

亚临界水解法处理城市污泥及其栽培试验

罗琼^{1,2} 秦宝军², 戴良英¹, 张颖², 周义清², 徐晶², 孙建光^{2*},
周剑浩³, 江峰³, 张友恒³, 田永亮³

(1. 湖南农业大学, 湖南 长沙 410128; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部作物营养与施肥重点实验室, 北京 100081; 3. 上海环垦生态科技有限公司, 上海 200433)

摘要: 城市生活污水富含有机质, 是一类重要资源。长期以来, 由于缺乏高效处理加工技术手段, 大量城市污泥被焚烧、填埋, 既浪费了资源, 又污染环境。本文采集了北京市和天津市污水处理厂的代表性污泥样品, 并采用亚临界水解技术进行了处理。研究表明, 亚临界水解法较好地解决了城市污泥胶粘难以干燥和恶臭问题, 保存了污泥中的有机质, 同时消除了污泥中的病原, 降低了重金属汞含量, 是一项处理城市污泥的理想方法; 城市污泥水解产物有机物含量高达 80%, 重金属含量远低于国家限制性标准, 未检出有机污染物, 蛔虫卵死亡率 100%, 未检出粪大肠菌群, 是生产有机肥料、生物有机肥和农用微生物菌剂的理想原料; 栽培试验表明, 城市污泥热解产物配施半量化肥比单施全量化肥, 可以节省化肥, 提高小白菜品质, 提高土壤肥力。

关键词: 亚临界水; 热解; 生活污水; 土壤改良; 有机肥

中图分类号: S703

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257(2011)03-0062-06

城市生活污水源于城市居民生活污水, 有机物含量高达 70% 以上, 是一类重要的可再生资源。从根本上讲, 城市生活污水中的有机物来源于农业生产, 是作物光合产物, 这些有机物本应作为肥料回归农田以完成整个物质循环, 但由于城市污泥胶粘、恶臭难以加工, 含有病原等有害物质, 以及一些城市污泥因混入了工业污水导致芳香烃、重金属含量增加, 这些问题使得城市污泥的资源化利用很困难。多年来, 由于缺乏有效的加工处理手段, 城市污泥被填埋、焚烧, 造成大量的资源浪费和二次污染。同时, 我国农田有机质含量大大减少, 耕地质量逐年下降, 影响到我国农业的可持续发展, 迫切需要补充有机质。所以城市污泥的肥料化利用技术研究是一项非常迫切和有意义的工作。

“亚临界水解技术”是一项全新的高效处理有机废弃物技术^[1]。在一个标准大气压下, 水的沸点是 100℃。当压力和温度上升到一定值时, 水的液相和气态相界面消失, 变成均一的单相, 称为水的临界点。此时, 水的温度为 374.15℃, 压力为 22.83 Mpa。将水加热至沸点以上, 临界点以下,

并控制系统压力使水保持为液态, 这种状态的水称为亚临界水 (subcritical water)。亚临界水具有超溶解、超电离等特性, 能够在数分钟内完成对高分子有机物的分解。亚临界水解法处理城市污泥正是利用亚临界水的特性, 在数十分钟内对城市生活污水进行改性、除臭、脱毒、降污, 进一步加工成符合国家标准, 适合农业生产应用的商品有机肥料。

本文选取北京市、天津市污水处理厂的生活污泥, 进行了亚临界水解处理试验, 详细检测了样品处理前后的理化、生物学、重金属、有机污染物等指标, 对照国家相关标准进行了分析比较, 并且进行了作物栽培试验, 分析了作物品质性状和土壤肥力性状。这些工作将为城市生活污水的肥料化利用技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品

城市生活污水样品分别采自北京市高碑店污水处理厂和天津市污水处理厂, 主要养分含量为有机质 50%~60%、全氮 1%、全磷 (P_2O_5) 1%、全钾 (K_2O) 1%。

