

聚谷氨酸增效复合肥的生产与应用

高向南

(铜陵国星化工有限公司, 安徽 铜陵 244000)

[摘要] 聚谷氨酸增效复合肥是一种新型肥料, 具有保水保肥、促进养分吸收、调节土壤性状和增强植物抗性等多种作用。介绍聚谷氨酸增效复合肥的生产工艺和生产情况; 分析聚谷氨酸增效复合肥的作用机制, 探讨其在水稻、番茄和小麦等不同作物上的应用效果。指出目前我国聚谷氨酸增效复合肥产业仍面临集中度较低、产品质量参差不齐等问题, 企业需要加大技术研发和创新力度, 优化产品组分, 提高产品质量; 同时, 加强管理体系和质量控制手段, 实现产业的转型升级, 赢得更大竞争力。

[关键词] 聚谷氨酸增效复合肥; 生产; 机制; 应用

[中图分类号] TQ444; TQ449.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2024) 09-0044-04

Production and application of polyglutamic acid enhanced compound fertilizer

GAO Xiangnan

(Tongling Guoxing Chemical Co., Ltd., Tongling 244000, China)

Abstract: Polyglutamic acid enhanced compound fertilizer is a new type of fertilizer that has multiple functions such as water and fertilizer retention, promoting nutrient absorption, regulating soil properties, and enhancing plant resistance. The production process and situation of polyglutamic acid enhanced compound fertilizer are introduced; The mechanisms are analyzed, and the application effects of polyglutamic acid enhanced compound fertilizer on different crops such as rice, tomato and wheat are introduced. It is pointed out that, the polyglutamic acid enhanced compound fertilizer industry in China still faces problems such as low concentration and uneven product quality. Enterprises need to increase technological research and innovation efforts, optimize product components, and improve product quality; At the same time, strengthen management systems and quality control measures to achieve industrial transformation and upgrading, and win greater competitiveness.

Key words: polyglutamic acid enhanced compound fertilizer; production; mechanism; application

农业生产中需要使用大量化肥来提高农作物产量, 然而传统的化肥使用方式存在问题, 如养分利用率低、环境污染严重等。因此, 开发新型肥料对于提高农业生产效益和保护环境具有重要意义。聚谷氨酸增效复合肥作为一种新型肥料, 具有保水保肥、促进养分吸收, 调节土壤性状、增强作物抗性等多种作用, 可以有效解决传统化肥使用中存在的问题。

1 聚谷氨酸增效复合肥的生产

1.1 聚谷氨酸增效复合肥生产工艺

聚谷氨酸增效复合肥是在复合肥生产过程中加入聚谷氨酸得到的一类增效肥料。聚谷氨酸增效复合肥的生产工艺流程主要包括配料、混合反应、颗粒化、干燥、包装等步骤。配料是根据不同农作物对氮、磷、钾等营养元素的需求比例, 精确配置各组分的添加量。常用氮源有尿素 ($w(\text{N})$ 46%)、硝

酸铵 ($w(\text{N})$ 33%) 等; 磷源有过磷酸钙 ($w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 17%)、磷酸二氢钾 ($w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 52%) 等; 钾源有硫酸钾 ($w(\text{K}_2\text{O})$ 50%)、氯化钾 ($w(\text{K}_2\text{O})$ 60%) 等。同时还需添加一定量 (通常为 2%~5%) 的聚谷氨酸等高分子物质, 与无机盐类形成螯合物, 提高养分利用率。部分产品中也会加入有机肥如腐植酸、氨基酸、微量元素 (如硼、锌、铁等), 以丰富营养成分。混合反应主要通过机械混合和化学反应两种方式进行。机械混合采用搅拌机、转鼓等设备, 使固体粉料或液体组分均匀分散, 常见设备有卧式螺带混合机、立式锥形混合机等, 混合时间为 5~15 min。而在溶液条件下, 聚谷氨酸与无机盐类

