

## 剩余污泥好氧堆肥生产有机复合肥的农田试验

田宁宁 王凯军 曹从荣 董克虞

(北京市环境保护科学研究院 北京, 100037) (北京市农林科学院, 北京, 100089)

**摘要:** 城市污水处理厂剩余污泥富含有机质及多种营养成分, 是制做农肥的理想原料。利用污泥好氧动态堆肥装置生产有机肥及有机复合肥是污泥利用的良好方式。小麦农田试验结果表明: 污泥肥具有较好的增产效果。同时进行的玉米和油菜盆栽试验证明污泥肥能够促进作物生长、提高作物品质。

**关键词:** 剩余污泥, 好氧堆肥, 有机复合肥, 农田试验

### The evaluation of organic complex fertilizer made of excess sludge from a municipal wastewater treatment plant

Tian Ningning, Wang Kaijun Cao Congrong

(Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing, 100037)

Dong Keyu

(Beijing Academy of Agricultural and Forestry Science, Beijing, 100089)

**ABSTRACT:** There are a lot of organic mass and N and P nutrition in the excess sludge of municipal wastewater treatment plant which is fertilizer for the agriculture. To make the organic complex fertilizer of sludge could increase the crop yield, improve soil structure and improve the fertility of soil.

**KEY WORD:** Excess sludge, aerobic compost, organic complex fertilizer, fertilizer efficiency

本文系北京市科委资助科研项目(课题编号 951650500)的部分内容。

## 1、引言

随着城市污水处理厂的逐步建成、完善, 剩余污泥的处理和处置成为急需解决的问题。在各类污泥处置方式中, 农业利用从我国具体情况来说是最为可行、最为现实的处置方案。其特点如下: 1)可大量处置污泥, 原则上只要污泥达到国家有关标准就可用于农田; 2)污泥参与农田的自然物质循环过程, 污泥中的氮、磷、钾、有机质及微量元素是良好的农用肥料, 对农作物有增产作用; 3)污泥中有机质、腐植质可改善土壤结构, 是良好的土壤改良剂; 4)污泥农业利用使生产费用降低, 适合我国目前的发展状况。

但是污泥农用必须注意以下几点: 1)严格控制污水厂污泥的有毒、有害物质及病原微生物达到国家标准; 2)应该特别注意污泥中重金属的含量, 根据其土壤背景值等情况, 严格按照计算得到的污泥施用量进行施用; 3)一般来说某块农田使用污泥数量有一定限度, 当达到这一限度时, 污泥的农用就应停止一段时间后再继续进行; 4) 农业利用应在安全施用量之下控制使用, 同时整个污泥农业利用区应该建立严密的使用、管理、监测和监控体系。关注区域内的土壤、地下水、地表水、作物等等相关因子的状态和变化, 并根据发生的变化作出相应的调整。使得污泥的农业利用更加安全、有效, 促进农业的可持续发展。

北京市密云污水处理厂处理能力为 1.5 万立方米/天, 日产污泥 5~6 吨(含水率 80%)。目前已建成了国内第一条完整的生产性规模的污泥制肥生产线, 生产线由污泥预处理、好氧动态堆肥装置和复混肥生产装置构成。生产线已连续运行两年, 生产的有机复混肥销售情况良好。

## 2、试验目的和试验方法



### 1) 试验目的

在污泥无害化处理之后，可以有几种农用方式：直接造粒后成为污泥颗粒肥适于机播，这种方式可以大量消纳污泥，是大规模污水厂（日处理水量 10 万吨以上）污泥的主要出路；污泥再复配一些化肥形成复混肥，因为要满足 N、P、K 的含量要求，污泥的添加量不会超过 50%，一般在 10~15%。这样，污泥的消耗量就较少，适合于小规模污水厂（日处理水量 5 万吨以下）的污泥处置。我们在试制不同配方的肥料时，就针对不同规模污水厂的污泥量，设计了几种配方(见表 1)。

表 1 试验肥料成分表 (%)

营养成分	氮 (以 N 元素计)	磷 (以 P 元素计)	钾 (以 K 元素计)	有机质
肥料名称				
商品化肥(磷酸二铵)	23	21		
商品复混肥	10	8	7	
有机复合肥 A	10.45	9.7	4.6	22
有机复合肥 B	6.3	8.5	2.1	18.2
有机复合肥 C	10	8	7	4.5
有机复合肥 D	5.6	7.2	3.5	22
污泥颗粒肥	3.5	1.2	0.9	50