1.2 亚临界水解处理

城市生活污水的水解处理采用“HPS 有机固废资源化处理系统”, 在上海国环能源公司完成。处

收稿日期: 2010-08-05; 最后修订日期: 2010-11-02

基金项目: 国家 863 项目 (2006AA10Z417); 上海环垦生态科技有限公司联合实验室项目。

作者简介: 罗琼 (1986-), 女, 湖南人, 硕士研究生, 研究方向为固氮微生物资源与生物肥料。通讯作者为孙建光。

理过程: 将城市生活污水泥 900 kg、稻壳粉等有机物料 100 kg 加入 HPS 热解仓, 启动系统, 达到饱和蒸汽压 3.0 MPa、工作温度 230℃, 保持 30 min, 关机、冷却、出料, 完成水解处理。

1.3 污泥水解产物分析

分析测试项目包括理化指标、生物学指标、重金属含量、有机污染物等共计 32 项, 详见表 1。检测方法按照国家有关标准^[2-20]进行。

1.4 栽培试验

试验在中国农业科学院农业资源与农业区划研究所温室水泥池中进行, 水泥池为方形, 长 1 m, 宽 1.3 m, 面积 1.3 m²/个, 池深 80 cm; 栽培基质为砂壤土, 基础肥力为有机质 0.91%、碱解氮 19.4 mg/kg、全磷 (P₂O₅) 0.563 g/kg、有效磷 (P₂O₅) 40.6 mg/kg; 作物品种为北京小白菜。2009 年 4 月 15 日施肥、整地、灌水, 4 月 20 日播种, 6 月 10 日收获。实验设计为 3 组: 处理 1 为空白对照 (CK0), 不施肥; 处理 2 为化肥对照 (CK1), 施肥量相当于每公顷施尿素 120 kg, 磷酸氢二铵 120 kg, 硫酸钾 30 kg; 处理 3 为城市生活污水泥热解产物 (HPS), 施肥量相当于每公顷施尿素 60 kg, 磷酸氢二铵 60 kg, 硫酸钾 15 kg, 同时按照 15 000 kg/hm²的用量施入生活污水泥热解处理产物。全部物料作为基肥施入, 浇水、管理按常规方法进行。

1.5 作物栽培性状及土壤肥力性状分析

1.5.1 作物生长与品质性状分析

观察、记录各试验处理植株长势, 收获后测定植株鲜重。植株粗蛋白含量测定采用标准《水果、蔬菜产品粗蛋白的测定方法》^[21]。植株总维生素 C 含量测定采用标准《蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定方法——荧光法和 2, 4-二硝基苯肼法》^[22]。植株磷素含量测定采用钒钼黄比色法^[23]。

1.5.2 土壤理化性状测试

土壤容重测定采用环刀法, 参考文献^[24], 土壤 pH 测定参考文献^[25], 土壤有机质含量测定参考文献^[26], 土壤全氮、碱解氮、全磷、有效磷含量测定参考文献^[27]。

1.5.3 土壤微生物分析

土壤细菌、真菌、放线菌、固氮菌、纤维素分解菌分析均采用稀释平板法, 培养基分别为牛肉膏蛋白胨、马丁培养基、高氏一号培养基、阿须贝培养基、纤维细菌培养基^[27]。每个稀释度 3 个重复,

