城市垃圾粪便无害化处理及其综合利用的研究

俞锡弟 执笔*
(北京市环境卫生科学研究所)

一、课题的提出

随着生产的发展,人口的增多,以及城市人口高度集中,城市垃圾粪便的数量不断增加. 以北京市为例,1983 年年产垃圾 160×10^4 t,粪便 100×10^4 t. 这些未经处理的垃圾、粪便日益严重地污染环境,给城市居民的健康和生活以极大的影响.

世界上发达国家的粪便处理,是直接经下水道流入污水处理厂同城市污水一起处理. 对于垃圾处理,由于其垃圾中含可燃物多,主要处理方法为焚烧和填埋. 例如: 欧洲经济共同体德、法、英、荷、比五国,1981 年填埋处理垃圾占总量的 60—70%,焚烧约合 30%,堆肥不到 5%.

国内各城市历来都把大量垃圾作为有机肥料运往农村. 由于垃圾中含有大量砖瓦碎块、玻璃、炉灰、陶瓷等材料,所以长期施用于农田,逐步破坏土壤的团粒结构和理化性质. 垃圾的出路现在是我国各城市面临的日益严重的问题. 象北京市农业部门近几年已拒绝在农田中使用垃圾,出现了垃圾无处消纳的严重局面.

为解决我国城市垃圾、粪便的污染问题,寻找适合处理我国城市垃圾、粪便的方法,我所开展了此项研究工作.

二、课题研究的技术路线

城市垃圾粪便处理工艺流程图请见图 1.

城市垃圾可以直接通过卫生填埋方法处理. 卫生填埋法也可以处理分类收集垃圾中的非堆肥物和堆肥产品分选出的砖瓦等.

分类收集的垃圾中的可堆肥物,可以通过高温堆肥的方法进行处理,处理中不加粪水系统是因为分类收集的垃圾一般本身能满足含水量的需要.

粪便不通过浓缩处理可以直接通过高温厌氧发酵技术进行处理.

分类收集的有机垃圾可以直接养殖蚯蚓,效果优于堆肥产品养殖蚯蚓. 杨树叶可以利用为培养蘑菇的基质.

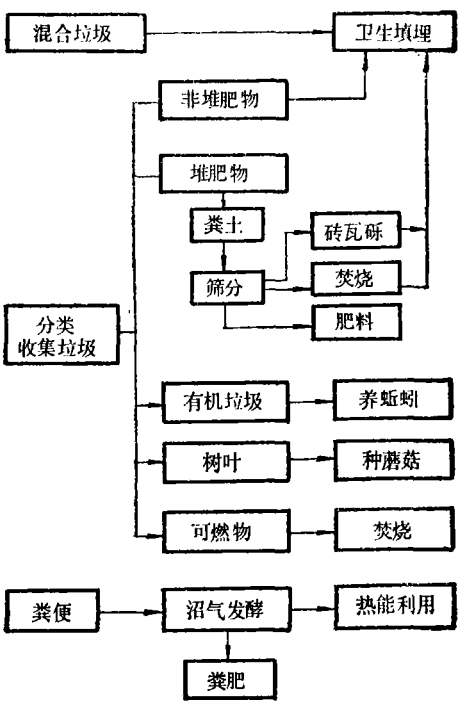

图 1 城市垃圾粪便处理工艺流程

* 参加本项工作的有 80 多位同志.

焚烧技术可以处理分类收集的垃圾可燃物和堆肥筛上物，是有待开发的技术.

三、课题研究的内容

本课题共有四个分项课题.

