

# 长江三角洲地区污水污泥与健康安全风险研究

## I. 粪大肠菌群数及其潜在环境风险

孙玉焕<sup>1,2</sup> 骆永明<sup>1,2†</sup> 吴龙华<sup>1</sup> 滕应<sup>1</sup> 宋静<sup>1</sup> 钱薇<sup>1</sup> 李振高<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所土壤与环境生物修复研究中心, 土壤与环境联合开放研究实验室, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要** 粪大肠菌群(*Fecal Coliform*, FC)是判定污泥土地安全利用的重要指标之一。通过实地调查取样,收集了长江三角洲地区的南京、苏州、上海、杭州等 15 个城市的污水处理厂的 48 份污泥样品,测定了其粪大肠菌群数,旨在了解污泥中 FC 的数量与潜在污染风险;并在污泥自然风干过程的第 7、14、21、28 天分别取样测定了 FC 的数量和水分含量,以观察风干过程中 FC 和水分的动态变化及其与风干时间的关系。研究结果表明,污泥中 FC 的最大可能数(MPN)的范围在  $0 \sim 3.41 \times 10^6$  (MPN  $g^{-1}$ , DW), 平均为  $3.79 \times 10^5$  (MPN  $g^{-1}$ , DW), 检出率达 89.6%。不同类型污泥中 FC 的数量差别较大,“河流”污水处理厂污泥和污泥制品的 FC 数量最低,以生活污水为主的污泥和混流污水污泥中 FC 数量较高。污泥风干过程中 FC 数量和水分含量均随风干时间的延长而减少,但 FC 数量有回升现象。总之,污泥样品的 FC 数量差异较大,部分污泥样品的数量超过了污泥农用的病原物标准,为了保护生态环境和人类健康,防止二次污染,污泥土地利用时需考虑 FC 数量,采取相应控制措施。

**关键词** 污泥; 粪大肠菌群; 环境风险; 长江三角洲; 风干效应

中图分类号 X820.4 文献标识码 A

美国环境保护署(USEPA)把病原物定义为能够对人类或其他生物健康产生危害或引起疾病的一类有害生物的总称<sup>[1]</sup>。污泥中含有大量的细菌、病毒和寄生虫等病原物,因此,有关污泥中病原物的研究应受到广泛重视<sup>[2~4]</sup>。总大肠菌群是指那些能在 37 °C 下 48 h 之内发酵乳糖产酸产气、需氧及兼性厌氧的革兰氏阴性的无芽孢杆菌<sup>[5]</sup>。粪大肠菌群(*Fecal Coliform*, FC)是总大肠菌群的一部分,主要来自粪便,在 44.5 °C 下能生长并发酵乳糖产酸产气<sup>[5]</sup>。USEPA<sup>[1]</sup>和欧盟(EU)<sup>[6]</sup>都以 FC 数量为标准来判断污泥是否适于土地利用。有关城市污水污泥中的 FC 数量在我国至今还未见此报道,在国外也只有少量报道<sup>[7]</sup>。

目前有关污泥中病原物的研究主要集中于削减措施<sup>[8,9]</sup>,有关区域范围的污水处理厂污泥中病原物数量的研究很少<sup>[1]</sup>。污泥类型是影响其病原物数

量的一个主要因素。Garrec 等<sup>[10]</sup>的研究结果表明,活性污泥中病原物数量最高。水分是限制微生物生长的一个主要因素。Watanabe 等<sup>[8]</sup>研究发现,FC 和沙门氏菌的活性随风干时间的延长明显降低。污泥的土地利用被国内外学者<sup>[11,12](2)</sup>认为是最有发展前途的污泥处置方式,因此对污水污泥中的 FC 数量进行研究,有利于科学评价其对人类健康与生态环境的影响和指导污泥的合理利用。

长江三角洲地区是中国经济最发达的地区之一,城市污水处理率也走在全国前列<sup>[13]</sup>。但有关该地区的污水处理厂污泥中 FC 的系统研究还属空白。本研究选择长江三角洲地区为主要研究区,较系统地收集了南京、苏州、上海、杭州等 15 个城市的污水污泥和部分企业污泥,旨在通过调查和分析,了解该地区不同城市、不同污水来源和不同处理方式的污泥中 FC 数量及其潜在风险。

\* 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB4108010)中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-429)资助