28℃ 培养 2~8 d, 观察记录结果。

1.5.4 土壤酶分析

土壤固氮酶活性测定采用乙炔还原法。取土样 200 g 置于 500 mL 输液瓶中, 加入 10% 葡萄糖溶液 20 mL, 反口胶塞密封, 用注射器抽出 10 mL 气体, 注入 10 mL C₂H₂, 28℃ 反应 72 h, 气相色谱测定乙炔生成量。固氮酶活性以单位重量烘干土在单位时间内还原乙炔生成乙烯的纳摩尔数来表示^[28]。土壤纤维素酶活性测定采用硝基水杨酸比色法。称 10 g 土壤置于 50 mL 三角瓶中, 加入 1% 羧甲基纤维素钠溶液 20 mL、pH 5.5 磷酸盐缓冲液 5 mL 及甲苯 1.5 mL, 37℃ 培养 72 h。培养结束后过滤样品, 定容至 50 mL, 取 2 mL 滤液于 25 mL 定量试管中, 加入 3, 5-二硝基水杨酸溶液 3 mL, 沸水浴 5 min, 快速冷却, 定容, 室温放置 15 min, 测定 530 nm 处吸光度。纤维素酶活性以 10 g 土壤、72 h 分解纤维素生成的葡萄糖毫克数表示。土壤木聚糖酶活性测定采用硝基水杨酸比色法。称 5 g 土壤于 50 mL 三角瓶中, 加入 0.5% 木聚糖溶液 20 mL、pH 5.5 磷酸盐缓冲液 5 mL 及甲苯 1 mL, 37℃ 培养 5 d, 培养结束后还原糖的测定方法同上。木聚糖酶活性以 5 g 土壤、72 h 分解木聚糖生成的木糖毫克数表示。

1.6 统计分析

采用 SPSS13.0 统计分析软件。

2 结果

2.1 污泥水解产物

北京市和天津市生活污水及其 HPS 处理产物的理化、生物学、重金属、有机污染物等 32 项指标的检测结果显示如表 1 所示。

2.2 污泥水解产物栽培试验

2.2.1 作物生长与品质性状

小白菜生长正常, 各试验处理植株鲜重测定结果如表 2 所示。统计分析表明, 污泥 HPS 热解产物栽培试验组 (HPS) 与化肥对照组 (CK1) 的植株鲜重无差异, 但两者均显著高于空白对照试验组 (CK0)。在作物品质方面, 各试验组植物蛋白质含量差异不显著, 但污泥 HPS 热解产物试验组 (HPS) V_C 含量显著高于化肥对照组 (CK1), 同时低于空白对照组 (CK0)。污泥 HPS 热解产物试验组 (HPS) 植株磷素含量显著高于其它 2 个试验组 (表 2)。