1. 垃圾堆肥技术的研究:

(1) 垃圾的调研工作: 对北京市的垃圾的产量、成份和变化趋势等进行了调查研究，提供了大量的第一手材料. 并对 1990 年和 2000 年的垃圾产量和成份进行了预测. (2) 建立 50 m^3/次的堆肥中试试验线. (3) 建立堆肥小型实验室. (4) 利用试验线和实验室进行堆肥技术参数 (有机物含量、水份、耗氧量等) 的研究工作. 重点对温升规律和无害化情况进行了研究. (5) 经过试验，针对试验设备运转中的问题，对某些设备(板式给料机、供粪装置、振动筛、抓斗等) 进行了改进，补充设计和制造、安装工作. (6)对试验线中的各设备进行了技术性能的研究和生产效率的测试. (7) 研制我国第一台垃圾堆肥专用机械——链耙机. (8) 对强制通风式的堆肥工艺进行试验、研究. (9)设计日处理300t的北京市垃圾堆肥处理厂. (10) 对原垃圾的分选技术进行试验研究. (11) 对国外堆肥技术进行研究.

2. 垃圾填埋技术的研究

(1) 进行 500m^3 的垃圾填埋试验. (2) 对北京郊区的可填埋场场地进行调查. (3) 建立了填埋小型试验设备. (4) 对填埋过程中渗出液的 26 种成份的污染情况进行监测和分析. (5) 对土壤作为填埋场的衬底材料的吸附特性进行研究. (6) 对建设大型填埋场的设计程序和工艺进行研究. (7) 对填埋场的场地选择要求进行研究. (8) 对国外填埋技术进行研究.

3. 应用高温厌氧消化技术处理城市粪便的研究

(1) 建立日处理 50 吨的粪便厌氧发酵装置. (2) 对厌氧发酵装置进行单机试验和空白试验. (3) 对粪便处理装置中的部分设施和设备进行改进. (4) 完成粪便高温、中温、低温厌氧发酵试验. (5) 对高温、中温和低温发酵的无害化情况进行监测和分析. (6) 对投配率、搅拌方式、污泥量和产气率之间的关系进行研究. (7) 对气体的成份和变化规律进行分析. (8) 对发酵后粪便的肥效进行分析. (9) 就粪便对蔬菜的污染情况进行调查. (10) 对国内外粪便处理技术进行分析.

4. 垃圾综合利用的研究

(1) 完成城市垃圾堆肥产品作肥料种植玉米、水稻、小麦等作物的大田种植试验，取得试验结果. (2) 完成用城市有机垃圾和堆肥产品养殖蚯蚓的室内室外和越冬试验. (3) 进行蚯蚓粪和堆肥产品作肥料种植蔬菜和花卉的试验. (4) 进行蚯蚓作饲料养殖淡水鱼的试验. (5) 进行杨树叶栽培食用菌的试验.

四、课题的研究结果

1. 应用堆肥技术处理城市垃圾的研究

(1) 垃圾调研结果介绍

垃圾的成份与燃料结构和取暖方式有显著关系.

北京地区有机物含量最高的月份是8—9月份，平均含量接近 80%，有机物含量最低的月份是 2—3月份，平均含量，平房 10%，双气楼房 40%，平房垃圾的产量是双气楼房产量的 6 倍多.

“双气”楼房的垃圾平均含水率为 50—70%，比较稳定. 我们的研究总结了垃圾含水率和有机物浓度关系式:

$$Y = 0.67X + 12$$

式中　Y = 含水率;

X = 垃圾中有机物含量 (湿重)

这为垃圾堆肥工程中，含水率的速测法提供了重要依据.

根据多年的垃圾情况调查，我们对 1990

年和2000年北京市的垃圾产量和成份进行了预测，为垃圾处理规划的制定提供了重要的背景数据.

(2) 堆肥技术参数研究

堆肥技术的研究,包括堆肥参数的研究,堆肥设备和工艺的研究这三部份内容. 堆肥参数的研究通过 50m³/次堆肥中试试验线和堆肥小试试验装置完成. 堆肥工艺、设备的研究通过 50 m³/次堆肥中试试验线的设计、建设和运转完成.