† 通讯作者, E-mail: ymho@issas.ac.cn

作者简介: 孙玉焕(1976~),女,博士研究生,主要从事污泥土地处置的风险评价及其资源化研究。E-mail: yhsun@issas.ac.cn

收稿日期: 2004-06-07; 收到修改稿日期: 2004-12-21

# 1 材料与方法

## 1.1 样品来源及贮存

收集南京、苏州、上海、杭州、宁波等 15 个城市 45 个污水处理厂的污泥样 48 个。根据污水的来源

和组成将污泥分为生活污水为主污泥(生活污水> 70%), 工业污水为主污泥(工业污水> 70%)和混流污水污泥(生活污水< 70%或工业污水< 70%)。样品来源及类型见表 1。所有污泥样品采集后立即放入 4 °C 冰箱内保存。

表 1 供试污水污泥样品来源及其类型  
Table 1 Origins and types of the tested sewage sludges

样品号 Sample No	样品来源 Origin	污泥类型 Type	样品号 Sample No	样品来源 Origin	污泥类型 Type
1	杭州脱水污泥 1	混流污水污泥	25	上海贮泥池污泥 1	生活污水为主污泥
2	杭州脱水污泥 2	生活污水为主污泥	26	上海贮泥池污泥 2	生活污水为主污泥
3	杭州脱水污泥 3	生活污水为主污泥	27	上海贮泥池污泥 3	生活污水为主污泥
4	杭州脱水污泥 4	生活污水为主污泥	28	南京贮泥池污泥	生活污水为主污泥
5	宁波脱水污泥 1	生活污水为主污泥	29	苏州脱水污泥 1	混流污水污泥
6	宁波脱水污泥 2	混流污水污泥	30	苏州脱水污泥 2	混流污水污泥
7	宁波脱水污泥 3	生活污水为主污泥	31	苏州脱水污泥 3	生活污水为主污泥
8	宁波贮泥池污泥	工业污水为主污泥	32	苏州贮泥池污泥	生活污水为主污泥
9	绍兴脱水污泥	工业污水为主污泥	33	苏州脱水污泥 4	生活污水为主污泥
10	嘉兴脱水污泥	工业污水为主污泥	34	无锡脱水污泥 1	生活污水为主污泥
11	金华脱水污泥 1	混流污水污泥	35	无锡脱水污泥 2	生活污水为主污泥
12	金华脱水污泥 2	生活污水为主污泥	36	常州脱水污泥 1	生活污水为主污泥
13	湖州脱水污泥 1	混流污水污泥	37	常州脱水污泥 2	生活污水为主污泥
14	湖州脱水污泥 2	混流污水污泥	38	常州脱水污泥 3	生活污水为主污泥
15	台州脱水污泥 1	生活污水为主污泥	39	扬州脱水污泥	生活污水为主污泥
16	台州脱水污泥 2	工业污水为主污泥	40	泰州脱水污泥	工业污水为主污泥
17	上海脱水污泥 1	生活污水为主污泥	41	南通脱水污泥	混流污水污泥
18	上海脱水污泥 2	生活污水为主污泥	42	上海河流污水处理厂污泥	河流污水厂污泥
19	上海脱水污泥 3	生活污水为主污泥	43	宁波贮泥池污泥焚烧样	
20	上海脱水污泥 4	生活污水为主污泥	44	上海脱水污泥 1 处理样	
21	上海脱水污泥 5	生活污水为主污泥	45	上海脱水污泥 3 处理样	
22	上海脱水污泥 6	工业污水为主污泥	46	南京企业污泥 1	
23	上海脱水污泥 7	生活污水为主污泥	47	南京企业污泥 2	
24	上海脱水污泥 8	混流污水污泥	48	嘉兴企业污泥 3	

## 1.2 FC 测定(多管发酵法)<sup>[14]</sup>

### 1.2.1 培养基 实验所用乳糖蛋白胨和 EC 肉汤

(*E. Coli* Broth) 液体培养基均购自江苏省疾病预防控制中心与控制中心培养基厂。

(1) 孙玉焕, 骆永明. 污泥中病原物的环境与健康风险及其削减途径. 土壤(已接受)

