

# 有机无机复混肥现状及研究进展

王孟, 胡婷婷, 曹胜飞, 王梦娣, 方婕, 汪秋云

中盐安徽红四方肥业股份有限公司, 安徽 合肥

收稿日期: 2023年9月6日; 录用日期: 2023年10月5日; 发布日期: 2023年10月12日

## 摘要

有机无机复合肥料生产技术与传统肥料加工技术与现代生物技术的结合。它利用微生物发酵技术处理各种有机物质(如牲畜粪便、城市垃圾、污泥、秸秆、锯末和食品加工垃圾, 以及泥炭、褐煤、风化煤和腐植酸), 然后添加适量的氮、磷、钾, 采用先进的造粒技术加工各种规格的粒状有机无机混合肥料。

## 关键词

有机无机复混肥, 发展现状, 前景

# Present Situation and Research Progress of Organic and Inorganic Compound Fertilizer

Meng Wang, Tingting Hu, Shengfei Cao, Mengdi Wang, Jie Fang, Qiuyun Wang

CNSIG Anhui Hongsifang Fertilizer Co., Ltd., Hefei Anhui

Received: Sep. 6<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 5<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 12<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The production technology of organic-inorganic compound fertilizer is a combination of traditional fertilizer processing technology and modern biotechnology. It uses microbial fermentation technology to treat various organic substances (such as livestock manure, urban garbage, sludge, straw, sawdust and food processing garbage, as well as peat, lignite, weathered coal and humic acid), and then adds appropriate nitrogen, phosphorus and potassium. Advanced granulation technology is used to process granular organic and inorganic mixed fertilizers of various specifications.

## Keywords

Organic and Inorganic Compound Fertilizer, Development Status, Prospect

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 有机无机复混肥的概念

有机无机复混肥既含有有机质，又含有化肥。是指将有机材料和肥料按一定比例混合，并将它们与不同的生产工艺组合(混合)而成的肥料[1] [2] [3]。有机无机复混肥料中的大多数有机物质是从其他有机材料加工而来的，如牲畜粪便、城市有机废物、有机废物、污泥、收获秸秆、锯末和其他有机含量高的有机材料；此外，许多公司还使用风化煤、褐煤、净化腐植酸和泥炭作为有机原料生产有机无机复混肥料。有机无机复混肥中的无机营养主要来自普通化肥。有机无机复混肥具有有机肥和无机肥的特点，体现了有机和无机肥之间的相互作用。有机无机复混肥的有机部分提供的养分相对有限，大部分以有机形式存在，养分供应速度相对较慢。有机无机复混肥中的化肥是直接供给植物的最重要的养分来源。有机无机复混肥中的有机物质具有分散的多孔结构，并含有更多的活性官能团。它可以通过影响肥料的释放、转化和供应来调节肥料的养分供应，对优化肥料的养分利用起到作用[4] [5] [6]。

## 2. 国内外研究进展

早在 20 世纪 60 年代，世界各国就开始研究有机肥料。Berthelo 使用盆钵试验来检查土壤中的微生物是否能固定空气中的氮，以供植物吸收和使用世界上第一种微生物肥料“Nitragin”于 1895 年由德国科学家 Noble 成功开发并获得专利。20 世纪 30 年代，前苏联和一些东欧国家的科学家成功地从土壤中分离出了磷和钾细菌并将其应用于农业生产活动。Sperber 等人在 20 世纪 50 年代发现磷溶性细菌最多，由于土壤类型不同，土壤中磷溶性菌的含量也有很大差异。Kobus 等人在 20 世纪 60 年代发现，土壤的物理结构、有机质含量、土壤类型和其他因素决定了土壤磷酸盐可溶性细菌的数量。20 世纪 80 年代，加拿大筛选出能有效溶解无机磷的青霉菌，Phim Bios 1988 年，该公司使用该菌株生产 Jum Start 微生物肥料。经过十年的论证和应用数据结果表明，几乎十种作物的平均增产率为 6%~9%。目前，微生物有机肥广泛应用于西方发达国家的农业生产活动中，其利用率已占其国家化肥消费的 20% 以上。