堆肥参数的研究包括对堆肥体中有机物含量、水份、碳氮比、耗氧量、温度、微生物、粒度等的研究,重点对有机物含量、水份、碳氮比、耗氧量对发酵的影响进行了研究.

有机物含量对堆肥发酵的影响通过小试和中试装置来完成，以能否正常升温作为衡量标准. 小试共进行了八次试验，原料中有机物含量分别为 10%，20%，(2 次),40%(2 次)，60%，80%，100%. 试验表明 10% 的有机物的垃圾不能用于堆肥，20% 和 100% 有机物的垃圾也不理想,有机物含量为 40% 和 60%的垃圾堆肥效果最好,50℃ 以上的温度保持天数最长,达 7d 以上. 中试先进行了 7 次试验，有机物含量分别为 10%，20% (2 次)，21.5%，40%，90%，试验表明有机物含量 20% 以下,堆体不能升温到 50℃，当有机物含量在 20% 左右时，堆体温升不均匀，仅中部能达到 50℃ 以上. 有机物含量为 40% 和90%的温升较理想. 综合以上进行的二十一次试验 (有机物含量为 25%—70%) 的成功经验可以得出结论，若堆肥体中的有机物含量达到 25% 以上时,堆肥能比较理想地进行发酵. 能达到无害化卫生指标所需要的温度条件.

北京市垃圾堆肥体的饱和含水量约为 40%,当原垃圾的含水量较高时,在堆肥最初的 3—4 d 中，堆肥体的含水量通过渗透迅速下降到 40% 左右,在以后的发酵过程中含水量趋于缓慢,稳定下降的过程中.

碳氮比的测定是在小试设备上进行的，结果表明堆肥的最佳碳氮比为 30:1 左右,若碳氮比低于 10 或高于 80 都不能进行正常的发酵. 北京市垃圾的碳氮比一般在 20 以下，一般蔬菜的碳氮比为 24，为尽可能提高碳氮比值，应采用分类收集方法，提高有机物含量,使碳氮比接近 30.

耗氧量的研究是通过小试和中试设备来进行的. 研究表明,在堆肥的全过程中,耗氧的情况是变化的，堆体温度达到 30℃ 左右时，剧烈耗氧开始发生. 堆肥的剧烈耗氧状态一般维持 5d 左右,有机物含量小于30%时无剧烈耗氧状态出现. 当有机物含量大于 30% 以上时，剧烈耗氧的维持时间基本上不变. 堆体的温度不随剧烈耗氧的消失而迅速下降. 通过这个研究为工程上合理地控制通气频率和确定发酵周期，提供了重要的依据.

根据上述研究我们认为，采用了强制通风的发酵方式，一次发酵的周期定为 10 d 比较适宜.

(3) 堆肥工艺设备研究结果介绍

对 50 m³/次堆肥作业线中的各堆肥设备逐次进行了试验、分析、比较. 重点对板式给料机、链耙机、粪水流量调节器、筛分机、物料选别机等设备进行了研究.

对板式给料机进行了改进设计，加装了出料破碎装置,提高了供料效率和均匀性,解决了国际上板式给料机输送混合垃圾时易发生堵塞的难题.

研制成功了我国第一台垃圾堆肥专用设备——链耙机，进行了 300 h 的连续运转试验,并于 1985 年初通过局级鉴定.

设计和制造了堆肥系统中的粪便供给系统，解决了混合系统中粪便大流量调节的难题.

国内首次使用双层振动筛作为垃圾堆肥的筛分设备. 对原有的振动筛改装了橡胶筛面,解决了筛孔易堵塞的问题.

设计并制造了抛物选别机，可以有效地分选出堆肥筛上物中的可燃和不可燃成份，为建立堆肥焚烧联合处理厂提供了重要的设备.

对堆肥工艺中的混合系统和筛分系统进行了连续 200 小时的运转试验. 对工艺的研究提出了适合于北京垃圾堆肥的工艺流程，并设计了北京立水桥 300 吨堆肥处理厂，此工厂的工艺流程经向日本荏原公司、奥地利奥钢联和澳大利亚安善利斯咨询公司咨询后，我们认为立水桥堆肥工厂的工艺是综合国外堆肥经验的具有中国特色的堆肥新工艺.