(2) 乔显亮. 污泥的化学组成、土壤利用风险和复合污染土壤修复研究. 中国科学院研究生院南京土壤研究所博士论文, 2003

**1.2.2 初发酵试验** 称取充分混匀的新鲜污泥样品 10.0 g 于装有 100 ml 无菌水的三角瓶中, 180  $r \text{ min}^{-1}$  条件下振荡 10 min, 再静置 8~10 min, 然后吸取 5 ml 清液做成一系列 10 倍稀释液。根据污水处理厂情况选择三个稀释度, 分别将稀释液接种于装有 10 ml 乳糖蛋白胨培养液内有倒管的试管中(同一种接种量有 5 只管)。将已接种的试管置于  $37 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  恒温箱, 培养  $24 \pm 2 \text{ h}$ 。产酸产气的发酵管表明试验呈阳性。如果倒管内产气不明显, 可轻拍试管, 有小气泡升起者为阳性, 可能有粪大肠菌群的存在。

**1.2.3 复发酵试验** 轻微振荡初发酵试验呈阳性结果的发酵管, 用 3 mm 接种环将培养物转接到 EC 培养液中。在  $44 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  恒温条件下培养 24 h, 培养后立即观察。发酵管产气再次证明试验呈阳性, 证实有粪大肠菌群存在。

**1.2.4 结果计算** 根据证实有粪大肠菌群存在的阳性管数, 从最大可能数(MPN) 检数表中查得相应的 MPN 指数。每克样品中 FC 数量( $\text{MPN g}^{-1}, \text{DW}$ ) = MPN 指数  $\times$  最低稀释度的稀释倍数 / 干基含量(%)

**1.3 污泥风干过程中 FC 和水分的动态变化**

选取样品原则: 首先测定 FC 的数量, 然后选取数量较高, 并且在污水组成、污泥处理及地域上有代表性的污水处理厂的污泥样品。根据这个原则, 本实验共选取污泥样品 6 个, 即生活污水为主污泥 2 个(宁波脱水污泥 1 和宁波脱水污泥 3), 生活和工业污水混流污泥 2 个(杭州脱水污泥 1 和上海脱水污泥 8) 及未脱水污泥样品 2 个(上海贮泥池污泥 1 和上海贮泥池污泥 3)。将样品放在白色塑料盒内, 铺成约 5 cm 厚, 玻璃温室内遮阳风干。从晾晒样品开始计时, 每隔 7 d 取一次样品, 连续 4 次取样, 供 FC 和水分的测定。

**2 结 果**

**2.1 污泥样品中 FC 的数量、城市间差异及其频度分布**

从图 1 可以看出, 所收集污泥样品 FC 的数量相差很大, 其中最低数量为 0( $\text{MPN g}^{-1}, \text{DW}$ ), 最高达  $3.41 \times 10^6$ ( $\text{MPN g}^{-1}, \text{DW}$ ), 平均为  $3.79 \times 10^5$ ( $\text{MPN g}^{-1}, \text{DW}$ ),

这主要与污水来源和污泥处理方式等有关。

不同地区污水处理厂的污泥中 FC 的数量也不相同。根据污水处理厂的地域分布, 将所收集到的城市污泥样品划分为三大区域污泥: 浙江污泥、江苏污泥和上海污泥。由表 2 可以看出, 各区域间的污泥中 FC 的数量差异较大, 其中浙江污泥中 FC 平均数量最低( $6.83 \times 10^4$ ( $\text{MPN g}^{-1}, \text{DW}$ )), 上海污泥数量最高( $9.95 \times 10^5$ ( $\text{MPN g}^{-1}, \text{DW}$ ))。在同一区域内的污泥中 FC 的数量变化也很大, 如江苏污泥 FC 最低数量是 0( $\text{MPN g}^{-1}, \text{DW}$ ), 最高数量是  $3.16 \times 10^6$ ( $\text{MPN g}^{-1}, \text{DW}$ )。