### 2) 试验地点

冬小麦农田试验在大兴庞各庄进行，油菜盆栽施肥试验在北京市农科院温室内进行，玉米苗期盆栽施肥试验在农科院网室内进行。

### 3) 试验设置

#### 1. 冬小麦田间施肥试验

采用计算机制造的随机排列表格安排试验地块，肥料在小麦播种前以基肥形式一次投加。各处理（不同施肥量）4 重复(4 个小区)，共 58 个小区。

各处理小区除试验用的肥料品种和肥料施用量不同外，其小区面积(40m<sup>2</sup>)、小麦品种(京冬八号)、播种期(10月10日)、播种量(15公斤/亩)、播种方式(种子条播、行距 30cm，播深 3-4cm)、浇水、施肥等田间管理都完全相同。

#### 2. 油菜及玉米盆栽试验

为了增加试验作物和进一步验证小麦田间施肥试验结果，我们还进行了玉米和油菜盆栽施肥试验。

## 3、污泥的增产效果

从污泥的养分含量来分析，污泥有增产效果。但增产幅度有多大，增产与施肥量的关系如何等等，需要通过田间施肥实践来检验。为此，我们在大兴庞各庄和北京市农科院分别进行了冬小麦、油菜、玉米等作物田间施肥试验。结果如下：

### 1) 冬小麦

#### a. 施用污泥对小麦产量的影响

施用污泥后小麦普遍增产，从表 2 可知，用 200 公斤纯污泥制成的颗粒肥施用农田后，冬小麦子粒(食用部分)与不施污泥的对照地块相比增产 25.3%，每吨污泥增产小麦(子粒)216.5 公斤。施用优质化肥磷酸二铵(20kg/亩)比对照增产 35.6%，略高于施用污泥。

表 2 施用污泥对小麦产量的影响

处 理	播前肥料施用量 (kg/亩)	试验区小麦子粒平均产量 (kg/亩)	较对照增产		吨污泥平均增产 (kg/亩)
			(kg/亩)	(%)	
CK	0	171.0			
化肥(磷酸二铵)	20	238.8	60.8	35.6	
污泥颗粒肥	200	214.3	43.3	25.3	216.5

b. 掺加污泥复混肥对冬小麦产量的影响

在研制有机复合肥时，我们使用发酵污泥来替代商品复混肥中的沸石粉，这样既可以降低制肥成本，又可以增加肥料中有机质，提高肥料的综合肥效。其农田施用效果可以从表 3 中做出比较。在同等施用量的条件下，掺入污泥的复混肥要比以沸石粉为骨料的普通商品复混肥增产效果好。

农业工作者都知道化肥仅使当茬作物增产，而有机肥不仅使当茬作物增产还可在施用后 2-3 年内表现出增产的潜力。我们由于课题时间的关系，没有进行多年的实验，这里引用北京市农科院的研究结果。北京市农科院 1989-1990 年在北京双桥进行了燕山石化废水处理剩余污泥农用施肥试验。结果表明在播种玉米前施用污泥不仅当茬作物玉米，就是第二茬作物小麦和第三茬作物水稻都有明显的增产效果见表 4。两年里每施一吨污泥三茬作物共增产粮食 473.4 公斤，是 100 公斤优质含氮、含磷化肥(磷酸二铵)增产粮食的 1.3 倍。第三年是否还有增产效果呢，由于时间关系，试验未继续下去，但从第三茬作物(水稻)收获时土壤养分的分析结果来看，此时土壤内有机质含量较对照(不施污泥)增加 35.2%，碱解氮高 38.3%(见表 5)。说明施污泥的地块还有继续增加的潜力。

表 3 掺污泥复混肥与商品复混肥增产效果比较

肥 料	施用量 kg/亩	试验区小麦籽粒平均产量 kg/亩	较对照增产	
			kg/亩	%
空白	0	155.1		
商品复混肥	40	225.0	69.9	45.1
有机复合肥C <sub>20</sub>	20	209.8	54.7	35.3
有机复合肥C <sub>40</sub>	40	231.6	76.5	49.3
有机复合肥C <sub>80</sub>	80	291.6	136.5	88.0

表 4 玉米播前一次施用污泥后两年内三茬作物的增产效果

作 物	不施污泥亩产(公斤)	施污泥地亩产(公斤)	较不施污泥增产(公斤/亩)	平均吨污泥增产(公斤)
春玉米	186.3	248.5-428.1	33.4-129.8	217.0
冬小麦	281.8	235.4-366.7	25.6-30.1	122.2
水 稻	290.6	324.0-332.2	11.5-20.8	134.1

表 5 第一茬作物施用污泥后第三茬作物收获时土壤养分含量分析\*

处理名称	土壤有机质		碱解氮	
	含量(%)	增加幅度	含量(ppm)	增加(%)
不施污泥对照地	1.22		52.0	
施污泥农田	1.65	35.2	71.9	38.3

