment

$w(\text{有机质})/$ $(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{全氮})/$ $(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{碱解氮})/$ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{速效钾})/$ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{有效磷})/$ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	pH
11.26	1.91	146.25	94.18	26.95	6.82

共设置8个施肥处理: T_0 , 不施肥处理; T_1 , 常规肥料一次性施肥处理, 20-8-16普通复合肥施肥量 $1\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 作为底肥一次性施用; T_2 , 常规肥料两次施肥处理, 20-8-16普通复合肥施肥量 $1\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 作为底肥施用60%, 大喇叭口期追施40%; T_3 , 稳定性肥料一次性施肥处理, 20-8-16稳定性肥料施肥量 $1\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 作为底肥一次性施用; T_4 , 稳定性肥料一次性施肥减量15%处理, 20-8-16稳定性肥料施肥量 $850\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 作为底肥一次性施用; T_5 , 聚谷氨酸增效稳定性肥料

一次性施肥减量15%处理, 20-8-16稳定性肥料+0.5%聚谷氨酸施肥量 $850\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 作为底肥一次性施用; T_6 , 聚谷氨酸增效稳定性肥料一次性施肥减量15%处理, 20-8-16稳定性肥料+1.0%聚谷氨酸施肥量 $850\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 作为底肥一次性施用; T_7 , 聚谷氨酸增效稳定性肥料一次性施肥减量20%处理, 20-8-16稳定性肥料+1.0%聚谷氨酸施肥量 $800\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 作为底肥一次性施用。

每个施肥处理设置3次重复, 随机区组排列, 每个小区面积 $10\ \text{m}\times 5\ \text{m}$, 栽培密度 $67\ 500\ \text{株}/\text{hm}^2$, 2023年6月22日播种, 2023年10月5日收获, 生长期106 d。

2.3 测定指标与统计分析

植株全氮: 采用浓 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消解, 凯氏定氮法测定。

氮肥利用率: 氮肥利用率 = (施氮肥区植株地上部氮素积累量 - 不施氮肥区植株地上部氮素积累量) $\times 100\%$ / 施氮肥量^[16]。

玉米收获时, 取样测定玉米叶片、茎秆和籽粒全氮含量, 测量各样本玉米果穗的穗长、穗粗、穗粒数、百粒质量等指标, 并实测各小区产量。其中果穗穗长、穗粗指标用米尺测量, 百粒质量用百分之一电子天平称量。所有数据均为选取样本的平均值。

采用 Microsoft Excel 2021 和 SPSS 19.0 软件进行数据统计和差异显著性检验。

2.4 不同施肥处理对玉米氮素累积及氮肥利用率的影响

不同施肥处理对玉米地上部分氮素累积及氮肥利用率的影响见表3。其中地上部吸氮量由叶片吸氮量、茎秆吸氮量和籽粒吸氮量3部分组成。由表3可知, T_1 至 T_4 4个处理相比, T_3 处理的叶片吸氮量、茎秆吸氮量、籽粒吸氮量、地上部吸氮量均显著高于其他3个处理, 地上部吸氮量较 T_1 处理增加 $26.66\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 较 T_2 处理增加 $12.64\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 较 T_4 处理增加 $18.11\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。 T_4 处理的叶片吸氮量与 T_1 处理之间差异不显著, 但显著低于 T_2 处理; 茎秆吸氮量显著高于 T_1 处理, 但与 T_2 处理之间无显著性差异; 籽粒吸氮量显著高于 T_1 处理, 但与 T_2 处理之间无显著性差异; 地上部吸氮量比 T_1 处理显著增加 $8.55\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 比 T_2 处理显著降低 $5.47\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。4个处理的氮肥利用率大小顺序为: $T_3 > T_4 > T_2 > T_1$, 其中 T_3 处理较 T_1 处理提高13.33百分点, 较 T_2 处理提高6.32百分点; T_4 处理较 T_1 处理提高10.64百分

表3 不同处理对玉米氮素累积及氮肥利用率的影响

Table 3 Effects of different treatments on nitrogen accumulation and nitrogen fertilizer utilization efficiency in maize

处理	施氮量/(kg·hm ⁻²)	叶片吸氮量/(kg·hm ⁻²)	茎秆吸氮量/(kg·hm ⁻²)	籽粒吸氮量/(kg·hm ⁻²)	地上部吸氮量/(kg·hm ⁻²)	氮肥利用率/%
T ₀	0	44.13e	4.02f	106.24d	154.39f	
T ₁	200	53.22d	5.16e	159.63c	218.01e	31.81
T ₂	200	58.68c	5.89d	167.46b	232.03c	38.82
T ₃	200	61.20ab	6.58b	176.89a	244.67a	45.14
T ₄	170	52.68d	5.57d	168.31b	226.56d	42.45
T ₅	170	59.24c	6.85a	174.23a	240.32b	50.55
T ₆	170	63.88a	6.21c	175.62a	245.71a	53.72
T ₇	160	60.37bc	6.71ab	170.41b	237.49b	51.94