2. 垃圾填埋技术研究

(1) 对填埋场污染防治技术研究

对填埋场的污染及防治技术进行了较详细的研究. 研究主要包括: 渗出液的研究，衬里材料的研究和填埋覆盖土研究三部分的内容.

渗出液的研究是通过测渗计完成的. 试验分堆肥场和原垃圾二种，模拟降雨试验，共10个月. 每二星期取样分析测定渗出液中 pH、COD，大肠杆菌值，测定 TOC、TN、TP、CH_4 等挥发物，Na、K、Ca、Mg、Al、Zn、Fe、Pb、Cu、Hg、Cr、Mn、Ni、As、Cd、NO_3^-、NO_2^-、NH_4^+ 等成分的含量. 研究它们在填埋过程中的变化规律，试验表明:

渗出液中各成份与国家饮用水标准相比较，Fe 含量超标4 0—200 倍，Mn 超标 17—19 倍，Hg 超标 29—32 倍，As 超标 4—11 倍，Pb 超标 1—4 倍，Cr 超标 4 倍，总硬度超标 1—2 倍. 有机质污染 (TOC COD) 原垃圾大于堆肥垃圾约 10 倍.

污染物的峰值，TOC COD 出现的时间在第 15d 左右，总氮在第 45d 左右. 对堆肥后的垃圾填埋来说，在半年以后渗出液的 COD 出现第二个峰值.

对衬里材料主要是研究不同渗透系数和土壤对垃圾渗透液中的污染物的吸附、过滤性能，为土壤作填埋场衬底材料提供设计参数. 试验共分二组进行，一组为不同渗透系数土壤对污染物的吸附限度的研究，另一组为不同比例的石灰复合土对吸附的影响，试验表明:

土壤经垃圾渗出液淋洗后，土层的渗透系数从上到下有变小的规律，使抗渗能力比原土提高.

污染在土壤中分饱和区、过渡区、未污染区三部分. 在过渡区中，有机质呈线性梯度分布，粘土的有机质饱和浓度为 0.69%，过渡区宽度为 45 cm，粉壤土有机质饱和浓度 0.50%，过渡区宽度大于 70cm.

粘土和粉壤土对 NH_3-N 和 NO_2^- 的吸附过滤效率较好，粘土优于粉壤土，但对 NO_3^- 均没有过滤作用.

按 450 kg/m³ 垃圾填埋量计算:

粘土对金属的平均吸附浓度分别为: Fe: 1.504 (mg/100g 土，下同); Mn: 0.237; Cu: 1.79 × 10^{-2}; Zn: 0.101; As: 4.33 × 10^{-2}; Hg: 2.6 × 10^{-3}; Cd: 1.43 × 10^{-3}; Cr: 6.67 × 10^{-3}; Pb: 0.0265，根据浓度在粘土壤中的梯度分布计算出过滤后的达标厚度 Hg 为 75 cm，As 为 55 cm.

粉壤土对金属的平均吸附浓度分别为 Fe: 8.5 × 10^{-2}; Mn: —; Cu: 7.5 × 10^{-4}; Zn: 9.1 × 10^{-3}; As: 1.5 × 10^{-3}; Mg: 2.3 × 10^{-4}; Cd: 1.0 × 10^{-4}; Cr: 3.1 × 10^{-3}; Pb: 2.3 × 10^{-3}.

经粉壤土过滤后达标厚度: Hg: 80cm; As: 93cm.

以上情况说明，粘土作衬里的过滤效果将明显优于粉壤土的过滤效果.

对石灰复合土衬里的过滤情况的研究表明，随着石灰含量的增加，对 COD，TN 过滤效果下降，对 TOC、Mg、Zn、Fe、Mn 过滤效果增加，对 Hg 最初增加，以后明显下降，峰值为 10%，对 As 无明显影响.