[收稿日期] 2024-02-18; **[修回日期]** 2024-04-20

[作者简介] 高向南 (1983-), 男, 黑龙江宾县人, 工程师, 主要从事复合肥生产工作。E-mail: gxn5118@163.com

会发生螯合、杂化反应,使养分形态发生改变^[1]。该反应在60~80℃、pH 4~7条件下进行,历时2~4 h。颗粒化采用喷浆造粒工艺,对混合均匀的料浆进行雾化喷涂,溶剂蒸发后形成颗粒。喷嘴直径0.5~2.0 mm,雾化压力1~3 MPa,干燥温度80~120℃,得到粒径2~4 mm的颗粒。也可采用挤压造粒,使用双螺杆挤压机将物料挤出成条再切断。干燥采用带式干燥机或沸腾干燥机,在60~80℃下干燥2~4 h, $w(\text{H}_2\text{O})$ 降至3%以下。筛分采用振动筛,去除过大及过小颗粒,得到成品。主要产品规格为颗粒状和粉末状两种,颗粒产品粒径分布在2~4 mm,颗粒强度 ≥ 30 N, $w(\text{总养分})$ (氮、磷、钾) $\geq 45\%$;粉末产品粒径 ≤ 0.18 mm, $w(\text{总养分}) \geq 50\%$ 。两种产品均需进行营养成分、有害元素、酸碱度等质量指标检测,确保符合国家标准。

1.2 聚谷氨酸增效复合肥的生产情况

随着国家对环保和可持续发展的日益重视,聚谷氨酸增效复合肥迎来快速增长期。根据统计,2021年我国此类产品的年产量已达到500万t(其中颗粒肥300万t、粉状肥200万t),并以年均15%的速率持续增长。主要生产企业有湖南金农科技肥业有限公司、正大天晴药业集团有限公司、江苏华帝生物科技股份有限公司等,市场份额均在5%左右。这些企业可提供从常规主要粮食作物专用肥到园艺景观植物肥种的全面产品线。但从整体看,行业集中度仍较低,前十名企业的总产能才占全行业的35%。中小企业多,市场竞争相对分散,这导致产品之间在一定质量差异。高效产品通过精准配置原料、严格控制工艺,可使聚谷氨酸发挥增加磷溶解量、延缓溶出速率等最佳增效作用。2021年产量前十企业见表1。

表1 2021年聚谷氨酸增效复合肥产量前十企业

Table 1 Top 10 enterprises in 2021 for the production of polyglutamic acid enhanced compound fertilizer

排名	企业	产量/万t
1	湖南金农科技肥业有限公司	25
2	正大天晴药业集团有限公司	23
3	江苏华帝生物科技股份有限公司	20
4	四川乐森农业科技有限公司	18
5	河南心连心化肥有限公司	15
6	湖北楚盛化工集团	12
7	安徽红四方股份有限公司	10
8	新疆新安化工有限公司	8
9	贵州瓮福集团有限责任公司	6
10	山西亚鑫生物肥业科技有限公司	5

2021年聚谷氨酸增效复合肥产量前十企业产量合计142万t,占全行业总产量的28.4%。主要生产企业可提供适用于小麦、玉米、水稻、大豆等大田作物,以及果树、蔬菜、花卉等经济作物的系列产品。主打产品包括小麦专用肥(15-15-15)、玉米专用肥(18-9-18)、大豆专用肥(8-20-15)、柑橘专用肥(12-6-20)、草莓专用肥(10-12-28)等。高端产品采用优质原料、科学配比、精细工艺,聚谷氨酸添加量可达到5%,显著提高肥料利用率。部分企业正在开发高塔硝化、缓释包膜等新型技术,进一步提升产品性能。但受原料、能耗、技术等制约,产能规模仍较为有限。大多数中小企业仍以中低端产品为主,聚谷氨酸添加量为2%~3%,工艺简单,质量参差不齐。未来聚谷氨酸增效复合肥行业竞争将更加激烈,技术实力和产品差异化将成为决定企业竞争力的关键。加大创新研发力度,开发高性能新产品;优化工艺流程,降低生产成本;加强质量管理,提高产品一致性,将是行业发展的必由之路。同时兼并重组整合中小企业,做大做强龙头企业,推动产业集中度提升,也是大势所趋^[2-3]。

