

## 剩余污泥好氧堆肥生产有机复混肥的肥分及效益分析

田宁宁 王凯军 柯建明

(北京市环境保护科学研究院 北京, 100037)

**摘要:** 城市污水处理厂剩余污泥含有大量有机质和氮、磷等营养元素, 是农业生产宝贵的肥源。将污泥制成有机复混肥可以使作物增产, 并改善土壤结构、提高土壤肥力。

**关键词:** 剩余污泥, 好氧堆肥, 有机复混肥, 重金属, 肥效

本文系北京市科委科研项目“城市污水厂污泥生产有机复混肥示范工程研究”课题编号 951650500

### 1、引言

随着我国社会经济和城市化的发展, 城市污水处理厂的规模不断扩大, 处理程度不断提高。到 1998 年为止, 全国已建成和在建的城市污水处理厂已近 200 座, 污水处理能力约为 1000 余万 m<sup>3</sup>/d。随新建污水处理厂的陆续投产, 污泥产量将会有大幅度的增加, 所以对污泥的处理和处置必须予以充分的重视。

城市污泥的利用和最终处置方法主要有焚烧、填埋、堆肥和投海等。焚烧法的技术和设备复杂、耗能大、费用较高, 并且有大气污染问题; 填埋法受到场地条件及环境的限制, 在污泥运输距离的合理范围内已很难找到合适的地点; 投海会污染海洋, 对海洋生态系统和人类食物链已造成威胁, 国际公约已明令禁止; 堆肥后制成肥料农业利用具有经济、简便、可资源化等优点, 引起各国的重视, 并进行大量的研究。

### 2、污泥肥效及对土壤肥力的影响

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的污泥处置。我们在试验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 肥料成分表 (%)

肥料名称/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
商品化肥 (磷酸二铵)	23	21		
商品复混肥	10	8	7	
有机复混肥	10.45	9.7	4.6	22
污泥颗粒肥	3.5	1.2	0.9	50

密云污水厂污泥测定结果表明: 污泥中含有大量的有机质、氮、磷、钾等植物需要的养分, 其含量高于常用的牛羊猪粪等农家肥, 可与菜子饼、棉籽饼等优质有机农家肥相媲美 (见表 2)。

1991 年市农科院分析了污泥中速效养分的含量。从表 3 中可知污泥中速效氮含量在 1600mg / l 左右, 对一般农家肥料 (厩肥) 而言已经不少了, 但仅占营养物全量的 2-3%, 从这个意义来说污泥是迟效性有机肥, 需经土壤微生物分解转化后才能被作物吸收。可作追肥但更适于作基肥, 宜在作物播种或整地时施用。

表 2 几种常用农家肥养分含量 (%)

肥料名称	有机质	氮	磷	钾
密云污水厂污泥	48.1	3.5	0.9	1.2

羊粪	28.0	0.65	0.5	0.25
猪粪	15.0	0.56	0.4	0.44
人粪	20.0	1.00	0.5	0.37
河泥	5.28	0.27	0.59	0.91
菜子饼		4.601	2.48	1.40
棉籽饼		3.41	1.63	0.97

表3 污泥和绵羊粪中速效养分含量分析 (mg / l)

	污泥	绵羊粪
速效氮	1640.6	487
速效磷	135.2	417.3
速效钾	585	644

前苏联土壤学家威廉斯提出了农业生产由三个环节：即植物生产、畜牧生产和土壤施肥组成。多年来农学家把施肥作为农业生产能延续发展的物质基础，寻求优质肥源并将它合理的施用到土壤内，是提高农田产量（植物生产）的主要措施。由于有机肥长期施用增加土壤有机质，进而改善土壤团粒结构并能源源不断地为植物提供所需的多种营养元素，使作物稳产高产并使农产品品质大幅度提高，深受农业生产者的青睐。近年来环保工作者还发现：土壤的环境容量等土壤抗逆指标与土壤内有机质含量成正相关，增施有机肥可提高农田抗涝、抗旱和抗污染的能力。少用化肥多用有机肥已成为农业环保工作者的一致呼声。

### 3、污泥的增产效果

污泥的养分含量分析表明污泥有较高肥效，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以验证增产效果。施用污泥后小麦普遍增产，用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（见表4）。

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。北京市农科院 1989—1990 年在北京双桥进行了燕山石化污泥农用施肥试验。结果表

表4 施用污泥对小麦产量的影响

处理	播前肥料施用量 (kg / 666m <sup>2</sup> )	试验区小麦子粒 平均产量 (kg/666m <sup>2</sup> )	较对照增产 (kg / 666m <sup>2</sup> )	较对照增产 (%)	吨污泥平均 增产 (kg / 666m <sup>2</sup> )
对照	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