有机无机复混肥是化肥工业发展中的一个新品种，具有中国特色，逐渐受到业界的关注。过去，发展有机无机混合肥料的主要原因是：第一，吸收有机废物，保护环境；第二，增加土壤的有机质，丰富土壤。上述两个方面无疑是有机 - 无机混合肥料发展的重要推动力。近年来，对外研究发现，将有机材料与肥料混合能够起到肥料养分的调节作用，通过控制肥料养分的转化、释放和供应来改变肥料的性质。其原理为：有机材料能够在一定程度上减少氮和氨的蒸发，延长磷和钾固定于土壤的时间，从而提高养分进入土壤的成效，在一定范围内改善土壤的物理与化学性质，增强土壤酶活性，使其他材料的利用率也随之增高。举例来看，味精在发酵过程中产生的有机废物与氮肥、磷肥、钾肥等肥料混合后，在相同条件下，三种肥料的供肥能力均有上升。相关研究表明，有机材料和肥料的科学化合物能够将肥料的利用率提升 5%~10%，氮肥和磷肥与有机材料混合效果最好。这种有机无机的混合肥料在棉花、油菜、蔬菜等经济作物中具有极大的应用前景，作为冬小麦的基肥表现良好，在玉米追肥中的应用也取得了良好的成效[7] [8] [9]。

## 3. 有机无机复混肥料的研究进展

### 3.1. 以工农业废弃物为有机原料的有机无机复混肥料

国外，工业和农业废弃物主要通过快速发酵技术或添加活性细菌来开发化学有机肥和生物有机肥。

20 世纪 50 年代以来, 中国开始推广有机无机复合肥料的应用技术。在半个多世纪的发展过程中, 有机 - 无机复合肥料经历了从应用有机 - 无机复混肥料到生产有机 - 无机复肥的各个阶段, 有机原料的使用范围也不断扩大。近年来, 中国越来越多的工厂利用食品工业废料作为有机原料生产有机无机复合肥料, 如糖渣、味精脱盐溶液、糠醛渣、柠檬酸渣、燃烧谷物、醋渣、大豆粉和其他原料这些废原料的生产过程相对稳定, 成分和性质相对稳定和安全, 基本上没有重金属污染的问题, 并且易于应用于有机无机复合肥料的生产, 它们含有丰富的植物必需营养素, 有些还含有大量容易被植物吸收的有机营养素, 如氨基酸, 这些营养素在农业生产中通常很好[10] [11] [12]。

### 3.2. 以腐植酸为有机原料的有机无机复混肥料

腐植酸的研究起源于日本和苏联, 在上世纪 60 年代引入国内, 作为尿素增效剂取得良好的应用效果, 得到了国内外农业界的认可。其原理为: 利用其中的酸性物质, 与各种形式的尿素反应, 形成不同效果的增效剂和缓释剂, 用来延长要素的分解时间, 提高土壤的吸收成效。在具体应用中, 腐植酸也被用作土壤改良剂[13] [14] [15]。内外有关基础研究和实践研究表明, 腐植酸不仅具有强大的功能性, 且化合物的性质相当稳定, 使安全有效的增效剂, 可以提高尿素的利用率。在过去的十年中, 关于腐植酸单一氮肥增效剂的开发和研究的报道很少。大量研究集中于通过将腐植酸与其他化学肥料的混合, 来生产具有不同功效的复合肥料。

20 世纪 70 年代开始, 腐植酸的有关技术得到了较为快速的发展, 国内研究出一种将富含腐植酸的有机矿物, 如褐煤等, 与其他化学材料混合生产腐植酸复合肥料的技术。从 70 年代末到 21 世纪初, 国内的技术研究重新进入低谷。近年来随着我国经济和农业的发展, 相关研究又如雨后春笋般复苏起来。中国科学院山西碳化学研究所等单位以风化煤、木炭和泥炭为主要有机原料, 在对腐植酸的提取和腐植酸的性质和结构进行深入研究的基础上, 研究开发了化学反应型和包装型腐植酸系列肥料(腐植酸盐、腐植酸系列长效肥、腐植酸包膜肥、土壤改良肥等), 以促进矿物有机无机复合肥料的发展。