根据上述研究我们总结出了，在扩散过

滤型填埋和排水过滤型填埋工艺中，土壤粒度分布，填埋量和衬层厚度三者之间的曲线关系图．我们认为，这是以土壤作衬里材料的填埋工艺中必须遵循的规律．这二个衬层厚度设计图为填埋场的工程设计提供了重要的实用依据．

填埋覆盖土的研究主要对覆盖土的厚度和坡度等情况进行了分析研究．

(2) 500 m^3 填埋试验

在研究所内完成了500m^3实际填埋试验．对填埋场地进行了地形地貌的调查，地层岩性的调查和水文地质的调查．根据调查结果选定六个点作为对地下水污染的监测点，为此打了六口监测井，分别监测浅水层和深水层的背景本底值和水质污染情况，同时对填埋过程中产生的渗出液和气体进行了分析．

渗出液的分析说明，COD 的数值很高，超过饮用水标准的 3100 倍，Hg 的含量超出饮用水标准 30 倍，大肠杆菌值为 10^5，硬度指标和其它元素 Pb、As 等也都超出标准．说明填埋中的渗出液是不能直接渗入地下水源的．

浅水层和深水层的水质分析说明，填埋过程中被渗出液污染的情况是浅水层的污染大于深水层．污染主要产生在水力下坡区，此区 COD 值高，NO_3^--N 含量及总硬度比较高．

对填埋过程中产生的气体分析表明，产气发生在填埋进行后一周，并很快达到高峰，日产气量达到 7.2 m^3/500 m^3 垃圾．并总结了气体产量同垃圾之间的体积关系：

垃圾:气体 = 1:1.375

这说明大型垃圾填埋场必须有气体收集系统，并应设置较好的消防系统，以防火灾发生．

(3) 填埋场场地的选择

选择一个填埋场主要应从地下水源的保护和经济性二方面进行考虑．

为防止填埋过程中的渗出液对地下水的污染，要对填埋场的水文地质情况进行了解．要弄清地下水的埋藏条件和补给、排泻情况．地下水埋藏条件包括：地质构造和特性．

从地质构造考虑，填埋场应避免建在断裂带地区．岩石的节理应选择剪节理地区．

岩石的特性主要应考虑岩石的透水性，地下水上部应有一定厚度岩石作隔水层．岩石的渗透系数应小于 10^{-8}．

从经济上考虑，填埋场应选择在离城市较近的地点，以尽可能减少运输费用．另一方面填埋场的面积形状，填埋方式和堆高也是决定填埋场经济性的重要因素，在研究中，我们总结出了考核填埋场填埋经费的公式：

$$m = k\frac{m' + m''}{fH}$$

式中

m = 垃圾填埋处理费用，元/m^3；

m' = 场地衬层价格，元/m^2；

m'' = 场地购地费用，元/m^2；

H = 填埋高度，m；

k = 比例系数；

f = 充填系数

(4) 大型填埋场工艺设计研究成果介绍

我们对建设大型填埋场的设计程序和工艺进行了研究．我们认为一个填埋场的设计应按选址、场地调查、现场勘测、方案制定和结构设计的程序进行，为建设大型填埋场提供了重要的实施方法．

3. 应用高温厌氧技术处理城市粪便的研究

应用高温厌氧技术处理城市粪便的研究是通过已建成的中试发酵装备进行的，对高温、中温和低温发酵技术分别进行了试验，重点是高温发酵技术的研究．

研究表明，北京市未经处理的粪便含水量为 98—99%，大肠杆菌值为 10^{-7}—10^{-9}，蛔虫卵死亡率平均为 37.8%，是传染肠道病的根源．

高温厌氧发酵技术的研究表明经高温厌

氧发酵处理后的粪便的大肠杆菌值一般都大于 0.111，蛔虫卵死亡率达到 100%，能够达到国家规定的卫生指标要求.