2 聚谷氨酸增效复合肥的作用机制

2.1 保水保肥

聚谷氨酸作为一种糊精类高分子化合物,具有形成包容体系和保水的独特性能。其分子链中大量的氢键使其能够吸纳并包裹水分子,并抵抗土壤中水分的蒸发损失。根据测试,每克聚谷氨酸可吸持200~300倍自身质量的水分。这种强悍的保水性能,使聚谷氨酸增效复合肥可明显提高土壤的最大持水量,尤其是轻质沙土,在干旱或半干旱地区使用,可大幅度增加土壤可利用水分,缓解植株的水分胁迫。此外,聚谷氨酸分子链上还含有大量极性基团,如羧基、氨基、羟基等,这些基团会与肥料中氮、磷、钾养分发生化学作用,形成稳定的螯合物和络合物,使之不易被水溶解和淋溶,从而达到保肥、缓释的目的,延长其在土壤中的有效时间。

2.2 促进养分吸收

2.2.1 促进磷及微量元素的吸收利用

土壤中过量的磷易形成难溶性的磷酸钙和磷酸铁,利用率通常只有10%~25%。铁、锌等微量元素也有30%~50%会被土壤胶体吸附固定。增施聚谷氨酸后,水稻对磷的吸收量提高了35.6%,小麦提高了32.1%。茶树对铁的吸收率从45%提高到62%,锌的利用率从12%提高到21%。这是因为聚

谷氨酸能与磷、铁、锌发生螯合作用，形成稳定的络合物。具体来说，羧基和氨基与金属离子发生配位作用，使之被螯合在聚谷氨酸分子链上。这类螯合物水溶性增加，迁移能力增强^[4-6]。试验测得聚谷氨酸-铁螯合物在土壤溶液中的迁移系数是土壤本底铁的1.83倍；聚谷氨酸-锌螯合物迁移系数是土壤本底锌的2.44倍。因此这种螯合作用一方面防止了养分的固定和沉淀，另一方面也使养分维持可吸收形态，更易被植物根系吸收利用。

2.2.2 提高化肥利用率，减少化肥残留

聚谷氨酸本身含有大量游离的亲水性负电 α -羧基和氢键，因此有极强的吸附特性，负电羧基与土壤养分离子进行吸附交换的能力远高于土壤本身，且能有效阻止肥料养分与土壤微量元素结合，大大减少养分淋失，提高肥料利用率^[7]；另外聚谷氨酸中的羧酸根、氨基等官能团可与尿素、过磷酸盐等形成稳定的氮磷复合物，肥料养分缓慢释放，达到缓释效果。研究表明，小白菜生产中，减30%氮肥+ γ -聚谷氨酸处理，氮肥当季利用率为42.55%，较常规施肥和减30%氮肥处理分别提高14.55和14.07个百分点^[7]；配施聚谷氨酸后，氮素在0~20 cm土层的残留量从89.4 mg/kg下降至65.2 mg/kg，下降了27%，利用率从52.3%提高到62.5%^[8]。

2.3 调节土壤性状

2.3.1 平衡土壤酸碱度

聚谷氨酸分子中所含的氨基、羟基等极性基团属于弱碱类，可与土壤中过量的 H^+ 结合，起到中和酸度的作用。研究表明，土壤每增加施用1 kg聚谷氨酸，pH会升高0.21个单位。此外聚谷氨酸本身也具备缓冲作用。当土壤酸化时，羧酸根会转变为更强的螯合配体，与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等形成稳定螯合物，减缓钙镁流失的速率；当土壤碱化时，氨基通过提供质子抑制 OH^- 的积累，起到缓冲调节作用。因此，聚谷氨酸可在一定程度上抵御外界酸碱度剧烈波动的影响，帮助土壤环境维持适宜的pH水平^[9]。

2.3.2 丰富土壤微生物

聚谷氨酸可直接为土壤微生物提供丰富的营养源，促进其生长繁殖。首先，其本身聚合物的特性，可为真菌、放线菌等微生物附着定植提供物理基质；其次，羧基可在一定条件下氧化断裂生成低碳醇类和酮类化合物，为部分微生物的能量代谢提供底物；最后，氨基也可支撑部分细菌的氮营养需求。实验证明，施用聚谷氨酸后土壤中真菌数量增加了23.7%，放线菌数量增加32.1%，根瘤菌数量

增加29.4%。这些益生菌可分泌植物生长激素，增强植物抗逆性；也可抑制多种土传病原菌，发挥生防控害作用。因此聚谷氨酸通过调控土壤微生物群落结构，可对植物体和土壤环境产生深远影响^[10]。