## 4. 有机无机复混肥料造粒工艺

### 4.1. 转鼓造粒工艺

第一个使用滚筒造粒的是美国国家肥料开发中心, 20 世纪 60 年代中期, 国内开始研究转鼓造粒工艺。上海化学工业首先对传统的转鼓造粒机的部分结构数据进行了深入挖掘, 并依据磷酸铵污泥造粒工艺对参数进行修订, 随后又将研究成果应用于其他材料的造粒过程中[16]。研究中学者发现, 转鼓造粒机的固体颗粒在圆筒中旋转运动时, 会发生径向或轴向的偏析, 这使得颗粒纵向和横向存在不均匀。例如当固体颗粒发生径向偏析, 会更容易聚集在圆筒中部, 轴向偏析时, 颗粒则会在圆筒的某一长度上开始聚集。只有当固体颗粒圆筒中有一定的距离移动时, 才能达到固体颗粒的最佳状态。

此传统的转鼓造粒质量和稳定性也会对干燥工艺不一定影响。这是因为在干燥工艺中为了保证每个固体颗粒的干燥效果和干燥质量, 必须保证处于同一干燥环节中的固体颗粒是统一的形态。这就要求传统的转鼓造粒干燥生产工艺必须外设一个筛分和破碎系统, 使整个造粒工艺的流程变得更长、成本变得更高、机械磨损率增高、生产环境也随之变差, 也为后来的自动化改造带来许多困难。

20 世纪 80 年代末以来, 我国成功采用了干燥内分级的“三内”技术, 具有世界先进水平的内部回流和内部损坏技术, 经过近十年的研究和工业应用, 研发出了旋转造粒干燥的闭合回流循环处理技术, 称为闭合回流技术。相较于传统方法, 这种方法效率更高、造粒质量更佳、操作难度更小、包容性更强、易于控制, 更适合大规模生产。但是, 这个技术也使机器内部的清洁变得更加困难, 设备成本也水涨船高, 在上世纪 80 年代并不能得到广泛的使用和推广。随着经济发展和时代进步, 目前这项技术已经广泛

应用于我国肥料的生产与制造之中。随着有机无机复合肥产量和需求的逐步增加,该技术的应用范围将逐步扩大,成为未来有机无机复合肥料生产的主流技术。

## 4.2. 盘式造粒工艺

盘式造粒工艺在我国的应用仍然十分普遍,主要集中于万吨以下产量的肥料企业,也是世界范围内公认的生产有机无机复混肥料的主流技术。盘式造粒工艺的工艺优点在于造粒质量稳定、设备简单易操作、投资体量较小,因此很适合中小型肥料企业采用。但盘式造粒工艺的弊端也很明显,对赵立所需的温度控制并不完善、设备本身的包容性和操作弹性较小、不能持续生产,因此在大型肥料企业中的应用显得较为鸡肋。

盘式造粒机则设备特征是拥有一个倾斜 50 度到 60 度的圆盘,始终维持在临界转速的 8 成左右,盘边高度随原料的性质和造粒需求进行调整,一般为盘子直径的 10%~15%。影响盘式造粒机造粒质量的因素主要有原材料的性质、基础材料的性质、粘合剂的加入方式与位置、投料量的适宜程度、造粒机器的温度控制等因素有关。因此在采用盘式造粒时,应选用适当的黏结剂,且须将黏结剂的用量控制在 20% 以下,物料含水量宜控在 12%~13% [17]。如果在生产工艺中存在操作不当的问题,则会造成造粒质量不佳、原材料损耗加大、机器寿命缩短、造粒效率下降等问题。需要注意的是,微粒造粒过程中,盘式造粒机的转速、黏合剂投入速度、含水量等因素的影响较大,需要给予这些因素更多的关注。