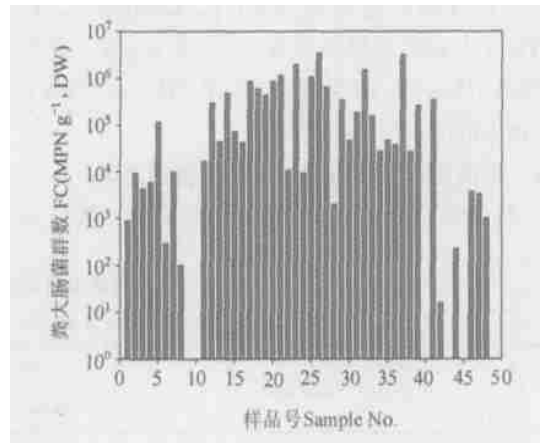


图 1 供试污泥样品中 FC 数量

Fig. 1 FC counts in the tested sewage sludges

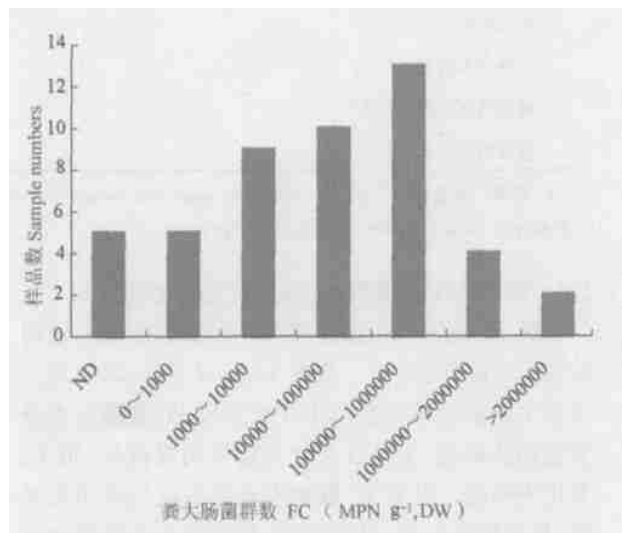


图 2 FC 在污泥样品中的数量频度分布

Fig. 2 Frequency distribution of FC counts in the sewage sludges

表2 不同地区城市污水处理厂污泥中FC数量

Table 2 FC counts in sludges from different municipal wastewater treatment plants in the Yangtze River Delta ( $\times 10^3$  MPN  $g^{-1}$ , DW)

地区 Region	样本数 Number of samples	最低 Minimum	最高 Maximum	平均 Average
浙江 Zhejiang	16	0.00	480	68
江苏 Jiangsu	14	0.00	3160	44
上海 Shanghai	11	9.27	3410	995

如图2所示,在所收集的48个污泥样品及其制品中,有43个样品检测到FC的存在,检出率为89.6%。FC数量小于 $1 \times 10^3$ (MPN  $g^{-1}$ , DW)的样品10个,占样品总量的20.8%;FC数量高于 $2 \times 10^6$ (MPN  $g^{-1}$ , DW)的样品只有3个,占4.2%。绝大多数样品(75%)的FC数量介于 $10^3$ (MPN  $g^{-1}$ , DW)和 $2 \times 10^6$ (MPN  $g^{-1}$ , DW)之间。

## 2.2 不同类型污泥样品中FC的数量差异

从表3可以看出,污泥类型不同,FC数量也不

同。其中河流污水处理厂污泥和污泥制品数量最低,以生活污水为主和由混流污水组成的城市污水处理厂污泥中FC数量最高,两个消化污泥(样品1和样品41)中FC数量差异较大。以工业污水为主的城市污水处理厂污泥间FC数量差异很大,企业污泥间的FC数量虽然也不相同,但没有达到数量级上的差异。

表3 不同类型污泥样品中FC的数量范围和平均值

Table 3 FC distribution in different types of the sewage sludges ( $\times 10^3$  MPN  $g^{-1}$ , DW)

污泥类型 Sludge type	样本数 Number of samples	最低 Minimum	最高 Maximum	平均 Average
生活污水为主污泥 <sup>①</sup>	26	2.02	3410	647
混流污水污泥 <sup>②</sup>	9	0.29	479	143
工业污水为主污泥 <sup>③</sup>	6	0.00	41.7	8.75
消化污泥 <sup>④</sup>	2	0.88	349	175
企业污水污泥 <sup>⑤</sup>	3	1.03	3.85	2.75
河流污水处理厂污泥 <sup>⑥</sup>	1	—	—	0.016
污泥制品 <sup>⑦</sup>	4	0.00	0.23	0.056

1) 啤酒厂和造纸厂污泥 Brew house and paper mill sludge; ① Domestic sludge; ② Mixed flow sludge; ③ Industrial sludge; ④ Digested sludge; ⑤ Enterprise sludge; ⑥ River sludge; ⑦ Sludge product