处理后的粪便是一种肥料，含全氮约 0.4%，氨氮 0.3%，含磷 0.04%，含钾 0.06%，每吨粪便中的肥料价值为 4.3 元.

高温发酵技术共处理粪便 5103 t，产生沼气 44809 m^3，按进料量计算产气系数平均为 8.78，按池有效容积计算产气系数平均为 0.43，最高为 1.05.

沼气成份为甲烷 55—72%，二氧化碳 25—33%，氮 2.4—5%，氧 0.1—0.3%.

试验表明以投配率为 5%—10% 时产气率最高，搅拌对产气率有影响. 在日累计搅拌时间接近时，产气量与日搅拌次数成正比，从我们的试验表明，以每隔 2 h 搅拌 1 h 这种方式产气量最高.

发酵池中的污泥量对产气量也有影响，当污泥量控制在 20% 左右时，产气量最高.

中温厌氧发酵的试验表明当投配率达到 5% 以上时，发酵后的粪便就不能符合无害化卫生要求. 中温发酵时的产气量与高温发酵比较接近.

低温厌氧发酵的试验表明，对含水量为 98—99% 的城市粪便，处理后的粪便既不能符合卫生要求，又不能产生沼气.

所以高温厌氧技术是处理城市粪便的有效方法之一.

4. 垃圾综合利用的研究

(1) 垃圾堆肥大田种植试验研究

在朝阳区和通县进行了大田种植试验. 试验同时对堆肥产品的品质进行了分析.

产品分析结果表明，北京的堆肥产品是一种含氮平均为 0.59%，磷 0.18%，钾 0.035%，并含有多种微量元素的有机肥.

朝阳区农科所进行的垃圾堆肥大田种植试验，做了对水稻、玉米、西红柿、柿子椒和大白菜五种作物的试验. 试验表明，用堆肥种植的蔬菜（西红柿、柿子椒、大白菜）大都增产 5.9%—13.5%，玉米和水稻增产百分率为 14.7—76%. 使用堆肥后的土壤孔隙率增加 2.9—4.2%，能改善土壤的通气状况. 使用堆肥后土壤中的有机质和全氮、速钾成分有增加.

通县农科所进行的垃圾堆肥大田种植试验作了水稻、玉米和小麦试验. 试验表明用堆肥种植的水稻和玉米均能获得增产，水稻的增产率为 8.3—35.1%，玉米的增产率为 3.2—39.4%，小麦的增产率为 11.6—47.6%.

土壤质地分析表明，使用堆肥后，小于 0.01 mm 粒径的颗粒含量降低 0.2—11.4%，大于 0.01 而又小于 0.05mm 的颗粒含量增加 0.2—4.8%，说明垃圾堆肥能增加土壤的通透性. 使用堆肥后，土壤中的全氮有增加.

中国农科院土肥所和北京市土肥站的垃圾堆肥种植试验也表明，垃圾肥对作物有增产效果.

以上情况表明，垃圾堆肥产品作为一种有机肥施用于农田是有前途的.

(2) 利用蚯蚓养殖技术处理城市生活垃圾研究

利用人工养殖蚯蚓技术处理城市生活垃圾的试验，共进行了三方面的试验：室内试验、室外越冬试验、室外养殖蚯蚓处理生活垃圾的试验.

室内试验中，蚯蚓对垃圾的吞食量，平均每条蚯蚓可吞食的垃圾量为体重的 2.8 倍，100 万条蚯蚓每个月能处理垃圾约为 24—36 t. 蚯蚓粪是很好的有机肥料，蚯蚓粪的肥效比原垃圾有明显提高，全氮增加 37%，全磷增加 777%，全钾增加 1262%，有机质增加 72%.