\*:施污泥时间为 1989 年 4 月，第三茬作物收获取样时间为 1990 年 10 月



此外，田间观测表明，施用污泥的地块土壤容重减小，空隙度增加，紧密度下降，易耕作保水保肥力强。因此施污泥除增产外，还有施化肥不可比拟的优点。

### c. 污泥对冬小麦生长发育的影响

从表 6 可见，施用肥料后，小麦株高较不施肥料的对照组增高 8.8-16.6 cm。而且同子粒产量一样是随着肥料施用量的增加而增高。亩施 200kg 污泥颗粒肥的地块，产量与施化肥(磷酸二铵)20 公斤的地块相当，但株高却比施化肥处理矮 6.1 cm。众所周知，在产量相同的情况下植株矮的地块不易倒伏，它的三要素临界值更高，具有更好的丰产性能。即从植株上来看，施用污泥颗粒肥比施化肥具有更大的增产潜力。

表 6 污泥对小麦株高和群体生长发育的影响

处理名称	污泥用量 kg/亩	株高 cm	各生育期总茎数(万/亩)*					亩产 kg/亩
			出苗期	越冬前	返青-拔节期	孕穗-抽穗期	成熟期	
			8/10	7/12	7/3	5/5	16/6	
CK	0	60.6	20.9	26.0	29.2	22.9	18.5	156.6
化肥**	20	77.9	20.9	41.7	52.8	29.3	20.3	238.8
污泥 A	200	71.8	20.9	28.8	31.6	26.2	22.8	214.3

\*: 出苗期总茎数按播种量 15 kg/亩、千粒重 44.5 克、出苗率 62% 估算，其余生育期总茎数为实地调查。  
\*\*: 指磷酸二铵。

表 6 还列出了不同生育期小麦植株的群体结构。从表中可见，施污泥组与施化肥组比，虽然收获时施污泥组总茎数(穗数)比施化肥组多，但在越冬期、拔节期小麦总茎数都较化肥组低。要知道冬小麦是两年生越冬作物，冬前(12 月上旬前)与早春(3 月上旬)分蘖对小麦至关重要，因为只有这时期的分蘖才有可能成穗。因此争取冬前多分蘖，冬后早分蘖是夺取小麦丰产的关键，施污泥的地块这段生育期内总茎数(分蘖)较施化肥组少了。这说明：

- (1) 施污泥的地块土壤肥力未跟上，较施化肥地土壤中缺少有效养分；
- (2) 如果往后土壤内有效养分相同，施污泥的地块较施化肥的地块减产。

产生施污泥地块缺少有效养分的原因是由于污泥的性质及气候造成的。污泥中 N、P、K 等养分大多以植物不能直接吸收的有机态存在，其中有效态含量仅为总量的 3-5%。而化肥如磷酸二铵中的氮、磷都是以施入土壤作物可立即吸收的离子态存在。在试验地小麦播种偏晚的情况下，10 月上旬播前施入地中的污泥在地温逐日下降的冬前和严寒的冬季分解转化很慢，而造成冬前-早春施污泥地土壤有效养分较施化肥组少，可使小麦短期“饥饿”，地上部分出现表 7 所示冬前早春小麦分蘖较化肥组少的现象。三月份后随着地(气)温逐日回升，污泥中有机质分解逐渐加快，并能源源不断地供给小麦生长所需的氮、磷、钾养分，而此时施化肥组土壤内氮磷养分已大部耗尽。因此 3 月份后施污泥地块小麦群体生长逐渐追了上来，最终产量赶上或超过化肥处理。由此看来污泥宜作基肥，早期根据苗情适当追施化肥很有必要。如果将化肥掺入污泥中制成有机复合肥将能有效克服污泥肥效发生慢和化肥持续时间短的缺点，污泥化肥的增产能力都将得到充分发挥。

### 2) 油菜

为了进一步验证污泥施肥增产的结果，我们进行了油菜盆栽施肥试验。结果表明(见表 7)，污泥对油菜的增产效益十分明显，污泥对油菜的生长发育有促进作用，地上部茎叶鲜重与盆栽土内污泥的投加量成正比。此外，施用污泥后油菜叶片更加翠绿鲜嫩，与施污泥后小麦子粒千粒重增加一样，使油菜的商品和营养价值都有所提高。

### 3) 玉米

玉米盆栽结果与小麦、油菜一样即污泥对玉米生长有明显的促进作用，玉米幼苗的株高、茎粗都随着污泥的投加量的增长而增加(见表 8)。

表7 污泥对油菜的增产效果

处理简称	污泥施用量 (%)	地上部平均鲜重 克/株	增产值	
			克/株	(%)
对 照	0	7.08		
污泥颗粒肥	0.25	8.85	1.77	25.0
污泥颗粒肥	0.5	10.6 0	3.52	49.7
污泥颗粒肥	1.0	13.07	5.94	84.6