表1 城市生活污水水解处理前后的检测结果及其与国家相关标准的比较

序号	检测项目	北京生活污水		天津生活污水		国家相关标准要求				
		处理前 (120 号样)	处理后 (121 号样)	处理前 (131 号样)	处理后 (132 号样)	有机肥料 (NY525- 2002)	生物有机肥 (NY884- 2004)	农用污泥中污 染物控制标准 (GB 4282-84) 酸性土壤 中性、碱 (pH < 6.5) 性土壤 (pH ≥ 6.5)		城镇垃圾 农用控制 标准 (GB 8172- 1987)
理化指标										
1	水分 (%)	84.83	60.97	81.18	62.54	≤20	≤15			25~35
2	pH	6.36	4.16	7.10	4.58	5.5~8.0	5.5~8.5			6.5~8.5
3	有机质 (烘干基, %)	64.4	79.0	51.1	71.8	≥30	≥25			≥10
4	有机物总量 (烘干基, %)	70.9	87.3	61.3	81.7					
5	粗灰分 (烘干基, %)	29.13	12.67	38.33	18.28					
6	粗灰分 (基础样, %)	4.42	4.95	7.33	6.76					
7	全氮含量 (%)	0.88	0.69	0.81	0.48	总养分 ≥ 4.0				总氮 ≥ 0.5
8	碱解氮含量 (mg/kg)	1136	621	1023	5212					
9	全磷含量 (P ₂ O ₅ %)	0.923	0.705	1.042	0.753					总磷 ≥ 0.3
10	有效磷含量 (P ₂ O ₅ mg/kg)	2501	2852	4878	3634					
生物学指标										
11	细菌总数 (cfu/g)	2.13 × 10 ⁹	未检出	2.08 × 10 ⁹	未检出			有效菌 ≥ 0.20 亿		
12	真菌总数 (cfu/g)	1.56 × 10 ⁵	未检出	5.78 × 10 ⁴	未检出					
13	放线菌总数 (cfu/g)	4.56 × 10 ⁶	未检出	1.65 × 10 ⁶	未检出					
14	粪大肠菌群 (个/g)	240	未检出			10~100	≤100			10~100
15	蛔虫卵死亡率 (%)	60	100			95~100	≥95			95~100
重金属指标 (全量)										
16	镉 (Cd, mg/kg)	0.52	0.097	0.044	0.039	≤3	≤10	≤5	≤20	≤3
17	汞 (Hg, mg/kg)	7.75	0.88	2.65	0.42	≤5	≤5	≤5	≤15	≤5
18	砷 (As, mg/kg)	6.77	1.60	3.87	2.20	≤30	≤75	≤75	≤75	≤30
19	铅 (Pb, mg/kg)	30.4	20.4	27.0	29.1	≤100	≤100	≤300	≤1000	≤100
20	铬 (Cr, mg/kg)	42.0	22.4	12.5	9.85	≤300	≤150	≤600	≤1000	≤300
有机污染物指标										
21	多氯联苯 (PCB) (mg/kg)	<0.01	<0.01							
22	总氰化物 (mg/kg)	<0.5	<0.5							
23	丙烯腈 (mg/kg)	<0.05	<0.05							
其它元素 (全量)										
24	钾 (mg/kg)	1.16 × 10 ⁴	3.15 × 10 ³							
25	钠 (mg/kg)	3.22 × 10 ³	1.15 × 10 ³							
26	钙 (mg/kg)	2.04 × 10 ⁴	7.05 × 10 ⁴							
27	镁 (mg/kg)	1.12 × 10 ⁴	3.09 × 10 ³							
28	铁 (mg/kg)	1.10 × 10 ⁴	4.19 × 10 ³							
29	铜 (mg/kg)	262.0	76.0							
30	锌 (mg/kg)	976	300							
31	铝 (mg/kg)	1.60 × 10 ⁴	4.90 × 10 ³							
32	铍 (mg/kg)	<0.10	<0.10							

2.2.2 土壤理化及生物学性状

统计结果显示, 污泥热解产物栽培试验组 (HPS) 在土壤容重、pH、全氮、固氮酶和纤维素酶活性等方面与其它试验组差异不显著, 但在土壤

有机质、碱解氮、全磷、有效磷、土壤细菌、放线菌、固氮菌和纤维分解菌等方面显著高于其它实验处理 (表2)。

表2 城市污泥水解产物栽培试验的作物性状与土壤性状检测结果

试验处理	作物生物学性状					土壤微生物学性状				
	植株鲜重 (g)	单株鲜重 (g)	蛋白质 (%)	V _c (mg/100 g)	磷素 (%)	细菌 (10 ⁶ cfu/g)	真菌 (10 ³ cfu/g)	放线菌 (10 ⁵ cfu/g)	好气固氮菌 (10 ⁶ cfu/g)	纤维素分解菌 (10 ⁶ cfu/g)
1 空白对照 (CK0)	334.5a	16.7a	29.08a	69.15c	0.60a	6.5a	1.3b	5.7b	4.6b	1.06a
2 化肥对照 (CK1)	666.7b	33.3b	28.64a	41.27a	0.84b	13.7ab	0.9ab	3.6a	2.3a	0.83a
3 HPS 产物 (HPS)	654.6b	32.7b	28.60a	58.18b	1.05c	20.5b	0.3a	7.8c	10.5c	4.66b

试验处理	土壤理化性状					土壤酶学性状				
	容重 (g/cm ³)	pH	有机质 (%)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全磷 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	固氮酶 [nmol / (g·h)]	纤维素酶 (U)	木聚糖酶 (U)
1 空白对照 (CK0)	1.38a	7.95a	0.91a	0.14a	19.40a	0.56a	40.60a	5.58a	2.276a	15.731b
2 化肥对照 (CK1)	1.35a	8.05b	0.95a	0.23b	21.79a	0.60b	44.86b	6.69a	2.556a	10.985a
3 HPS 产物 (HPS)	1.35a	7.96a	1.19b	0.28b	30.47b	0.66c	78.85c	7.04a	1.717a	8.502a

