

利用污水厂污泥生产复混肥及对冬小麦增产效果研究

李海英^{1,2}, 张学军³, 张书廷¹, 赵新华¹

(1 天津大学 环境学院, 天津 300072; 2 河北理工大学 冶金与能源学院, 河北 唐山 063009
3 唐山市污水公司 东郊污水处理厂, 河北 唐山 063000)

摘要: 研究了以污水厂污泥与尿素、磷酸二铵、磷酸铵、氯化钾等化肥为原料的复混肥生产工艺, 通过控制 C/N、含水率、温度、供气量等工艺参数, 生产出了能在农业上应用的污泥复混肥。通过在沙质土壤中施用不同量及不同配方的复混肥, 进行了城市生活污水污泥复混肥在冬小麦生长中的应用效果研究。结果表明, 污泥复混肥具有良好的改良土壤、增加小麦产量的作用。污泥复混肥作底肥与对照组相比, 对植株的生长性状大都产生了显著或极显著的影响。小麦冬前分蘖增加 30~60 万个 hm^2 , 返青后分蘖数增加 30~90 万个 hm^2 , 拔节期蘖茎数增加 30~105 万个 hm^2 , 穗数增加 19.5~45 万条 hm^2 , 株高增加 2~4 cm。施用复混肥对小麦发育生长没有不良影响, 有增产效果。一般穗粒数增加 1~2 个, 千粒质量提高 0.1~1.7 g, 产量增加 457.5~1 209.0 kg hm^2 , 增产率为 7.6%~20.2%。但是由于污泥中重金属在土壤中的累积及在粮食作物中的富集现象, 施用复混肥应控制污泥的比例。

关键词: 污泥; 复混肥; 冬小麦; 产量

中图分类号: S141.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X (2006) 01-0021-04

Effect of Applying Sewage Sludge Compound Fertilizer on Winter Wheat Yield

LI Haiying^{1,2}, ZHANG Xuejun³, ZHANG Shuting¹, ZHAO Xinhua¹

(1 School of Environment Science and Technology Tianjin Univ., Tianjin 300072 China

2 School of Metallurgy and Energy Hebei Polytechnic University Tangshan 063009 China

3 Dongjiao Sewage Treatment Plant of Tangshan Sewage Company Tangshan 063000 China)

Abstract The processing technology of sewage sludge compound fertilizer was studied by mixing sewage sludge and urea, diammonium phosphate, ammonium phosphate, potassium chloride and so on. The compound fertilizer could be produced and be applied on agriculture by controlling C/N, moisture content, temperature and aeration. This study showed that the application effect of sewage sludge compound fertilizer on the growth of winter wheat by using different quantity in sand quality soil and different prescription compound fertilizer. Results indicated that sewage sludge compound fertilizer could improve the fertility of soil and increase the wheat output. Compared with chemical fertilizer, the effect of applying compound fertilizer on wheat yield are obviously. The tiller number per hm^2 was increased by 3×10^5 ~ 6×10^5 before winter, and increased by 3×10^5 ~ 9×10^5 after turning green. The number of tiller stem at jointing stage was increased by 3.00×10^5 ~ 1.05×10^6 , the number of ear per hm^2 was increased by 1.95×10^5 ~ 4.50×10^5 and plant height was increased by 2~4 cm. The number of ear was increased by 1~2 thousand, seed mass was raised by 0.1~1.7 g, the yield per hm^2 was increased by 457.5~1 209.0 kg, the increased yield percentage was 7.6%~20.2%. For the heavy metal in sludge could be accumulated in soil and enriched in grain crop, the proportion of sewage sludge in compound fertilizer should be controlled.