2.4 增强植物抗性

2.4.1 增强植物抗病能力

研究显示，施用聚谷氨酸可明显增强植物的抗病能力，减轻多种病原菌的危害。例如施用炭吸附聚谷氨酸有机水溶肥后，小麦叶枯病和赤霉病发病率分别减轻14和8个百分点^[11]。产生这种效果的主要机制有两个：一是聚谷氨酸可激发植物体内抗病相关基因的表达，启动植物的自身免疫应答。二是聚谷氨酸还可诱导植物积累一些抗病生理活性物质，如香豆素、木质素等，这些物质可直接抑制病原菌的侵染和内生。

2.4.2 增强植物抗逆境能力

施用聚谷氨酸可提高植物组织中的蛋白质和脯氨酸含量，增强对低温、高温等胁迫的适应力。这是因为聚谷氨酸作为氨基酸衍生物，可促进氨基酸同工酶和脯氨酸合成酶等的表达，刺激蛋白质和脯氨酸等渗透保护物质的积累。模拟干旱胁迫下， γ -聚谷氨酸处理的水稻幼苗叶片中活性氧的累积量减少，胁迫间脯氨酸、游离氨基酸和可溶性总糖含量分别较对照增长1.32%~8.62%、2.29%~10.71%、13.01%~28.5%，并且 γ -聚谷氨酸可明显减缓干旱胁迫下钾离子含量降低的速率；盐胁迫下，100 mg/L的外源 γ -聚谷氨酸通过缓解离子毒害和渗透调节，降低过氧化伤害，增强了水稻盐胁迫下的抗性； γ -聚谷氨酸能提高种子萌发活性，使幼苗更健壮，增强幼苗抗低温能力^[12]。除直接增强抗逆性外，聚谷氨酸所改善的营养和土壤环境，也可间接提高植物的环境适应能力，为农作物高产稳产奠定基础。

3 聚谷氨酸增效复合肥的应用

3.1 聚谷氨酸增效复合肥在水稻上的应用

南方稻区土质以沙质土壤和黏性较弱的轻质土为主，肥力较低而且容易发生水肥流失，影响水稻的营养供应与肥料利用效率。研究监测发现，与常规肥料相比，应用聚谷氨酸水稻专用肥可使水稻地上部生物量增加8.7%，化肥利用率提升13.2%，产量增长8%~15%。这主要是因为聚谷氨酸可通过形成稳定的氮磷复合物，减少尿素等氮肥的挥发流失，并通过螯合作用防止磷肥的固定淋溶，增

加农作物对养分的吸收量。详细检测发现,施肥区0~20 cm土层速效钾、有效磷分别比对照提高了23.6%和19.7%。这直接改善了水稻对钾、磷营养的利用水平^[3]。此外,聚谷氨酸还可提高土壤中根瘤菌、溶磷菌等益生微生物含量,对水稻生长发育具有综合促进作用,这项技术已经在长三角等南方水稻主产区获得广泛推广。

3.2 聚谷氨酸增效复合肥在番茄上的应用

番茄生长对钙、镁等微量元素有较高需求。研究表明,施用聚谷氨酸番茄专用肥后,植株对钙和镁的吸收利用效率分别提升了29.6%和19.8%;同时由于钙镁含量明显提高,有效降低番茄生理性病害的发生率,如各类果实病害发生量降低了18.7%~26.3%。此外,聚谷氨酸还可激活番茄体内抗氧化酶等防御酶类,提高其对外源病原菌的抵抗力。监测到番茄组织中过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性较对照分别提高1.58和1.83倍。这增强了番茄对立柱枯病等土传病害的诱导抗性,减轻病害程度。因此,番茄生产中应用聚谷氨酸番茄专用肥,番茄单产提高超过16%,并可显著提高果实风味,实现提质增效^[13-14]。

3.3 聚谷氨酸增效复合肥在小麦上的应用

小麦的主要病害为条锈病,它可导致小麦叶片、茎秆及穗轴出现橙黄色条痕,严重时可造成减产甚至无收。聚谷氨酸可提高土壤中磷、铁、锌等微量元素的有效性,这是抑制条锈病发生的关键。此外,聚谷氨酸还可通过诱导小麦产生抗氧化酶等抗性物质,直接增强其对条锈病的抗性,实现防治和增产的双赢。这项技术已经在华北平原等传统小麦生产区推广,获得了良好的经济和生态效益。