## 2.3 污泥风干过程中FC和水分的动态变化

风干过程中FC数量和水分含量均随风干时间的延长而降低(图3)。从图3A可以看出,以生活污水为主的脱水污泥在风干开始阶段FC数量与水分含量同步降低,2周后水分含量虽明显降低,但FC变化不明显。对于FC数量不高的混流污水污泥来说,风干过程中FC虽有降低,但并没有达到数量级上的变化(图3B)。未脱水污泥(图3C)FC数量较高,且在风干开始阶段就有再发、回升现象,在整个风干过程中FC数量有所降低,但水分含量仍然很高。

FC降低率是指在污泥风干过程中,污泥中FC数量的减少量与污泥开始风干时FC数量比值的百分数。从表4可以看出,在风干过程的各个阶段不同污泥样品FC降低率不同,达到最大降低率的时间也不相同。大部分样品FC的最大降低率出现在28d,宁波脱水污泥1在风干21d时FC的降低率最大。各种污泥类型FC数量明显降低时的水分含量不同,以生活污水为主的脱水污泥水分含量降低10%左右时,FC数量明显降低;混流污水污泥在水分降低5%左右时,FC就有明显降低;贮泥池污泥FC的降低率与水分含量的关系不明显。

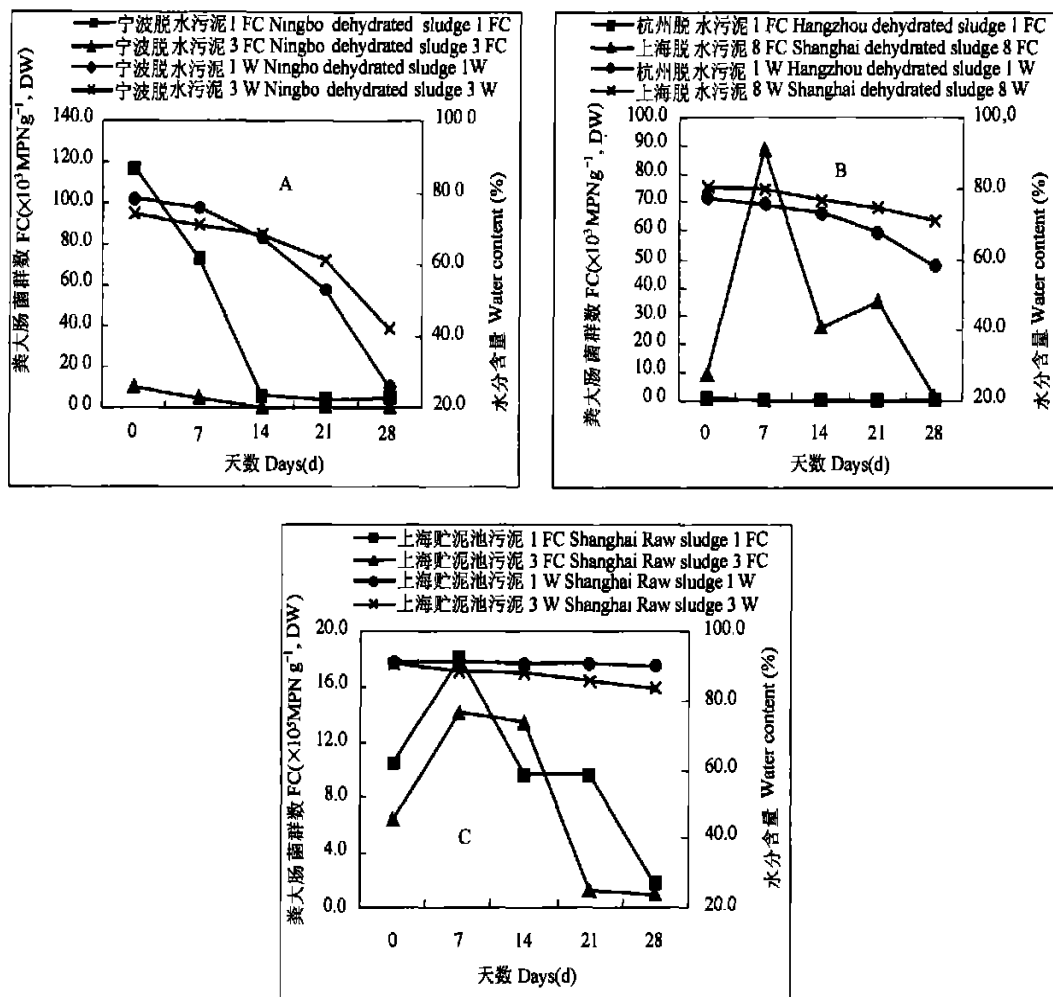


图 3 污泥风干过程中 FC 数量和水分含量的动态变化

Fig. 3 Dynamics of FC counts and water contents in the sludges following air dry

表 4 风干过程中污泥样品水分含量和 FC 降低率的动态变化

Table 4 Dynamics of water content and FC reduction rate in the sludges following air dry (%)