Key words sewage sludge; compound fertilizer; winter wheat; yield

城市污水处理工程中会产生大量的污泥, 目前 污泥的无害化处理及深度开发是污水处理厂共同面

收稿日期: 2005 01 05

作者简介: 李海英 (1971-), 女, 讲师, 博士研究生; 通讯作者: 张书廷 (1956-), 男, 教授, E-mail: zhgujje@vip.sina.com

基金项目: 国家自然科学基金 (50378061)

临的问题,处理不当会造成二次污染. 由于城市污泥中含有较高的有机质及一定量的 N、P、K 等营养成分,同时还有少量的微量元素,很适合农作物的生长,在国外约有 40% 的污泥可用于农田^[1-5]. 此外,由于有机肥料资源缺乏,农民大量施用无机化肥,从而使农作物的施肥结构发生了很大变化,导致了土壤有机质不断减少,土壤肥力下降. 长期施用化肥给土壤结构带来了很大弊病. 本研究充分利用土壤的自净能力,使有机质还田,采用唐山西郊污水厂污泥与化肥制造复混肥,在河北唐山市丰南区及滦县 2 块麦田进行试验,取得了较好的应用效果,为污泥复混肥的推广应用提供了科学依据.

1 材料与方法

1.1 材料

污泥取自河北唐山西郊污水处理厂,该厂采用二级生化处理工艺,主要处理唐山市西部的生活污水. 污泥中含水率(w)为 75%~80%,有机质质量分数为 55%~60%, $N+P_2O_5+K_2O$ 质量分数为 7% 左右,同时含有铁、铜、钙、锌、硅、硼等微量元素. 污泥中

Pb、Cd、Cr、Hg、As 等重金属质量分数($mg\cdot kg^{-1}$)分别为 5.80、 <1.00 、6.80、0.18、6.80. 大肠菌群 $0.4g^{-1}$,志贺氏菌属和霍乱弧菌未检出,蛔虫卵死亡率 96%. 所选污泥中的重金属含量远远低于国家农用污泥中污染物控制标准(GB4284-84).

试验地点位于河北省唐山地区小麦主产区——丰南区钱营镇李豪村(I)和河北滦县兴隆庄兴四村(II),土壤类型均为沙壤潮褐土,土壤肥力中等. 丰南试点土壤有机质 $18.4 g\cdot kg^{-1}$,全 N $1.3 g\cdot kg^{-1}$,有效 P $24.6 mg\cdot kg^{-1}$,速效 K $135.2 mg\cdot kg^{-1}$, $pH 7.29 < 0.01 mm$ 粒子质量分数 38.98%,小麦品种为中麦 9. 滦县试点土壤有机质 $16.8 g\cdot kg^{-1}$,全 N $1.2 g\cdot kg^{-1}$,有效 P $27.8 mg\cdot kg^{-1}$,速效 K $126.9 mg\cdot kg^{-1}$, $pH 7.45 < 0.01 mm$ 粒子质量分数 34.56%,小麦品种为丰抗 8.

1.2 方法

污水厂污泥经过脱水、干燥、发酵等工序后,配以氮、磷、钾化肥. 本研究采用尿素、磷酸二铵、磷酸铵、氯化钾等化肥与污泥按比例混合,并采用转鼓圆盘造粒工艺,生产流程见图 1.