表8 污泥对玉米幼苗生长的影响

处 理	污泥投加量 (%)	株 高			茎 周 长		
		10 株均值 cm	增 加		10 株均值 cm	增 加	
			Cm	%		Cm	%
对 照	0	24.00					
污泥颗粒肥	0.25	25.25	1.25	5.2	1.76	0.21	13.5
污泥颗粒肥	0.50	26.68	2.68	11.2	1.78	0.23	14.8
污泥颗粒肥	1.0	28.24	4.24	17.7	1.88	0.33	21.3

#### 4、 污泥施肥经济效益分析

##### 1) 污泥施肥应用前景分析

有机质是反应土壤肥力状况的主要指标，常用它作为评价土壤肥力的参考标准。北京市土壤肥料站将土壤肥分为三组，有机质小于 1.2% 为低肥力组，1.2-1.7% 为中肥力组，大于 1.7% 为高肥力组。北京土壤有机质平均含量为 1.6%，说明北京市土壤有机质大多处于中低肥力水平。1997 年监测的 43 块农田中 24 块为中低肥力组，占取样总数的 56%。高肥力组的 19 块农田有 13 块分布在朝、海、丰近郊区，也就是说北京市远郊区县有 85% 的农田有机质处于中低水平。由于土壤有机质偏低，限制了远郊区农作物产量的进一步提高。

提高土壤有机质不仅可提高作物的产量，而且可改善农产品品质。而提高土壤有机质只有增施有机肥。近几年由于人粪尿大部随生活污水进入污水处理厂，再加上规模化大型猪(牛)场的出现使牲畜粪便回用困难，使农用有机肥源大幅度减少。一年两熟耕作制的推广，不仅增加了土壤有机质的消耗，还使作物秸秆回收困难。这一切都使土壤有机质含量逐年下降。因此，寻求低廉、施用方便的有机肥是提高土壤肥力的主要措施。

北京市高碑店污水处理厂日处理污水 50 万吨，排放污泥(含水率 80%)达 465 吨。全北京市日排污水 240 万吨，如果都进行生化二级处理，日排污泥量可达 2400 吨，每天可生产污泥颗粒肥(含水率 20%左右)600 吨，全年可生产污泥颗粒肥 21.9 万吨。因此，污泥是农业生产正在寻求的、质高价廉的有机肥源，在广大郊区有广泛的应用前景。如果每亩农田施用 200 公斤，则可供 109 万亩农田施用。北京市共有农田 620 万亩，则每年有六分之一的农田可施用污泥颗粒肥。如果按每公斤污泥颗粒肥增产小麦 0.22 公斤计，则每年可增产 4800 万公斤。

从 1996-1997 年北京市施肥情况来看，基肥和追肥各占该作物全生育期施肥总量的 45% 与 55%。有机复合肥不仅具有有机肥的性质，而且大部分养分以有效态存在，因此它不仅可做基肥在作物播前使用，也可用作追肥，在作物生长需肥的关键时施用。如果用作追肥，按追肥占全年施肥总量的 55% 计算，每亩用量 60-80 公斤。可一次或分两次施用。

由于有机复合肥中 N、P、K 之比为 1: 0.9: 0.4，并被加工成肥效不易流失分解的颗粒状，因此是一种养分齐全、搭配合理、肥效均衡持久的多元有机复合肥。用它作追肥后可免施其它任何肥料。



## 2) 污泥深加工制有机复合肥是污泥农用的最好途径

如前所述，每公斤污泥颗粒肥增产小麦 0.32 公斤，而每公斤有机复合肥增产小麦 6.4 公斤，后者是前者的 20 倍。也就是说，在增产量相同的情况下，后者的施肥量是前者的 1/20，用量减少后，为污泥肥的包装、运输、存放和施用带来了极大的方便。如果说将污泥制成颗粒肥是污泥农用的技术革新，而按科学配方制造成高效有机复合肥，将是多项科技成果的综合产物，是污泥制肥技术的飞跃。虽然生产有机复合肥的成本比纯污泥颗粒肥高些（根据肥料配比不同约增加成本 300~500 元/吨），但由于售价可以相应提高，扣除成本后纯效益还是十分可观的（纯利约为 300 元/吨）。

除了用污水处理的剩余污泥生产有机复合肥外，其他固体废弃物如：城市垃圾、人粪便、大型养殖场畜禽粪便、屠宰食品加工厂废料、沼气渣等都可仿效污泥制肥的试验结果，生产各种品牌的有机复合肥。这不仅为农业提供了更多的廉价的有机肥源，还对保护环境，减少废弃物处置费用都具有重大意义。

### 参考文献：

1. 金儒森、刘永龄著“污泥处置”中国建筑工业出版社，北京，1982 pp63~296
2. 田宁宁等，污水处理厂污泥处置及利用途径研究《环境保护》2000.2 pp18~20
3. 林春野，污泥农用对土壤及作物的影响，《农业环境保护》1994.13(1) pp3~25

http://www.chinacitywater.org  
中国城镇水网