样品 Sample	风干时间 Time				
	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d
宁波脱水污泥 1 <sup>①</sup>	78.3 <sup>1)</sup> (0.0) <sup>2)</sup>	75.4(36.9)	67.4(95.5)	52.92(96.7)	25.5(96.0)
宁波脱水污泥 3 <sup>②</sup>	74.1(0.0)	71.1(50.0)	68.2(97.4)	61.12(95.5)	42.0(99.2)
杭州脱水污泥 1 <sup>③</sup>	77.3(0.0)	75.8(76.5)	72.8(89.6)	67.8(66.6)	58.1(93.2)
上海脱水污泥 8 <sup>④</sup>	80.6(0.0)	79.7(-85.4)	76.8(-178)	74.6(-282)	70.6(83.5)
上海贮泥池污泥 1 <sup>⑤</sup>	91.5(0.0)	91.1(-71.6)	90.7(8.6)	90.8(7.7)	90.2(82.6)
上海贮泥池污泥 3 <sup>⑥</sup>	90.7(0.0)	88.7(-120)	88.2(-110)	85.7(80.4)	83.95(84.5)

1) 水分含量 Water content; 2) 括号内为 FC 降低率 FC reduction rate in brackets; ① Ningbo dehydrated sludge 1; ② Ningbo dehydrated sludge 3; ③ Hangzhou dehydrated sludge 1; ④ Shanghai dehydrated sludge 8; ⑤ Shanghai raw sludge 1; ⑥ Shanghai raw sludge 3

### 3 讨论

随着经济的快速发展、人们环境意识的日益增强和城市污水处理率的不断提高,污泥的安全处置问题愈加突出。对污泥进行合理处置,首先需要全面了解污泥的基本性状和组成。近年来,广大学者一直将污泥土地利用后重金属、杀虫剂、多氯联苯(PCBs)和其他化学污染物对生态环境和人类健康的危害作为研究重点,而关于病原物的研究却不多<sup>[3, 15, 16]</sup>。污泥中病原物的种类和数量繁多,当这些含有病原物的污泥施入土壤后,会对生态环境安全和人类健康构成威胁<sup>[3]</sup>。本文中的污泥类型是根据污水处理厂最初设计情况划分的。这些污泥中病原物数量变异很大。两个消化污泥(样品1和样品41)的FC数量差别较大,可能与消化温度及相关过程的持续时间有关<sup>[8, 17]</sup>。部分混流污水污泥和企业污水为主污泥的FC数量很高,这可能与长江三角洲地区城市污水收集网络的设计有关。该地区的城市污水管网绝大多数没有把企业污水和生活污水分开,使得生活污水与企业污水混流,部分污泥中病原物的数量偏高、甚至超标,增加了污泥处置的难度和土地利用的潜在环境风险。了解污水来源、污水处理工艺及污泥处理方式等有利于对污泥中病原物数量做出预测与评估,寻找合适的污泥处置方式。

国际上,对污泥土地利用的病原物数量控制有所规定。1994年USEPA在污泥土地利用标准中规定,污泥中FC数量小于1 000(MPN g<sup>-1</sup>, DW)时,属于A类污泥,土地利用不受限制;当FC数量高于2 × 10<sup>6</sup>(MPN g<sup>-1</sup>, DW)时,污泥不能土地利用;FC数量介于1 × 10<sup>3</sup>~ 2 × 10<sup>6</sup>(MPN g<sup>-1</sup>, DW)之间时,属于B类污泥<sup>[1]</sup>。根据USEPA的这种污泥土地利用标准,本研究所收集的48个污泥样品中,有10个样品在土地利用时不受FC数量的限制,3个样品不能进行土地利用,大部分污泥样品符合土地利用的B类标准。但从控制范围来看,USEPA制定的污泥土地利用标准还存在许多不足之处。我们认为,美国的污泥土地利用B类标准范围过宽,制定该标准的必要性不能充分体现。事实上,美国国家研究委员会(USNRC, United State National Research Council)经过6年的调查研究后,也建议USEPA重新考虑污泥土地利用的病原物标准<sup>[18]</sup>。当土地利用这些B类污泥时,应当考虑多因素的综合影响,例如选择合适的施用场所、土地类型、作物种类及规定最短的允许进