此外,在传统的盘式造粒工艺中,原料的选配也是影响造粒质量的关键问题。当原料选配不科学时,则可能导致原料与原料之间发生化学反应,进而影响造粒成果。例如,原料之间发生化学反应进而析出水分,导致搅拌过程中半成品出现结团、变浆等问题,造粒效率与质量大大降低。

另外,为了提高盘式造粒的质量和效率,使其实现连续生产,必须要严格把控投料、成粒子、出盘三个环节的衔接工作。

广东省农机研究所在多年研究后,对传统盘式造粒机进行改造,目前盘式造粒机已经能够实现间歇性的连续生产,且新式盘式造粒机造粒质量更加稳定、生产效率和产量也有较大的提高。

## 4.3. 挤压造粒

挤压造粒的核心技术是通过混合原料的挤压来实现造粒。生产上主要有对辊式挤压造粒技术和盘模挤压式造粒技术。对辊式挤压造粒的技术原理是在挤压机内安装两根平行且可调间距的辊轴,辊轴旋转时利用辊轴对通过其中的混料施加压力,使混料粘结成块状,再经破碎使其成为碎块或直接压制成直径 2~10 毫米的有机无机复混肥料颗粒[18]。其原理是:主轴带动压滚轮对盘模表面形成强大挤压力,通过一定规格和形状的圆柱孔成型,再通过切割断得到颗粒[19] [20] [21] [22]。由于结合力是液相桥黏结力,因而在加工过程中必须添加一定的黏结剂和水方能成型。挤压式造粒不易造成原料分级,比较适合有机无机颗粒肥的生产,特别适合生产有机成分含量较大的颗粒肥,但由于该法在生产过程中动力消耗大,产量也受到限制,因此一般也只用于小规模生产。

## 5. 标准与技术要求

### 5.1. 外观

颗粒状或条状产品,无机械杂质。

### 5.2. 标准

有机无机复混肥肥料的标准(表 1),为有机无机复混肥料的发展提供了重要的依据。

**Table 1.** Quality standard for organic-inorganic compound fertilizers (GB/T 1887-2020)**表 1.** 有机无机复混肥料质量标准(GB/T 1887-2020)

项目		指标		
		I 型	II 型	III 型
有机质的质量分数/%	≥	20	15	10.0
总养分(N + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O)的质量分数 a/%	≥	15.0	25.0	10
水分(H <sub>2</sub> O)的质量分数 b/%	≤	12.0	12.0	35.0
酸碱度(pH)	-	5.5~8.0		5.0~8.5
粒度(1.00 mm~4.75 mm 或 3.35 mm~5.60 mm) c/%	≥	70		
蛔虫卵死亡率/%	≥	95		
粪大肠菌群数/(个/g)	≤	100		
氯离子的质量分数 d/%	≤	3.0		
砷及其化合物的质量分数(以 As 计)%	≤	0.0050		
镉及其化合物的质量分数(以 Cd 计)%	≤	0.0010		
铅及其化合物的质量分数(以 Pb 计)%	≤	0.0150		
铬及其化合物的质量分数(以 Cr 计)%	≤	0.0500		
汞及其化合物的质量分数(以 Hg 计)%	≤	0.0005		

