

◆磷及关联产业工艺创新◆

悬浮型液体肥料生产工艺及产品稳定性研究

鄂玉联¹, 郑继亮¹, 邹向东¹, 吐尔逊那依·米吉提², 艾合买提江·瓦哈甫², 王改荣¹,
王 静¹, 马 超¹, 史力超¹, 胡艳飞¹, 马瑞杰¹, 李 雪¹, 李建峰¹

(1. 新疆心连心能源化工有限公司, 新疆 玛纳斯 832200;
2. 新疆维吾尔自治区耕地质量监测保护中心, 新疆 乌鲁木齐 830000)

[摘 要] 针对新疆盐碱耕地水肥一体化应用需求, 围绕悬浮型液体肥料的工艺设备参数、悬浮体系构建、工艺时间控制等核心环节展开系统研究, 旨在提升产品稳定性与养分利用效率。通过实验明确了最优原料添加顺序、工艺参数及悬浮剂配比, 提出适配高氮、高磷、高钾三类配方的标准化生产工艺。结果表明, 按钾源、磷源、氮源的投料顺序, 结合差异化工艺时间控制 (高氮配方 ≥ 4.0 h、高磷配方 ≥ 3.5 h、高钾配方 ≥ 4.5 h), 并添加适配悬浮剂, 可使产品养分达到标准要求与设计值, 粒径控制在 ≤ 0.075 mm (200目), 贮存期内无分层、沉淀现象。本研究形成的工艺技术可为盐碱地改良背景下悬浮型液体肥料的工程化生产提供支撑, 助力生态农业与水肥一体化技术推广。

[关键词] 悬浮型液体肥料; 生产工艺; 产品稳定性; 磷资源利用; 盐碱地改良

[中图分类号] TQ449*.6 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2026) 03-0026-04

Research on the production process and product stability of suspended liquid fertilizers

E Yulian¹, ZHENG Jiliang¹, ZOU Xiangdong¹, TUERXUNNAYI·Mijiti², AIHEMAITIJIAN·Wahafu²,
WANG Gairong¹, WANG Jing¹, MA Chao¹, SI Lichao¹, HU Yanfei¹, MA Ruijie¹, LI Xue¹, LI Jianfeng¹

(1. Xinjiang Xinlianxin Energy Chemical Co., Ltd., Manas 832200, China;

2. Xinjiang Cultivated Land Quality Monitoring and Protection Center, Urumqi 830000, China)

Abstract: To address the application needs of integrated water and fertilizer in saline-alkali arable land in Xinjiang, key aspects such as the process equipment parameters of suspended liquid fertilizers, the construction of suspension systems, and process time control are investigated, aiming to enhance product stability and nutrient utilization efficiency, the optimal raw material addition sequence, process parameters, and suspension agent ratios are determined. A standardized production process suitable for three types of formulations (high nitrogen, high phosphorus, and high potassium) is proposed. The results show that following the feed order of potassium source, phosphorus source, nitrogen source, combined with differential process time control (≥ 4.0 h for high nitrogen formula, ≥ 3.5 h for high phosphorus formula, ≥ 4.5 h for high potassium formula), and the addition of appropriate suspension agents, the nutrients meet the standard requirements and design values, the product particle size can be controlled bellow 0.075 mm, with no layering or sedimentation during storage. The developed process technology can support the engineering production of suspended liquid fertilizers in the context of saline-alkali land reclamation, facilitating the promotion of eco-agriculture and integrated water and fertilizer technologies.