蚯蚓在不同饲料里生长和繁殖不一样，蚯蚓在垃圾堆肥中长得体大、色红、活泼、但繁殖率低. 当加入其它有机废物时，蚯蚓的生长和繁殖都比较好. 在 73 天试验中，蚯蚓在垃圾堆肥中增殖 0.01—0.3 倍，在垃圾堆肥中加 10—30% 的烂水果，蚯蚓增殖 7—21

倍，在棉籽皮中增殖 30—40 倍，在树叶杂草堆肥中增殖 7—11 倍.

蚯蚓体内含 10—14% 的蛋白质和多种氨基酸，是一种优良的饲料，用垃圾养殖的蚯蚓体内含有多种重金属元素. 所以不宜完全采用蚯蚓体作为主饲料，仅可作为辅助饲料.

蚯蚓能富集重金属，它身体中富集的镉是垃圾中镉的 8.4 倍，富集的铅是垃圾中铅的 136 倍，富集的砷是垃圾中砷的 7.9 倍. 可以利用蚯蚓的这种特性来减少垃圾中重金属的污染.

蚯蚓室外越冬试验在 0.6×0.55×0.8 m 的塑料箱中在地面上进行，时间为 11 月16日至次年 4 月 6 日，最低气温零下 14℃，箱内最低温度达到零下 2℃，蚯蚓的存活率在垃圾堆肥中为42.7%，在棉籽皮中为100%. 这说明在北京这样的寒冷地区，蚯蚓是能够安全过冬的. 如若保温条件更好，越冬后的存活率还能提高.

室外养殖蚯蚓处理生活垃圾的试验在露天蚯蚓养殖池中进行. 池长 12m，宽 3m，高 0.5m. 池分成二部分，一部分放入发酵后的垃圾，一部分放入生垃圾，蚯蚓品种为大平 2 号，同时与棉籽皮养殖进行对照，试验结果如下：

蚯蚓在原垃圾中增长 3.92 cm，增重 0.393g，在发酵后的垃圾中增长 3.1cm，增重 0.245g，在棉籽皮中增长 1.62cm，增重 0.132 g.

蚯蚓在原垃圾中 75 天增殖 76.7 倍，在发酵垃圾中增殖 29.5 倍，在棉籽皮中增殖 13.3 倍.

蚯蚓的吞食量在原垃圾中为体重的 1.13 倍，在发酵垃圾中为体重的 2.95 倍，在棉籽皮中为体重的 0.825 倍.

从以上情况可以看到，蚯蚓养殖是处理城市生活垃圾的一种切实可行的方法. 蚯蚓养殖处理城市垃圾能把垃圾变成肥料，变废为宝. 该法具有一定的环境效益和经济效益，值得建设较大规模的养殖场.

(3) 蚓粪种植试验

进行了利用垃圾养殖的蚯蚓的蚓粪，垃圾堆肥、马粪作基肥，种植西红柿、萝卜、月季花，倒挂金钟、石榴花、文竹、侧柏七个品种的试验，试验中记录植株枝叶生长情况；蔬菜产量和品质，花卉观赏价值. 试验表明城市垃圾和有机废物经过蚯蚓作用以后可变成优质的有机肥料，此肥料养分全、肥效高、无臭、多孔、呈团粒结构. 具有任何化学肥料不可比的优点.

西红柿种植试验表明，果实色红，吃起来甜、沙瓤，比其它肥都好.

萝卜试验表明，蚓粪种植的萝卜最大的重 1 kg，其它肥最大为 0.75 kg，比对照增产 118.5%.

月季花种植试验表明，施蚓粪的长得高，旺盛，分枝多，叶子油黑，花朵大，色鲜艳，开花多. 比对照多开 25 朵花，增加花朵数为 78%.

倒挂金钟盆栽试验表明，施蚓粪的植株长得旺盛，叶子厚、绿、花多、花色鲜艳. 仅施马粪的植株长得与施蚓粪的接近，但开花迟三天，花色稍差.