注: 数据后面的不同字母表示差异显著 (p < 0.05), 数据是 3 次重复的平均值。

3 讨论

城市生活污水富含有机物, 是一类重要资源。长期以来, 由于缺乏有效的处理加工技术手段, 大量城市污泥被焚烧、填埋, 既造成了资源浪费, 又污染环境。从水解处理实验和检测结果来看, 城市生活污水处理前性状胶粘、恶臭, 含水量高达 80%, 经 HPS 技术水解处理后, 成为松散粉状, 无难闻气味, 含水量降为 60%; 处理前近中性, 有机质和有机物含量 60% ~ 70%, 处理后呈弱酸性, 有机物含量 80%, 含有少量的氮、磷元素。生物学方面, 污泥样品处理前含有大量的微生物, 约为 20 亿/g, 检出了粪大肠菌群, 蛔虫卵死亡率只有 60%; 经 HPS 技术处理后, 微生物被全部消除, 粪大肠菌群未检出, 蛔虫卵死亡率达到 100%, 均达到了国家相关标准。重金属一直是污泥农用的主要限制性因素, 特别是有些城市使用陈旧的污水处理系统,

生活污水与工业污水管线不分, 导致污泥中的重金属严重超标, 以至于长期以来人们形成了一种定式, 认为城市污泥必定重金属含量超标, 不能用于农业生产。在本实验中, 北京市生活污水处理前只有汞含量为 7.75 mg/kg, 超过了国家限制性标准 5 mg/kg 的技术指标, 其他重金属 Cd、Pb、As、Cr 含量均低于国家限制标准。在处理过程中, 由于重金属汞被蒸发回收, 所以样品处理后汞含量降为 0.88 mg/kg, 远低于国家限制性标准; 同时, 生活污水在处理时加入了 10% 的稻壳粉等有机物料, 这使样品组成发生了变化, 所以样品处理后的金属元素组成也有变化。此外, 样品处理前后有机污染物多氯联苯、总氰化物、丙烯腈等均在检出限之下。对照《有机肥料》^[2]、《生物有机肥》^[3]、《农用污泥中污染物控制标准》^[15]、《城镇垃圾农用控制标准》^[14]、《农用微生物菌剂》^[4] 等国家标准, 经 HPS 水解处理后的城市污泥有机物含量很高, 重金属含量

远低于国家限制性标准,未检出多氯联苯、总氰化物、丙烯腈等有害物质,蛔虫卵死亡率100%,未检出粪大肠菌群,且含有少量的氮、磷、钾植物营养元素,是生产有机肥料、生物有机肥和农用微生物菌剂的理想原料。

从栽培试验结果来看,污泥热水解产物试验组(相当于每公顷施:污泥热解产物15 000 kg,尿素60 kg、磷酸氢二铵60 kg、硫酸钾15 kg)与化肥对照组(相当于每公顷施:尿素120 g、磷酸氢二铵120 g、硫酸钾30 kg)相比,两者生物产量无统计学差异,说明在化肥减半,同时施用污泥水解产物的情况下,蔬菜没有减产;在作物品质方面,小白菜植株蛋白质含量两者无统计差异,但 V_c 含量和植株磷素含量污泥水解产物试验组显著高于化肥对照组,说明化肥减半、配施污泥水解产物提高了作物品质;在土壤理化性状方面,污泥水解产物试验组土壤有机质、土壤碱解氮、全磷和有效磷含量均显著高于化肥对照组,说明化肥减半,同时配施污泥热解产物提高了土壤化学肥力水平;在土壤微生物学方面,污泥水解产物试验组放线菌、固氮菌、纤维素分解菌数量均显著高于化肥对照试验组,说明化肥减半,同时配施污泥水解产物提高了土壤生物肥力水平。总的来看,城市污泥水解产物配施半量化肥比单施全量化肥,可以提高小白菜品质,提高土壤肥力,节省化肥用量。