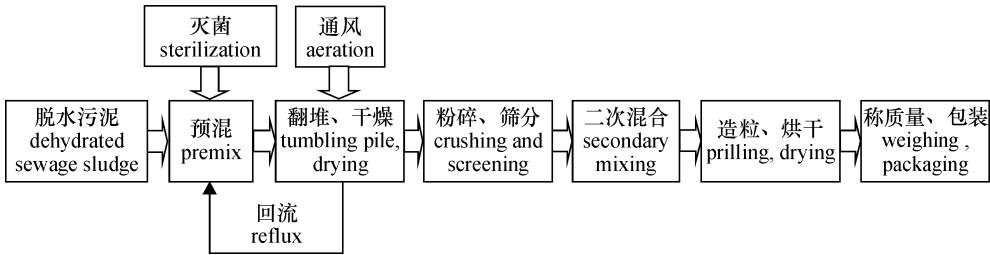


图 1 污泥制肥工艺流程

Fig 1 The technological process sewage sludge compound fertilizer

试验采用 2 种配方的复混肥,第一种配方肥料在不同试点设计了 3 种使用方案,分别为①底肥施复混肥 25 kg ②底肥施复混肥 38 kg ③底肥施复混肥 50 kg. 第 2 种配方肥料只设计了 1 种使用方案,即底肥施复混肥 50 kg. 考虑到污泥中可能存在潜在的重金属污染等问题,污泥复混肥的用量都控制在 50 kg 以下. 两试点都进行了习惯施肥的对照试验,习惯施肥按既定配方 N、 P_2O_5 、 K_2O 质量比为 1:0.5~0.7:0.2~0.3. 施肥量为 N $195 kg\cdot hm^{-2}$ 、 P_2O_5 $78 kg\cdot hm^{-2}$ 、 K_2O $39 kg\cdot hm^{-2}$. 采用随机排列重复 4 次,调查数据采用单因素方差分析. 每试点面积 $667 m^2$,其他管理条件相同.

2 结果与分析

2.1 污泥复混肥生产中要控制的主要参数及关键问题

污泥的好氧堆肥工艺的主要参数有: C/N、含水率、温度、供气量等. 一般发酵物料的 C/N 值应为 25

~35. 如果污泥的 C/N 值不能满足要求,可以加一定的辅料,如稻壳、秸秆等. 水是发酵不可缺少的物质,但是水分过多会阻止氧气渗透,使发酵速度降低,反之,则会影响微生物的活性,使分解速率减慢,因此发酵物料的水分应控制在 50%~65% 之间. 温度是好氧堆肥的综合性指标,除了直接影响微生物分解有机物的速度外,还要维持较高温度杀灭污泥中的病原菌等. 根据卫生学的要求,病原菌及寄生虫卵的杀灭温度都在 $55\text{ }^{\circ}C$,研究还发现温度过高时,微生物分解有机物的速度会降低,因此,一般最佳的发酵温度应控制在 $55\sim 65\text{ }^{\circ}C$. 一次发酵时,微生物的生长需要大量氧气,发酵时还需要排气并将热量和水分带出,污泥堆肥的供气量应按生产要求考虑各种因素及经验值确定.

污泥制肥主要由 3 部分组成:污泥发酵、污泥造粒、肥料风干. 污泥复混肥的肥料成分可以根据用户的需求进行调整,主要是确定 N、P、K 等营养成分的含量. 整个生产布局要合理,污泥复混肥的主要生产

设备如混料机、干燥机、造粒机要配套. 生产的复混肥需经农田试验及农科、环保、防疫等各部门认证后, 才能用于生产实践.

2 2 污泥复混肥对冬小麦植株性状影响

不同的复混肥配方, 对冬小麦植株性状的影响见表 1. 从表 1 可以看出, 污泥复混肥作底肥与对照

表 1 2种配方肥冬小麦植株性状¹⁾

Tah 1 The trait of winter wheat plant with two recipe fertilizers

复混肥 compound fertilizer	地点 place	方案 scheme	播期 seeding date	播量 seeding mass / kg	分蘖数 tiller number / (万个 · hm ⁻²)				株高 plant height / cm
					苗期 at seedling stage	冬前 before winter	返青期 after turning green	拔节期 at jointing stage	
配方 1 formula 1	I	CK	10 01	225	1 050	1 200	1 320	945	89
		①	10 01	225	1 050	1 200	1 320	960 *	90
		②	10 01	225	1 050	1 230 *	1 350 *	1 020 **	91 *
		③	10 01	225	1 050	1 245 **	1 350 *	1 050 **	91 *
	II	CK	10 31	225	1 020	1 080	1 170	765	86
		①	10 31	225	1 020	1 080	1 200 **	795 *	86
		②	10 31	225	1 020	1 125 *	1 215 **	825 **	88 *
		③	10 31	225	1 020	1 140 *	1 320 **	855 **	89 *
配方 2 formula 2	I	CK	10 03	225	1 035	1 140	1 230	855	89
		③	10 03	225	1 035	1 200 **	1 320 **	900 *	91 *
	II	CK	10 03	225	990	1 005	1 050	750	86
		③	10 03	225	990	1 035 *	1 110 **	795 **	87