Key words: suspended liquid fertilizers; production process; product stability; phosphorus resource utilization; improvement of saline-alkali land

0 引言

智慧农业发展推动肥料产业向高效化、绿色化、智能化转型, 悬浮型液体肥料因养分浓度高、

易与水肥一体化技术适配、施用便捷等优势, 成为肥料产业的重要发展方向。新疆作为我国水肥一体化技术推广的前沿区域, 盐碱土壤面积大, 土壤养

收稿日期: 2025-12-25

作者简介: 鄂玉联 (1991—), 男, 河南信阳人, 农艺师, 研究方向为新型肥料产品开发与应用。

通信作者: 郑继亮 (1984—), 男, 河南商丘人, 高级农艺师, 研究方向为新型肥料研发与制备。

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发计划专项“新疆盐碱耕地土壤障碍因子削减技术及新型改良剂研制与推广” (2023B02002-3)

分流失及固定问题突出,对悬浮型液体肥料的稳定性与生态适配性提出了更高要求。新疆心连心能源化工有限公司(简称心连心)等头部企业已对悬浮型液体肥料开展了大规模推广应用,但其生产工艺仍存在原料溶解不均匀、产品贮存期分层、磷素利用率低等问题^[1-2]。

液体肥料分为清液型和悬浮型两类,其中悬浮型液体肥料通过悬浮剂、分散剂等助剂作用,使过饱和溶液中的养分颗粒保持均一分散,可承载更高浓度的养分,更适配盐碱地高需肥特性。相较于固体肥料,悬浮型液体肥料可精准搭配微量元素^[3],减少养分流失,降低人工投入,同时改善土壤微环境,提升作物产量与品质^[4-6]。

目前悬浮型液体肥料生产存在工艺参数不明确、悬浮体系适配性差等问题,且针对盐碱地应用场景的工艺研究较少。本研究结合新疆盐碱耕地改良需求,聚焦工艺设备、原料添加顺序、工艺时间控制及悬浮体系构建,开展系统优化研究,为悬浮型液体肥料的工程化生产与生态应用提供技术支撑。

1 实验部分

1.1 实验原料

本研究针对高氮、高磷、高钾 3 类悬浮型液体肥料配方,兼顾养分有效性与盐碱地适配性,选取适配原料。

氮源:尿素($w(\text{N})$ 46%)、尿素硝酸铵溶液($w(\text{N}) \geq 40\%$)、硫酸铵($w(\text{N})$ 21%)、氯化铵($w(\text{N})$ 25%)。

磷源:磷酸一铵($w(\text{总养分})$ 72%)、聚磷酸铵($w(\text{总养分})$ 78%)。

钾源:硫酸钾($w(\text{K}_2\text{O})$ 50%)、氯化钾($w(\text{K}_2\text{O})$ 60%)。

助剂:悬浮剂(有机膨润土(A)、黄原胶(B))、分散剂(木质素类)、消泡剂(有机硅类)。

1.2 生产设备及参数

选用工程化生产常用设备,明确设备核心运行参数,保障工艺可重复性。

搅拌机:转速 200~300 r/min,用于增效材料及原料的初步溶解混合。

分散机:转速 1 500~2 000 r/min,实现物料分散、细化与均质混合。

剪切机:转速 3 000~4 000 r/min,剪切细化颗粒,增大溶质与溶剂接触面积。

乳化泵:压力 0.8~1.2 MPa,研磨乳化养分颗粒,构建稳定悬浮体系。

1.3 实验方法

原料溶解性:在 20 ℃ 标准条件下,依据各原料的溶解度,明确溶解特性差异。

工艺参数优化:以产品稳定性(分层率、沉淀率)为评价指标,开展原料添加顺序、工艺时间、温度条件的多因素优化实验。

稳定性评价:将成品置于 25 ℃ 条件下贮存 3 个月,定期观察分层、沉淀及结晶情况,测定颗粒粒径分布。

2 工艺控制

2.1 原料添加顺序控制

不同养分原料溶解性差异显著,钾源(硫酸钾 20 ℃ 时 100 g 水中溶解度为 11.1 g)溶解速率最慢,磷源次之(磷酸一铵 20 ℃ 时 100 g 水中溶解度为 37.4 g),氮源最快(尿素 20 ℃ 时 100 g 水中溶解度为 108 g)。且尿素溶解吸热会降低溶液温度,抑制其他原料溶解。