4 结论

4.1 亚临界水解法较好地解决了城市污泥胶粘难以干燥和恶臭问题,保存了污泥中的有机质,同时消除了污泥中的病原,降低了重金属汞含量,是一项处理城市污泥的理想方法。

4.2 城市污泥水解产物有机物含量高达80%,重金属含量远低于国家限制性标准,未检出有机污染物,蛔虫卵死亡率100%,未检出粪大肠菌群,是生产有机肥料、生物有机肥和农用微生物菌剂的理想原料。

4.3 栽培试验表明,城市污泥热解产物配施半量化肥比单施全量化肥,可以节省化肥,提高小白菜品质,提高土壤肥力。

参考文献:

[1] 赵岩,王洪涛,陆文静,等. 秸秆超(亚)临界水预处理与水解技术[J]. 化学进展,2007,19(11):1832-1838.

- [2] 农业部种植业管理司. NY 525-2002 有机肥料[S]. 北京: 中国标准出版社,2002.
- [3] 中国农业部. NY884-2004 生物有机肥[S]. 北京: 中国标准出版社,2004.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. GB 20287-2006 农用微生物菌剂[S]. 北京: 中国标准出版社,2006.
- [5] 中国农业部. NY/T 798-2004 复合微生物肥料[S]. 北京: 中国标准出版社,2004.
- [6] 中国农业部. NY/T 302-1995 有机肥料水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社,1995.
- [7] 中国农业部. NY/T 304-1995 有机肥料有机物总量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社,1995.
- [8] 中国农业部. NY/T 297-1995 有机肥料全氮的测定[S]. 北京: 中国标准出版社,1995.
- [9] 中国农业部. NY/T 298-1995 有机肥料全磷的测定[S]. 北京: 中国标准出版社,1995.
- [10] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. GB/T 19524. 1-2004 肥料中粪大肠菌群的测定[S]. 北京: 中国标准出版社,2004.
- [11] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. GB/T 19524. 2-2004 肥料中蛔虫卵死亡率的测定[S]. 北京: 中国标准出版社,2004.
- [12] 中国建设部. CJ/T 221-2005 城市污水处理厂污泥检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社,2005.
- [13] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. GB18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S]. 北京: 中国标准出版社,2002.
- [14] 国家环境保护总局. GB 8172-1987 城镇垃圾农用控制标准[S]. 北京: 中国标准出版社,1987.
- [15] 中国农业部. GB 4282-84 农用污泥中污染物控制标准[S]. 北京: 中国标准出版社,1984.
- [16] 中国卫生部. GB 7959-87 粪便无害化卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社,1987.
- [17] 中国农业部. NY 1110-2006 水溶肥料汞、砷、镉、铅、铬的限量及其含量测定[S]. 北京: 中国标准出版社,2006.
- [18] 国家环境保护总局. GB 13015-91 含多氯联苯废物污染控制标准[S]. 北京: 中国标准出版社,1991.
- [19] 国家环境保护总局. GB 7486-87 水质 氰化物的测定[S]. 北京: 中国标准出版社,1987.
- [20] 国家环境保护总局. HJ/T 73-2001 水质 丙烯腈的测定 气相色谱法[S]. 北京: 中国标准出版社,2001.
- [21] 国家商业部. GB/T 8856-1988 水果、蔬菜产品粗蛋白的测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社,1988.
- [22] 中国卫生部. GB/T 12392-90 蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定方法(荧光法和2,4-二硝基苯肼法)[S]. 北京: 中国标准出版社,1990.
- [23] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社,1999.
- [24] 中国农业部. NY/T 1121. 4-2006 土壤检测第4部分: 土壤容重的测定[S]. 北京: 中国标准出版社,2006.