入时间等,尽量避免污泥中病原物在土地利用过程中对周围环境的二次污染。USEPA<sup>[1]</sup>和EC<sup>[5]</sup>认为企业污泥中病原物数量很低,在土地利用时不必考虑。但在本调查中,三个企业污泥FC数量均大于1 000(MPN g<sup>-1</sup>, DW),不符合USEPA污泥土地利用的A类标准<sup>[1]</sup>,这可能与不同国家企业的污水来源、组成及其处理工艺不同所致,因而对于企业污泥中病原物数量的测评需要考虑国家及地区的差异。本文所用企业污泥数量有限,尚难以对长江三角洲地区的企业污泥中病原物数量作出全面的评价,需要进一步扩大调查研究。在USEPA<sup>[1]</sup>制定的污泥土地利用的病原物标准中,沙门氏菌和活性蛔虫卵数量也是判定污泥土地利用的重要指标。但与FC的测定方法相比,检测沙门氏菌和活性蛔虫卵的方法繁琐或周期较长,普适性较差。可见,关于污泥土地利用的病原物标准还不完善,需要尽快制定适合中国国情的有关标准。

污泥中FC数量除与污水的来源及处理过程等有关外,环境条件的变化也是影响FC数量的一个重要因素<sup>[10]</sup>。本研究结果表明,FC数量和水份含量均随风干时间的延长而降低,但存在FC的再发、回升现象。虽然污泥风干过程中存在明显的再发现象,但当污泥风干28 d时,所有供试样品的FC数量均明显降低。这指明风干时间也是减少污泥FC数量的一个重要因素。由于污泥中病原物的巨量性及污水来源的复杂性,如果不了解污泥产生过程和缺少必要的风干处理,就进行土地利用,将会产生二次生物学污染的可能性。相反,在对污泥进行土地处理之前,了解污水处理厂的基本运行过程,掌握合适的风干时间,不仅可以降低水份含量,有助于污泥减量和运输,而且还可以降低污泥中FC数量,减少其土地利用的环境风险。对于本试验中观察到的贮泥池污泥的水份含量没有明显降低但FC数量却大幅降低的现象,有待于进一步探讨。还需要探讨和明确的是在不同类型土壤中各种污泥病原物如FC的变化、行为、归趋和风险。

### 参考文献

- [1] United States Environmental Protection Agency. Land Application of Sewage Sludge— A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge (40 CFR Part 503 EPA/83-FB-93-002b). Washington, DC: Office of Enforcement and Compliance Assurance, 1994
- [2] Deportes I, Benoit Guyod J L, Zmirou D. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost - A review. Sci