根据各原料特性确定最优原料添加顺序:向搅拌罐中加入定量水,开启搅拌机,投入增效材料并搅拌溶解;先加入钾源原料,搅拌至初步溶解;再加入磷源原料,继续搅拌至体系均一;最后加入氮源原料,避免其溶解吸热对钾、磷溶解造成抑制。

2.2 生产工艺流程

悬浮型液体肥料稳定体系的构建依赖搅拌、剪切、分散、乳化四级工艺协同作用,具体操作流程如下。

(1) 加水,启动搅拌机,溶解增效材料;根据配方,按顺序投加钾源、磷源、氮源原料,搅拌至液面没过剪切机与分散机套轴;

(2) 开启剪切机与分散机,按配方要求处理规定时间;

(3) 启动乳化泵,对物料进行研磨乳化,细化颗粒粒径;

(4) 投加悬浮剂、分散剂,搅拌均匀后进行定容;

(5) 定容完成后,再次开启剪切机、分散机、乳化泵,进行二次均质处理,确保体系稳定;

(6) 关闭所有设备,取样检测粒径及稳定性指标,合格后出料。

2.3 工艺时间与温度控制

不同配方原料占比及溶解性差异大,需适配差异化工艺时间。结合温度对溶解效率的影响,确定 40~50 ℃ 为最优生产温度区间,在此条件下明确各类配方的最短工艺时间。

高氮配方：剪切、分散、乳化总时间不少于4.0 h，高温可减少尿素结晶风险。

高磷配方：总工艺时间不少于3.5 h，保障聚磷酸铵的整合与分散。

高钾配方：总工艺时间不少于4.5 h，确保难溶性钾盐充分溶解与分散。

温度升高可显著提升原料溶解速率，缩短工艺时间，但需控制温度不超过55℃，避免尿素分解与养分流失。

2.4 悬浮体系控制

悬浮体系是保障产品稳定性的核心，由悬浮剂、分散剂、增稠剂协同构成，其作用是维持养分的均一悬浮状态，防止分层、沉淀与结晶。

悬浮剂筛选：优先选用悬浮材料A与悬浮材料B复配体系，添加量控制在0.5%~0.6%，可使颗粒粒径控制在 ≤ 0.075 mm（200目），显著提升贮存稳定性。

协同作用强化：分散剂可降低颗粒表面张力，增稠剂可提升体系黏度，分散剂、增稠剂、悬浮剂复配使用可实现悬浮体系的长效稳定。

适配性调整：根据配方类型调整悬浮体系配比，高钾配方需适当增加悬浮剂添加量，以应对其难溶性颗粒占比高的特性。

3 结果与讨论

3.1 原料添加顺序对产品养分含量的影响

按钾源、磷源、氮源顺序投料生产的悬浮型液体肥料，养分溶解率可达98%以上，显著高于无序投料的85%。无序投料易导致局部原料浓度过高，出现结晶析出，而优化后的投料顺序可避免尿素溶解吸热对其他原料溶解的抑制，保障体系均一性。按此原料添加顺序在设计工艺条件下中试生产的液体肥样品（高磷型）分析结果见表1。由表1可

表1 液体肥样品（高磷型）分析结果
Table 1 Analysis results of liquid fertilizer samples (high phosphorus type)

处理	$\rho(\text{N})/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{P}_2\text{O}_5)/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{K}_2\text{O})/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{总养分})/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	密度/ ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	pH
T1	+7.41	+2.76	+3.58	+13.75	1.296	2.59
T2	+6.58	+4.98	+5.75	+17.31	1.301	2.69
T3	+2.26	+4.46	+3.91	+10.63	1.299	2.88
T4	+8.41	+5.76	+4.56	+18.73	1.295	2.82
T5	+5.63	+6.34	+6.37	+18.34	1.302	2.67
T6	+8.62	+3.65	+5.49	+17.76	1.293	2.58

注：由于配方保密原因，只标注与实际设计养分偏差，“+”表示超过设计养分值，“-”表示低于设计养分值。T1至T3为高磷配方1的3次重复；T4至T6为高磷配方2的3次重复，下同。