注:表中不同小写字母表示差异显著,下同。

点,较T₂处理提高3.63个百分点。由此说明,稳定性肥料可显著提高地上部吸氮量,有效提高氮肥利用率。

T₅、T₆、T₇ 3个处理为添加了聚谷氨酸增效助剂的稳定性肥料处理,从表3可以看出,T₆处理的地上部吸氮量显著高于T₅处理和T₇处理,分别增加5.39 kg/hm²和8.22 kg/hm²,氮肥利用率分别提高3.17个百分点和1.78个百分点;T₃处理和T₇处理间的地上部吸氮量无显著差异。由此可见,聚谷氨酸添加量在1.0%时比添加量在0.5%时,对氮肥利用率有更好的提升效果。

T₆处理的地上部吸氮量显著高于T₁、T₂、T₄ 3个处理,分别提高27.70、13.68、8.22 kg/hm²。各处理的氮肥利用率大小顺序为:T₆>T₇>T₅>T₃>T₄>T₂>T₁,T₆处理的氮肥利用率比T₁处理提高21.91个百分点,比T₂处理提高14.90个百分点,比T₃处理提高8.58个百分点,比T₄处理提高11.27个百分点。由此说明,抑制剂与聚谷氨酸复合添加后,更有利于提高氮肥利用率。

2.5 不同施肥处理对玉米产量指标的影响

不同施肥处理对玉米穗长、穗粗、穗粒数、百粒质量4个产量指标的影响见表4。从表4中可以看出,稳定性肥料T₃至T₇处理的穗长、穗粗、百粒

表4 不同处理对玉米产量指标的影响

Table 4 Effects of different treatments on maize yield

处理	indicators			
	穗长/cm	穗粗/cm	穗粒数	百粒质量/g
T ₀	16.8d	15.7f	536c	32.18g
T ₁	21.7c	16.2e	618b	37.19f
T ₂	22.4b	16.9d	631a	39.24e
T ₃	23.4a	17.6ab	622b	40.66ab
T ₄	22.8b	17.1cd	627ab	39.97d
T ₅	23.3a	17.3bc	636a	40.46bc
T ₆	23.5a	17.8a	632a	40.88a
T ₇	23.5a	16.9d	628ab	40.31c

质量均显著高于普通复合肥T₁处理;百粒质量指标,T₆处理与T₃处理之间差异不显著,但显著高于其他处理,比T₁处理提高9.92%,比T₂处理提高4.18%,比T₄处理提高2.28%,比T₅处理提高1.04%,比T₇处理提高1.41%。由此说明,抑制剂与聚谷氨酸复合添加后,可显著提高玉米百粒质量。

2.6 不同施肥处理对玉米产量的影响

不同处理对玉米产量的影响见表5。由表5可知,各处理玉米小区产量顺序为:T₆>T₃>T₇>T₅>T₂>T₄>T₁>T₀。T₆处理与T₃处理之间差异不显著,但显著高于其他处理,较T₁、T₂、T₄、T₅、T₇处理产量分别增加30.80%、23.76%、25.56%、15.23%、14.27%。T₃处理、T₇处理分别比T₁处理增产13.51%、14.46%;比T₂处理增产7.40%、8.30%。T₃处理、T₄处理分别比T₁处理增产26.15%、4.17%;比T₂处理增产19.37%、-1.44%。说明抑制剂与聚谷氨酸复合添加制备的稳定性肥料具有显著的增产效果。

表5 不同处理对玉米产量的影响

Table 5 Effects of different treatments on maize yield

处理	小区产量/ kg	折合产量/ (kg·hm ⁻²)	较T ₁ 增产量/ (kg·hm ⁻²)	较T ₁ 增产/ %
T ₀	27.31e	5 462		
T ₁	53.38d	10 676		
T ₂	56.42c	11 283	607	5.69
T ₃	67.34a	13 468	2 792	26.15
T ₄	55.61cd	11 121	445	4.17
T ₅	60.59b	12 118	1 442	13.51
T ₆	69.82a	13 964	3 288	30.80
T ₇	61.10b	12 220	1 544	14.46

3 结论

聚谷氨酸作为稳定性肥料增效剂,添加量在1%以内,对于20-8-16高塔复合肥产品的造粒生产及产品质量无显著影响。抑制剂与聚谷氨酸复合添加制备的稳定性肥料处理,对比常规肥料处理,

可显著提高玉米氮肥利用率、百粒质量、产量等。

(1) 20-8-16稳定性肥料一次性施肥处理比常规肥料一次性施肥处理, 氮肥利用率提高13.33百分点; 比常规肥料分次施肥处理, 氮肥利用率提高6.32百分点。20-8-16稳定性肥料减量15%一次性施肥处理比常规肥料一次性施肥处理, 氮肥利用率提高10.64百分点; 比常规肥料分次施肥处理氮肥利用率提高3.63百分点。20-8-16稳定性肥料+1.0%聚谷氨酸减量15%一次性施肥处理, 比常规肥料一次性施肥处理, 氮肥利用率提高21.91百分点; 比常规肥料分次施肥处理, 氮肥利用率提高14.90百分点。