1) 显著性检验参照 农业行业标准 NY / T 497 2002 t_{0.01} = 5.84 t_{0.05} = 3.18

组相比, 对植株的生长性状大都产生了显著性或极显著性影响. 施用第 1 种配方复混肥, 小麦冬前分蘖数平均增加 30 万个 / hm², 返青期分蘖数平均增加 47.5 万个 / hm², 拔节期蘖茎数平均增加 62.5 万个 / hm², 株高平均增加 1.7 cm; 施用第 2 种配方复混肥, 小麦冬前分蘖数平均增加 45 万个 / hm²; 返青后分蘖数增加 75 万个 / hm², 拔节期蘖茎数增加 45 万个 / hm², 株高增加 1.5 cm. 通过不同方案比较,

施肥量越多, 植株性状变化越显著. 施用复混肥底肥 25 kg 时, 小麦冬前分蘖数、返青期分蘖数、拔节期分蘖数及株高增加不显著; 施用复混肥底肥 50 kg 时, 各种性状变化都很明显, 但考虑到污泥中的重金属等对土壤的影响, 限制污泥复混肥的施用量为 50 kg 以下.

2 3 污泥复混肥对冬小麦产量影响

施用复混肥后小麦的增产情况见表 2. 由表 2 看

表 2 2种配方肥冬小麦产量¹⁾

Tah 2 The yield of winter wheat with two recipe fertilizers

2002

复混肥 compound fertilizer	地点 place	方案 scheme	穗数 number of panicle / (万条 · hm ⁻²)	穗粒数 grains per panicle	千粒质量 1000 mass / g	产量 yield / (kg · hm ⁻²)	增产量 increase in yield / (kg · hm ⁻²)	增产率 percentage increase %
配方 1 formula 1	I	CK	600	23	43.0	6 036.0		
		①	615	24	44.0	6 493.5 *	457.5	7.6
		②	615	24	45.0 *	6 753.0 **	717.0	11.9
		③	645 *	25 *	46.0 **	7 245.0 **	1 209.0	20.0
	II	CK	555	26	39.8	5 742.0		
		①	585 *	27 *	39.9	6 301.5 *	559.5	9.7
		②	585 *	27	42.9 **	6 459.0 *	717.0	12.5
		③	600 **	28 *	41.1 *	6 904.5 **	1 162.5	20.2
配方 2 formula 2	I	CK	552	23	40.5	5 193.0		
		③	585 **	24 *	42.0 **	5 896.5 *	703.5	13.5
	II	CK	543	26	39.6	5 590.5		
		③	563 *	27 *	41.3 *	6 271.5 **	681.0	12.2

1) 显著性检验参照 农业行业标准 NY / T 497 2002 t_{0.01} = 5.84 t_{0.05} = 3.18

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

出,小麦施用复混肥后产量有明显增加.第 1 种配方中每 667 m^2 施 50 kg 的增产最高,两试点都达到 20% 以上.与对照组相比,第 1 种配方穗数平均增加 30 万条 hm^2 ,穗粒数平均增加 1.3 个,千粒质量平均增加 1.7 g 产量平均增加 803.8 kg hm^2 ,平均增产率 13.7%;第 2 种配方穗数平均增加 26.3 万条 hm^2 ,穗粒数平均增加 1 个,千粒质量平均增加 1.6 g 产量平均增加 692.3 kg hm^2 ,平均增产率 12.9%.

在所研究的范围内,随着施用污泥复混肥量的增加,产量有显著增加的趋势,这与多种因素有关.由于污泥复混肥中含有丰富的植物营养元素,这些微量元素可以增加作物抵抗病虫害的能力;污泥复混肥还能改善土质,如增加土壤孔隙率,改善土壤的蓄水能力;增加土壤细菌和放线菌数量,提高微生物活性;经过碱稳定的污泥固体肥还可调节酸性土壤的 pH.经过污泥复混肥修复的土壤,对作物的增产起到了促进作用.