知，中试生产的产品各养分含量均高于设计值，pH为酸性。中试生产的液体肥料样品， ρ （总养分） ≥ 430 g/L，符合NY/T 1107—2020要求（ ρ （大量元素） ≥ 400 g/L， ρ （水不溶物） ≤ 10 g/L， w （缩二脲） $\leq 0.9\%$ ），同时符合心连心公司内部控制标准（单一养分和总养分指标不允许出现负偏差）。

3.2 工艺参数对产品稳定性的影响

对于高磷型配方，按照设计生产工艺条件进行中试生产，选取两个样品进行稳定性检验，每组样品进行3次重复试验，试验结果见表2。由表2可知，2个样品在常温、5℃、0℃和-5℃条件下贮存14 d，稳定性较好，未出现分层、析水、结晶、沉淀和胀气现象；在54℃条件下贮存14 d，各样品均出现胀气现象，与液体肥料自身配方组成含有尿素有关。

表2 液体肥料中试样品（高磷型）稳定性观察结果

Table 2 Stability observation results of liquid fertilizer pilot samples (high phosphorus type)

处理	常温	5℃	0℃	-5℃	54℃
T1	稳定	稳定	稳定	稳定	胀气
T2	稳定	稳定	稳定	稳定	胀气
T3	稳定	稳定	稳定	稳定	胀气
T4	稳定	稳定	稳定	稳定	胀气
T5	稳定	稳定	稳定	稳定	胀气
T6	稳定	稳定	稳定	稳定	胀气

工艺时间与温度是影响产品稳定性的关键因素。在45℃条件下，高钾配方经4.5 h剪切乳化处理后，贮存3个月无分层沉淀；而工艺时间不足3 h时，产品贮存1个月内即出现明显沉淀。温度低于30℃时，原料溶解不完全，需延长工艺时间1~2 h，增加生产成本。

3.3 悬浮体系对产品稳定性的影响

分别添加0.15%和0.18%的悬浮材料B，进行产品稳定性观察，结果见表3。由表3可知，当悬浮材料B添加量分别为0.15%、0.18%时，液体肥上下层密度差为0.006~0.016 g/mL，且悬浮材料添加量越多，液体肥产品上下部密度差越小，说明悬

表3 不同悬浮剂添加量产品的黏度和密度差

Table 3 Differences in viscosity and density of products with different amounts of suspension agent

悬浮材料B 添加量/%	部位	黏度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	密度/ ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	密度差/ ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)
0.15	上层	606	1.259	0.016
	下层	632	1.275	
0.18	上层	569	1.277	0.006
	下层	642	1.283	

浮材料 B 的添加量（添加量在 0.1% ~ 0.2%）与液体肥的稳定性成正相关，黏度符合产品设计。

悬浮剂复配体系的添加是维持产品稳定性的核心。添加 0.4% 悬浮材料 A + 0.1% ~ 0.2% 的悬浮材料 B，可使高浓度悬浮液体肥料的贮存期延长至 6 个月以上，且颗粒粒径始终保持在 ≤ 0.075 mm。这与周小厚研究中悬浮剂提升高浓度悬浮肥稳定性的结论一致^[7]，且在实际应用过程中，一般需要悬浮剂的毛细度 ≤ 0.075 mm，以增强悬浮型液体肥的稳定性，从而达到正常的使用标准^[8]。

3.4 生态应用价值

2025 年对新疆棉花种植中施用心连心公司液体肥的农户共计 815 个液体肥施肥系统进行实收跟踪，结果见表 4。由表 4 可知，此次推广应用共覆盖面积 14 292.67 hm²，经过计算，整体 667 m² 平均产量 462.7 kg。2025 年新疆棉花 667 m² 平均产量 429 kg，使用用心连心公司液体肥每 667 m² 增产 33.7 kg，增产率 7.9%。