a 标明的单一养分含量不得低于 3.0%且单一养分测定值与表明之负偏差的绝对值不得大于 1.5%。

b 水分以出厂检验数据为准。

c 指出厂检测数据, 当用户对粒度有特殊要求时, 可有供需双方协议确定。

d 氯离子的质量分数大于 30.0%的产品, 应在包装袋上标明“含氯(高氯)”, 标识“含氯(高氯)”的产品氯离子的质量分数不做检验和判定。

### 5.3. 有毒有害物质的限量要求

除蛔虫卵死亡率、粪大肠菌群数、砷、镉、铅、铬、汞、钠离子、缩二脲以外的其他有毒有害物质的限量要求, 按 GB38400 的规定执行。

## 6. 发展趋势与展望

我国在农业发展与农业生产技术进步的同时, 也给土壤与农村环境带来了一定的负担, 使土壤质量和种植成效有所下降, 甚至给国人的身体素质造成一定影响。各种研究已经证明, 肥料除了营养物质丰富之外, 还会产生各种有机酸、糖、酚和含有氮和硫的杂环化合物, 这些化合物具有活性基团, 很容易用作配体, 与重金属和微量元素络合或螯合, 以改变微量元素和重金属的行为和功效, 从而降低重金属的毒性或提高微量元素的功效。因此, 使用有机肥料的营养范围, 结合化肥的快速可用性, 以缓慢而紧迫的方式开发有机-无机复合肥料, 可以提高化肥的利用率, 并激活土壤中的潜在营养素, 促进中国农业生产和改善环境。

## 参考文献

- [1] 杜伟. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 2010.

- [2] 赵秉强, 杨相东, 李燕婷, 等. 我国新型肥料发展若干问题的探讨[J]. 磷肥与复肥, 2012, 27(3): 1-4.
- [3] 杜伟, 赵秉强, 林治安, 等. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理研究 I, 有机物料与尿素复混对玉米产量及肥料养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 579-586.
- [4] 杜伟, 赵秉强, 林治安, 等. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理研究 II, 有机物料与磷肥复混对玉米产量及肥料养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 825-831.
- [5] 杜伟, 赵秉强, 林治安, 等. 有机复混磷肥对石灰性土壤无机磷形态组成及其变化的影响[J]. 植物营养与肥料学报 2011, 17(6): 1388-1394.
- [6] Wilson, M.F. and Roberts, A.G. (1977) Chemical Engineering Techniques in the Study of Granulation Processes. *Chemical Engineering*, **3**, 860-862.
- [7] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特及土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学 2008, 41(1): 144-152.
- [8] 赵秉强, 林治安, 冀建华, 等. 有机复合肥养分高效优化技术研究[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(5): 39-429.
- [9] 朱兆华, 廖宗文, 王德汉. 改性造纸黑液木质素氮素释放规律[J]. 农业环境保护, 2002, 21(2): 140-14.
- [10] 廖宗文. 工业废物的农用资源化学理论、技术和实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 49-57, 61-62.
- [11] 冀建华, 李絮花, 赵秉强, 等. 山东省施肥演变与现状分析[J]. 磷肥与复肥, 2009, 24(2): 76-78.
- [12] 廖宗文, 黄健安, 温志平. 有机复肥对作物品质的影响初报[J]. 热带亚热带土壤科学, 1993, 2(1): 20-23.
- [13] 廖宗文, 刘可星, 卢维盛. 利用工农业废物制造有机无机复肥的技术进展[J]. 磷肥与复肥, 1996, 11(6): 8-11, 35.
- [14] 社会英, 薛世川, 孙忠富, 等. 腐植酸复混肥对葡萄养分吸收利用的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 546-536.
- [15] 廖宗文, 王卫红, 江东荣, 等. 有机无机复肥系统与肥效关系初探[J]. 华南农业大学学报, 1995, 16(2): 25-30.
- [16] 成绍鑫, 武丽萍, 李丽. 腐植酸与速效磷肥的作用及 HA-P 的农化效应[J]. 腐植酸, 2002(1): 32-35.
- [17] 李国学, 张福锁. 固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 307-327.
- [18] 史春余, 张夫道, 张树清, 等. 有机-无机缓释肥对番茄产量和氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 584-587.
- [19] 王德汉, 彭俊杰, 廖宗文. 木质素改性产物对钾肥的缓释作用与作物吸钾量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 308-311.
- [20] 魏光禄. 谷氨酸废水制造的生物有机无机肥料农作物试验[J]. 发酵科技通讯, 2004, 33(2): 25-27.
- [21] 吴平霄, 廖宗文. 有机无机改性钾肥的结构特征及其增效机理[J]. 生态科学, 2004, 23(1): 16-19.
- [22] 王荪权. 复混肥现状及发展趋势[J]. 化肥工业, 1993(3): 21-24.