- [25] 中国农业部. NY/T 1121. 2-2006 土壤检测第2部分: 土壤 pH 的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006. [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.
- [26] 中国农业部. NY/T 1121. 6-2006 土壤检测第6部分: 土壤有机质的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006. [28] 孙建光, 徐晶, 胡海燕, 等. 中国十三省市土壤中非共生固氮微生物菌种资源研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (6): 1450-1465.
- [27] 中国农业微生物菌种保藏管理中心. 中国农业菌种目录

Municipal sludge treated by subcritical water pyrolysis and cultivation experiment

LUO Qing^{1,2}, QIN Bao-jun², DAI Liang-ying¹, ZHANG Ying², ZHOU Yi-qing², XU Jing², SUN Jian-guang^{2*}, ZHOU Jian-hao³, JIANG Feng³, ZHANG You-heng³, TIAN Yong-liang³ (1. Hunan Agricultural University, Changsha 410128; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization of Ministry of Agriculture, Beijing 100081; 3. Shanghai Huanken Ecological Technology Co., Ltd., Shanghai 200433)

Abstract: Municipal sludge rich in organic matter, is a kind of important resources. For a long time, due to the lack of efficient processing methods, large quantity of municipal sludges were treated by incineration and landfill. The resources were wasted and the environments were polluted. In this work, municipal sludge samples were collected from Beijing and Tianjin treatment plants. And the samples were treated with sub-critical water pyrolysis technology. Test results showed that the treated municipal sludge was powder, no odor, organic matter content up to 80%, heavy metals well below the national restrictive standards, toxic and harmful substances were not detected. The treated municipal sludge is ideal raw material for the production of organic fertilizer, bio-organic fertilizer and agricultural microbial agents. Further cultivation experiment showed that treated municipal sludge with half dose of chemical fertilizer could save chemical fertilizer, improve the quality of chinese cabbage, and improve soil fertility than single application of chemical fertilizer.

Key words: subcritical water; pyrolysis; municipal sludge; soil improvement; organic fertilizer

[上接第 53 页]

Study on response of rapeseed to P application and abundance and deficiency indices of soil available P in Hunan Province

LU Yan-hong^{1,2,3}, LIAO Yu-lin^{1,2,3}, HUANG Feng-qiu¹, HUANG Tie-ping⁴, LU Jian-wei⁵, TANG Hai-tao¹ (1. Hunan Soil and Fertilizer Institute, Changsha Hunan 410125; 2. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan 410128; 3. Key Field Monitoring Experimental Station for Reddish Paddy Soil Eco-environment in Wangcheng, Ministry of Agriculture of China, Changsha Hunan 410125; 4. Soil and Fertilizer Station of Hunan Province, Changsha Hunan 410005; 5. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Hubei Wuhan 430070)

Abstract: 51 field trails of phosphate fertilizer (P) application on rapeseed were conducted in main rapeseed production regions of Hunan province during 2005 to 2008. The objective of this research was to investigate the effect of P on rapeseed yield and profit, and determine abundance and deficiency indices of soil available P. The results showed that P fertilizer application significantly increased rapeseed yield and profit compared with no P application. The range of yield increment was from 51 kg/hm² to 1 265 kg/hm², and the average value was 429 kg/hm². The average increasing rate of rapeseed yield was over 45.9%, and rapeseed yield was increased by 5.40 kg per 1 kg P₂O₅ application. The benefit increased by 122.75 yuan/hm² with P fertilizer application. Average value of value cost ratio (VCR) was 4.14, and the VCR of 71% of all trails were higher than 2.0. Soil available P content significantly affected response in yield and profit with P application, and there was significantly negative correlation between yield increment, VCR by P fertilizer application and soil available P. The very low, low, medium, high, very high indices for soil available P were <6.0 mg/kg, 6.0~11.5 mg/kg, 11.5~22.1 mg/kg, 22.1~27.5 mg/kg and >27.5 mg/kg, respectively.

Key words: Hunan; rapeseed; response to P application; soil available P; abundance and deficiency indices