表 4 液体肥肥效推广实际效果

Table 4 Actual effect of promoting the efficiency of liquid fertilizer

667 m ² 棉花 产量/kg	施肥系统/个	棉花面积/hm ²	面积占比/%
> 550	24	494.4	3.5
> 500 ~ 550	137	2 410.8	16.7
> 450 ~ 500	431	7 310.9	51.6
> 400 ~ 450	191	3 304.9	22.8
≤ 400	32	771.7	5.4

悬浮型液体肥料的推广应用可助力新疆盐碱耕地的水肥一体化发展。桑文等研究发现液体肥能够增加氮素和磷素的吸收利用，分别增加了 25.15% 和 11.59%^[9]；李建峰等研究不同磷源悬浮型液体肥，发现施用混合磷源+腐植酸液体肥料的磷肥利用率较施用单一磷源液体肥料提高了 46.2%^[10]；马红红等研究发现液体肥每 667 m² 施肥量减少 19.4 kg，但提供的硝态氮、铵态氮高于常规肥料^[11]；与常规施肥相比，施用液体肥料氮素吸收平均增加 18.5%，磷素吸收平均增加了 16.2%，钾素吸收平均增加了 0.6% ~ 23.9%^[12]。相较于固体肥料，悬浮型液体肥料可减少养分流失 20% ~ 30%，提升作物产量 7% ~ 15%，同时改善土壤微环境，降低土壤盐含量。这与腐植酸液体肥促进香蕉农艺性状、海藻液体肥促进种子萌发的研究结论相呼应，凸显了液体肥料在生态农业中的应用潜力^[13-14]。

悬浮型液体肥料对原料纯度和杂质要求高于清液型液体肥料，优质原料的选择是保障产品稳定性与肥效的基础^[15]。本研究选用的聚磷酸铵磷源，不仅可提升养分浓度，还能在盐碱地中减少磷素固定，提升磷资源利用效率。

4 结论

（1）针对高氮、高磷、高钾 3 类悬浮液体肥料配方，确定最优原料添加顺序为钾源、磷源、氮源，该顺序可提升养分溶解率，避免结晶析出。

（2）明确了差异化工艺参数：生产温度控制在 40 ~ 50 ℃，高氮、高磷、高钾配方的剪切乳化总时间分别不少于 4.0、3.5、4.5 h，可保障产品稳定性。

（3）悬浮材料 A（0.4%）+ 悬浮材料 B（0.1% ~ 0.2%）复配的悬浮体系，添加量控制在 0.5% ~ 0.6%，可使产品粒径 ≤ 0.075 mm（200 目），贮存 6 个月产品无分层沉淀。

本研究形成的工艺技术可提升悬浮型液体肥料的稳定性与生态适配性，为盐碱耕地水肥一体化推广提供技术支撑，具有广阔的工程化应用前景。

【参考文献】

- [1] 李建峰, 孙文广, 郑继亮. 悬浮态液体肥料生产技术简析[J]. 新疆农业科技, 2021(2): 41-43.
- [2] 王永梅. 玛纳斯县棉花液体肥使用现状及对策[J]. 新疆农业科技, 2024(2): 15-16.
- [3] 苏佳雯. 腐植酸液体有机肥对基质培番茄生理的影响[D]. 晋中: 山西农业大学, 2024.
- [4] 田容瑞. 微藻液体肥对土壤真菌群落特征的影响研究[D]. 太原: 山西大学, 2024.
- [5] 赵后秀, 郝先哲, 石峰, 等. 有机液体肥对棉花冠层特征、产量和品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2024, 61(3): 556-564.
- [6] 王小武, 王志方, 周留艳, 等. 化肥配施有机液体肥对香梨产量、品质及土壤理化性质和细菌群落结构的影响[J]. 西北农业学报, 2024, 33(10): 1883-1895.
- [7] WANG X W, WANG Z F, ZHOU L Y, et al. Effects of Chemical Fertilizers Combined with Organic Liquid Fertilizers on Yield, Quality, Soil Physical, Chemical Properties and Bacterial Community Structure of Fragrant Pear[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2024, 33(10): 1883-1895.

（下转第 34 页）