污泥复混肥的农用试验还表明,连续施用复混肥的土壤与试验前相比,土壤中的全 N、速效 P、速效 K 略有提高,缓效 K 和 pH 略有下降,这说明复混肥有利于提高土壤肥力.罗厚枚等^[6]对重金属的毒性研究表明,土壤重金属污染越重,作物的产量就越低,而本研究中作物产量有明显增加,说明小麦没有受到重金属的影响.

3 讨论与结论

由于污泥中除含有植物所需的营养元素外,还含有许多有害物质,因此污泥复混肥具有一定的潜在使用风险,在使用过程应注意以下问题:首先,要严格控制污泥中的重金属含量.由于唐山污水公司把工业污水与生活污水分开处理,因此西郊污水厂污泥中含重金属量较低,对本研究范围内的土壤微生物活动不构成危害.但是,在某些地区工业污水与生活污水混合处理时,由于重金属在土壤和食物链中的迁移与转化的过程相当复杂,应当予以高度重视,要随时监控土壤中重金属的迁移情况.根据文献报道,英国、德国长期施用生物固体肥料的田间试验表明,污泥施用经过 33 年后,土壤中锌、镉的可提取性和生物有效性并无下降^[7].根据廖瑞章等^[8]的研究,不同土壤重金属毒性的临界浓度不同,对土壤连续施用复混肥多年后才会对土壤中微生物的活动产

生影响或造成作物的污染.其次,污泥必须经过稳定化处理或生物堆肥后才能当肥料使用,以防止污泥中的有毒微生物在土壤环境中繁殖.最后,污泥复混肥中污泥的比例要适中.如果污泥中大量的 N、P 等营养元素不能被植物吸收时,会进入地表水造成富营养化或进入地下水引起硝酸盐污染.

污泥制造复混肥为污水厂污泥的处理提供了一条无害化、减量化、资源化的有效途径.经过对污泥复混肥在冬小麦生长中的应用,得出以下结论:1)与使用化肥相比,施用复混肥小麦植株的生长性态大都产生了显著或极显著的影响.通过不同方案比较,施肥量越多,植株性状变化越显著,但考虑到污泥中的重金属等对土壤的影响,限制污泥复混肥的施用量为 50 kg 以下.2)与使用化肥相比,小麦施用复混肥后产量有明显增加,最高增产率达 20.2%.3)施用污泥复混肥后土壤中的全 N、速效 P、速效 K 略有提高,缓效 K 和 pH 略有下降,这说明复混肥有利于提高土壤肥力.

参考文献:

- [1] CABALLERO J A, FRONT R, MARCILLA A, et al. Characterization of sewage sludges by primary and secondary pyrolysis[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 1997, 40(4): 433-450.
- [2] DAVIS R D. The impact of EU and UK environmental pressures on the future of sludge treatment and disposal[J]. Water Environment Manage, 1996, 10(2): 65-69.
- [3] TESSIER A, CAMPBELL P G C, BIASON M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals[J]. Analytical chemistry, 1979, 51(7): 844-850.
- [4] VESILIND P A. Role of water in sludge dewatering[J]. Water Environment Research, 1994, 66(1): 4-11.
- [5] CHUNG T H. Significance of pressure and recirculation in sludge thickening by dissolved air flotation[J]. Wat Sci Tech, 1997, 36(12): 223-230.
- [6] 罗厚枚, 王安康. 用灰色聚类法综合评价土壤中重金属污染程度[J]. 北京农业大学学报, 1994, 20(2): 197-203.
- [7] 何品晶, 顾国维, 李笃中. 城市污泥处理与利用[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 217-222.
- [8] 廖瑞章, 金荔枝, 申淑玲. 利用固氮菌为指标确定土壤重金属毒性研究[J]. 土壤肥料, 1989, 1: 45.

【责任编辑 周志红】