(2) 20-8-16稳定性肥料+1.0%聚谷氨酸减量15%一次性施肥处理, 百粒质量比常规肥料一次性施肥处理提高9.92%, 比常规肥料分次施肥处理提高4.18%。

(3) 不同处理玉米小区产量顺序为: $T_6 > T_3 > T_7 > T_5 > T_2 > T_4 > T_1 > T_0$, 20-8-16稳定性肥料+1.0%聚谷氨酸减量15%一次性施肥处理, 比常规肥料一次性施肥处理增产30.80%, 比常规肥料分次施肥处理增产23.76%, 比稳定性肥料减量15%一次性施肥处理增产25.56%。

[参考文献]

- [1] 赵玉芬, 尹应武. 我国肥料使用中存在的问题及对策[J]. 科学通报, 2015, 60(36): 3527-3534.
ZHAO Y F, YIN Y W. Key scientific problems on establishing green fertilizer insurance system[J]. Chinese Science Bulletin, 2015, 60(36): 3527-3534.
- [2] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
ZHANG F S, WANG J Q, ZHANG W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 915-924.
- [3] 赵秉强. 传统化肥增效改性提升产品性能与功能[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 1-7.
ZHAO B Q. Modification of conventional fertilizers for enhanced property and function [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(1): 1-7.
- [4] 王志杰, 张丽莉, 石元亮, 等. 绿色肥料缘起、现状与发展趋势[J]. 中国农业科学, 2023, 56(13): 2530-2546.
WU Z J, ZHANG L L, SHI Y L, et al. Origin, Present Situation and Development Trend of Green Fertilizer [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(13): 2530-2546.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 稳定性肥料: GB/T 35113—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [6] 王志杰, 石元亮, 李东坡, 等. 稳定性肥料发展与展望[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1614-1621.
WU Z J, SHI Y L, LI D P, et al. The development and outlook of stabilized fertilizers [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2017, 23(6): 1614-1621.
- [7] 张蕾, 王玲莉, 房娜娜, 等. 稳定性肥料在中国不同区域的施用效果及施用量[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(2): 215-230.
ZHANG L, WANG L L, FANG N N, et al. Effect of stabilized fertilizer in different regions of China and the suitable application rate [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2021, 27(2): 215-230.
- [8] AZAM F, BENCKISER G, MULLER C, et al. Release, movement and recovery of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), ammonium and nitrate from stabilized nitrogen fertilizer granules in a silty clay soil under laboratory conditions [J]. Biology and Fertility of Soils, 2001, 34(2): 118-125.
- [9] ZAMAN M, BLENNERHASSETT J D. Effects of the different rates of urease and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate leaching and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2009, 136(3): 236-246.
- [10] GONG P, ZHANG L L, WU Z J, et al. Responses of ammonia-oxidizing bacteria and archaea in two agricultural soils to nitrification inhibitors DCD and DMPP: A pot experiment [J]. Pedosphere, 2013, 23(6): 729-739.
- [11] DING W X, YU H Y, CAI Z C. Impact of urease and nitrification inhibitors on nitrous oxide emissions from fluvo-aquic soil in the North China Plain [J]. Biology and Fertility of Soils, 2011, 47(1): 91-99.
- [12] 焦卫平, 周鹏程, 刘晓波, 等. 氮肥抑制剂在肥料中的应用[J]. 磷肥与复肥, 2022, 37(9): 22-25.
JIAO W P, ZHOU P C, LIU X B, et al. Application of nitrogen fertilizer inhibitors in fertilizers [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2022, 37(9): 22-25.
- [13] 冯尚善, 崔荣政, 王臣. 我国新型肥料产业发展现状及展望[J]. 磷肥与复肥, 2020, 35(10): 1-3.
FENG S S, CUI R Z, WANG C. Development Status and Prospect of New type Fertilizer Industry in China [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2020, 35(10): 1-3.
- [14] 彭伟, 邓桂湖. 聚谷氨酸——新型生物刺激剂在农业上的应用[J]. 磷肥与复肥, 2017, 32(3): 24-25.
PENG W, DENG G H. Application of γ -polyglutamic acid—A new type of biogenic stimulant in agriculture [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2017, 32(3): 24-25.
- [15] 武国慧, 刘汉文, 高德才, 等. 聚- γ -谷氨酸与不同形态氮肥共施对油菜生长的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(15): 48-54.
WU G H, LIU H W, GAO D C, et al. Effects of Co-application of Poly- γ -glutamic Acid and Different Forms of Nitrogen Fertilizer on Rape Growth [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(15): 48-54.
- [16] 岳克, 马雪, 宋晓, 等. 新型氮肥及施氮量对玉米产量和氮素吸收利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(4): 75-81.
YUE K, MA X, SONG X, et al. Effects of new type and of N-fertilizer on yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of summer maize [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2018(4): 75-81.