4 结语

综上所述,聚谷氨酸增效复合肥在农业生产中具有广泛的应用前景。通过优化生产工艺和组分配置,聚谷氨酸增效复合肥可以提高作物对养分的吸收利用率,减少化肥残留,改善土壤性状,增强植物抗逆性和抗病能力。在水稻、番茄、小麦等主要粮食作物上的应用实践表明,施用聚谷氨酸增效复合肥可以显著提高农作物产量和品质,助力实现农业的可持续发展。然而,目前我国聚谷氨酸增效复合肥产业仍面临集中度较低、产品质量参差不齐等问题。因此,企业需要加大技术研发和创新力度,优化产品组分,提高产品质量;同时,加强管理体系和质量控制手段,实现产业转型升级,赢得更大竞争力。

[参考文献]

- [1] 杨文龙.聚谷氨酸调控丹参减肥增效的生理机制[D].新乡:河南科技学院,2023.
YANG W L.The physiological mechanism of polyglutamic acid (PGA) in reducing fertilizer dosage and increasing the efficiency of *Salvia miltiorrhiza* [D]. Xinxiang: Henan Institute of Science and Technology, 2023.
- [2] 周志刚,石松林.聚 γ -谷氨酸增效复合肥的生产与应用[J].肥料与健康,2022,49(3):32-34.
ZHOU Z G, SHI S L.Production and Application of High Efficiency Compound Fertilizer with Poly γ -Glutamic Acid [J]. Fertilizer & Health, 2022, 49(3): 32-34.
- [3] 刁倩,王斌,曹辉,等. γ -聚谷氨酸对水稻、玉米、大豆生长及产量的影响[J].南方农业,2020,14(28):48-52.
DIAO Q, WANG B, CAO H, et al. The effect of γ -polyglutamic acid on the growth and yield of rice, corn, and soybean [J]. South China Agriculture, 2020, 14(28): 48-52.
- [4] 张海涛,张磊,徐长青,等.聚合氨基酸复合肥系列产品生产技术总结[J].化肥工业,2018,45(6):13-14,47.
ZHANG H T, ZHANG L, XU C Q, et al. Sum-Up of Production Technology of Polyamino Acid Compound Fertilizer Series Products [J]. Chemical Fertilizer Industry, 2018, 45(6): 13-14, 47.
- [5] 嵇优优,邢芳芳,高明夫,等. γ -聚谷氨酸合成菌的鉴定及其对肥效的影响[J].湖北农业科学,2016,55(17):4569-4571,4576.
ZHUO Y Y, XING F F, GAO M F, et al. Identification of γ -polyglutamic Acid Producing Strain and Its Effects on Fertilizer Efficiency [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55 (17) : 4569-4571, 4576.
- [6] 杨庆锋,张亚平,杜迎辉.聚 γ -谷氨酸增效复合肥对白菜生长及其产量的影响[J].农业开发与装备,2015(12):64.
YANG Q F, ZHANG Y P, DU Y H. The effect of poly - γ - glutamic acid enhanced compound fertilizer on the growth and yield of Chinese cabbage [J]. Agricultural Development & Equipments, 2015(12):64.
- [7] 何宇,吕卫光,李双喜,等. γ -聚谷氨酸发酵液对小白菜生长及氮磷肥料利用率的影响[J].浙江农业学报,2023,35(2):329-337.
HE Y, LV W G, LI S X, et al. Effects of γ -polyglutamic acid fermentation broth on growth of pakchoi and utilization rate of nitrogen and phosphorus fertilizer [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2023, 35(2): 329-337.
- [8] 顾芳宁.改性生物炭及 γ -聚谷氨酸对黑土中氮素迁移和转化的影响[D].长春:吉林农业大学,2023.
GU F N. Modified biochar and γ -polyglutamic acid on nitrogen transport and transformation in black soil [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2023.
- [9] 张灵芝,李蒙,李洪义,等.脱硫石膏与聚谷氨酸配施对盐碱化土壤的改良效果[J].水土保持通报,2023,43(6):115-125.
ZHANG L Z, LI M, LI H Y, et al. Effects of Desulfurized Gypsum Applied Combined with Polyglutamic Acid on Improving Saline Soil [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43 (6) :