- ence of the Total Environment, 1995, 172(2/3): 197~ 222
- [ 3 ] Lewis D L, Gattie D K. Pathogen risks from applying sewage sludge to land. *Environmental Science and Technology*, 2002, 36(13): 287A~ 293A
- [ 4 ] Sahlström L. A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants. *Bioresource Technology*, 2003, 87(2): 161~ 166
- [ 5 ] 马放, 任南琪, 杨基先. 污染控制微生物学实验. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002. Ma F, Ren N Q, Yang J X. Pollution Control Microbiology Experiment (In Chinese). Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2002
- [ 6 ] European Commission. Evaluation of Sludge Treatments for Pathogen Reduction. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001
- [ 7 ] Gaspard P, Ambolet Y, Schwartzbrod J. Urban sludge reused for agricultural purposes: Soils contamination and model development for the parasitological risk assessment. *Bulletin De L Academie Nationale De Medecine*, 1997, 181(1): 43~ 57
- [ 8 ] Watanabe H, Kitamura T, Ochi S, *et al.* Inactivation of pathogenic bacteria under mesophilic and thermophilic conditions. *Water Science and Technology*, 1997, 36(6/7): 25~ 32
- [ 9 ] Gantzer C, Gaspard P, Galvez L, *et al.* Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. *Water Research*, 2001, 23(16): 3 763~ 3 770
- [ 10 ] Garec N, Picart Bonnaud F, Pourcher A M. Occurrence of *Listeria* sp. and *L. monocytogenes* in sewage sludge used for land application: Effect of dewatering, liming and storage in tank on survival of *Listeria* species. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 2003, 35(3): 275~ 283
- [ 11 ] United States Environmental Protection Agency. Biosolids Generation, Use and Disposal in the United States (EPA 530 R-99 009). Washington, DC: Office of Solid Waste and Emergency Response, 1999
- [ 12 ] 周少奇. 城市污泥处理处置与资源化. 广州: 华南理工大学出版社, 2002. 1~ 10. Zhou S Q. Urban Sludge Treatment, Disposal and Recycle (In Chinese). Guangzhou: South China University of Technology Press, 2002. 1~ 10
- [ 13 ] 《中国环境年鉴》编辑委员会. 中国环境年鉴. 北京: 中国环境年鉴社, 2002. Committee on China Environment Yearbook. ed. China Environment Yearbook (In Chinese). Beijing: China Environment Yearbook Press, 2002
- [ 14 ] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法(第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. Editorial Board of Monitor and Analytical Method of Water and Waste Water. ed. Monitor and Analytical Method of Water and Waste Water (4th Ed) (In Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 2002
- [ 15 ] Luo Y M. Cu and Zn speciation in an acid soil amended with alkaline biosolids. *Pedosphere*, 2002, 12(2): 165~ 170
- [ 16 ] 蔡全英, 莫测辉, 吴启堂, 等. 水稻土施用城市污泥盆栽作物后土壤中多环芳烃(PAHs)的残留. *土壤学报*, 2002, 39(6): 887~ 891. Cai Q Y, Mo C H, Wu Q T, *et al.* Effect of municipal sludges and chemical fertilizers on the content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in paddy soil grown ipomoea aquatica fossk (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(6): 887~ 891
- [ 17 ] Horan N J, Fletcher L, Batmal S M, *et al.* Die off of enteric bacterial pathogens during mesophilic anaerobic digestion. *Water Research*, 2004, 38(5): 1 113~ 1 120
- [ 18 ] Committee on Toxicants and Pathogens in Biosolids Applied to Land, Board on Environmental Studies and Toxicology, Division on Earth and Life Studies, United States National Research Council. Biosolids Applied to Land: Advancing Standards and Practice. Washington, DC: National Academy Press, 2002

## SEWAGE SLUDGES AND RISKS TO HEALTH AND SAFETY IN YANGTZE RIVER DELTA

### I . *FECAL COLIFORM* AND ITS POTENTIAL ENVIRONMENTAL RISKS

Sun Yuhuan<sup>1,2</sup> Luo Yongming<sup>1,2†</sup> Wu Longhua<sup>1</sup> Teng Ying<sup>1</sup> Song Jing<sup>1</sup> Qian Wei<sup>1</sup> Li Zhengao<sup>1</sup>

(1 *Soil and Environmental Bioremediation Center of Institute of Soil Science, CAS, Soil and Environment Joint Open*

*Laboratory, Key State Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Nanjing 210008, China*)

(2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract** *Fecal Coliform* (FC) is an indicator pathogen for evaluating safety of land application of sewage sludge. In the present study, forty-eight sewage sludge samples were collected from 15 cities in the Yangtze River Delta region. Both FC and water content were determined in the fresh samples and in some selected samples when being air-dried for 7, 14, 21 and 28 days, respectively, in order to investigate counts of FC in the sludges, their pollution risks and dynamics following air-drying. The results show that the counts of FC in the sludges ranged from 0 to  $3.41 \times 10^6$  (MPN  $g^{-1}$ , DW), with an average of  $3.79 \times 10^5$  (MPN  $g^{-1}$ , DW). FC was found in 89.6% of the samples. River sludges and products thereof were much lower in FC count than the domestic and domestic-industrial mixed sewage sludges. The counts of FC dropped markedly at first with the time of air-drying but rebounded after 3~4 weeks. It can be concluded that majority of the sewage sludges from wastewater treatment plants in the Yangtze River Delta region had pathogenic bacteria, but their counts varied with the wastewater sources, treatments and sludge disposals. FC in some sewage sludges exceeded a guidance level of  $2 \times 10^6$  (MPN  $g^{-1}$ , DW), indicating potential risk to eco-environmental safety and public health upon land application without appropriate pasteurization.

**Key words** Sewage sludge; *Fecal Coliform* (FC); Environmental risks; Yangtze River Delta; Air-drying effect