明在播种玉米前施用污泥不仅是当茬作物玉米，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。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。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%，说明施污泥的地块还有继续增加的潜力为了进一步验证小麦田间施肥实验的结果，我们进行了油菜盆栽施肥试验，结果表明（见表5）：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相关。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。

表 5 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		增产值	
		克/株	克/株	克/株	(%)
对照	0	7.08			
污泥颗粒肥	0.025	8.85	1.77	25.0	
污泥颗粒肥	0.050	10.6	3.52	49.7	
污泥颗粒肥	0.10	13.7	5.94	84.6	

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 6）。小麦田间施肥试验和玉米、油菜盆栽试验表明污泥在粮田（小麦、玉米）和菜园（油菜）都有广泛的应用前景。

表 6 派派对于光幼苗生长的影响

处 理	污泥投加量 (%)	株 高		茎 周 长	
		10 株均值 cm	增 加 Cm %	10 株均值 cm	增 加 Cm %
对照	0	24.00			
污泥颗粒肥	0.025	25.25	1.25		
污泥颗粒肥	0.050	26.68	2.68		
污泥颗粒肥	0.1	28.24	4.24		

此外田间观测表明：施用污泥的地块土壤容重减小、孔隙度增加、紧密度卜晚易研作、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其它优点。

## 4、污泥中重金属问题

### 1) 污泥的金属含量

污泥是污水处理过程中产生的剩余物质，含有植物生长发育所需的氮、磷、钾及维持植物正常生长发育的多种微量元素和能改良土壤结构的有机质。同时也含有病原微生物、寄生虫（卵）、重金属及某些难降解的有机毒物。由于污水来源、污水处理厂处理工艺及季节不同，污泥的组成差异较大。对于大型城市污水处理厂，若有大量含重金属的工业废水排入系统，造成污水污泥中重金属含量偏高，因此对这类大型城市污水厂的最终处置就应慎重对待，避免引起重金属等的二次污染。中、小型城镇污水处理厂主要以处理生活污水为主，因而一般不存在污泥中重金属超标的问题。

表 7 污水处理厂污泥重金属含量

单位：mg/kg

项 目	Hg	Cd	Zn	Cu	Ph	Cr	AS	苯并 (a) 芘
高碑店污水厂	1.31	0.13	1410	601	0.603	0.648	/	4.84
密云污水厂	ND	0.5	594	96	27	29	24	/

从表 7 可以看出，密云污水厂的污泥中重金属含量完全符合农用污泥的国家标准，可以在每 666m<sup>2</sup> 2000Kg 的施用量下长期使用。高碑店污水处理厂污泥中锌铜含量超过污泥农用标准。但当做为有机复混肥的填充料时，污泥投入量只有 5~15%，所以成品肥料中重金属不会超标。当制做污泥颗粒肥时，则应根据针对施用场地而计算得到的污泥安全施用量来确定施肥量。以避免重金属在农田土壤中过度积累，保护农业生态环境。

## 2) 污泥施肥施用率的确定

对于含有重金属的污泥肥料，施用不当就可能使土壤、地下水受到氮、磷、钾和重金属的污染。因此，把污泥作农肥处置的关键就是要确定一个合适的污泥施用率。

根据历年来的研究成果并吸收国内外有益经验，我们提出了一套计算污泥施用率的程序和计算模式，用以确定污泥施用率。该方法的实质在于限定溶解性养分和重金属输入量以确定施用率。以便达到充分利用污泥中的养分，又能防止养分和重金属污染环境；充分考虑污泥中重金属含量、土壤中重金属背景含量和环境质量标准；既考虑充分利用污泥中的养分和防止施用污泥造成污染，又满足处理厂对污泥施用场地使用年限的要求。

## 5、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。据统计，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分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 100 万吨，排放污泥（含水分 80% 观近 1000 吨。而目前全北京市日排污水 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（含水分 20% 左右）600 吨，全年可生产污泥颗粒肥 21.9 万吨。污泥是农业生产正在寻求的、质高价廉的有机肥源，有广泛的应用前景。如果每公顷农田施用 3000 公斤，则可供 13 万公顷农田施用。北京市共有农田 42 万公顷，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。

由于有机复混肥中 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混肥。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混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，而每公斤有机复混肥（配方 A）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，施用量减少后，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一项技术革新，而按科学配方制造成高效有机复混肥，将是多项科技成果的综合产物，是污泥制肥技术的飞跃。虽然生产有机复混肥的成本比纯污泥颗粒 B 高些，但扣除成本后纯效益还是十分可观的。

除了用污水处理的剩余活性生产有机复混肥外，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，生产适于不同作物需要的不同成分的有机复混肥。这不仅为农业提供了更多的廉价的有机肥源，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。PP263~296
- 2.严煦世主编“水和废水技术研究”，中国建筑工业出版社，北京，1992，pp790~819。

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