石榴花盆栽试验表明，施蚓粪盆栽石榴花，植株旺盛，叶子浓绿、花色鲜艳，不施肥的植株矮小、叶子黄绿，施垃圾肥和马粪的无明显差异.

盆栽文竹试验表明，施蚓粪者长得高，分枝多，叶色浓绿，施马粪者和施蚓粪者长势差异不明显，但叶色不及施蚓粪者绿.

盆栽侧柏试验表明，施蚓粪比对照长得高，树势旺，叶色浓绿，施马粪的株高和施蚓粪的相近，叶的颜色不如施蚓粪的绿.

以上七组试验表明，蚯蚓粪是一种优质的肥料，蚓粪用于农田、街道绿化，对提高农作物的产量、质量和园林花卉的观赏价值有重要的作用.

(4) 垃圾养殖的蚯蚓作淡水鱼饲料试验

蚯蚓和人工合成饵料饲养淡水鱼试验共分三组分别用100%蚯蚓，60%蚯蚓加合成饲料，40%蚯蚓加合成饲料来喂养鱼，测定体重增长情况和重金属含量的变化，同时与100%合成饲料的对照组进行比较，试验表明：

按鲜鱼的体重增长情况来看有如下次序：

40%蚯蚓组鱼体增重＞60%蚯蚓组鱼体增重＞对照组鱼体增重＞100%蚯蚓组鱼体增重.

按鲜鱼体内重金属Hg的含量来看有如下次序：

100%蚯蚓组＞60%蚯蚓组＞40%蚯蚓组＞对照.

用100%蚯蚓喂养的鱼三个月左右Hg的含量达0.5 mg/kg，超过国家食用鱼的标准0.3mg/kg，且体重增长最缓慢，所以不能用100%的蚯蚓作为鱼的饲料.

用40%的蚯蚓作饲料喂养的鱼，不仅增重最快，而且重金属的含量也最低，每个月平均增加汞含量为0.01mg/kg（鱼体的本底汞含量为0.01 mg/kg）能够喂养较长时间.所以蚯蚓作为辅助养鱼饵料使用时，按鲜重计算，蚯蚓的含量最好不要超过40%.

我们认为，蚯蚓作为饲料，在有控制的条件下进入食物链是可以的.

(5) 杨树叶栽培食用菌试验

北京市年产杨树叶约4×10^4t，杨树叶是一种富含养分的城市废弃物，其中含氮1.18%，钾0.07%，磷0.067%，碳氮比约37:1.

为开展杨树叶的综合利用研究，我们进行了以杨树叶为主料，棉籽皮为配料的食用菌种植试验，种植的食用菌为金针菇、糙皮侧耳和凤尾菇三种，每种菌种进行配比选择试验和粉碎度选择试验，同时比较生物学效率和菌丝生长情况.对产品进行营养成分分析和毒性鉴定.

从配比试验的生物学效率和菌丝生长情况来看，杨树叶的配比以60%为最合理.菌丝生长快，出菇多，三种菌种的出菇量以凤尾菇为最高.粗皮侧目次之，金针菇较差.但均比纯棉籽皮的差.试验用的粉碎度为0.1—0.5 cm筛孔直径.

从粉碎度试验的生物学效率和菌丝生长情况来看，杨树叶的颗粒以小于1cm和0.1～1cm二组的结果最好.其中凤尾菇的生物学效率比纯棉籽壳栽培的高13.3%.

由以上结果可知，如果杨树叶的粉碎度和配比选择合理，栽种合适的菌种是能够取得食用菌的高产的.从我们的试验分析来看，杨树叶的粉碎度以0.1～1cm为最佳，杨树叶的配比以60%为宜，种植的蘑菇以凤尾菇为最好.

营养分析的结果表明，以60%杨树叶40%棉籽壳种植金针菇和糙皮侧耳的营养价值高于对照组，尤其是蛋白质，矿物质，氨基酸和维生素的含量最显著，其中维生素B_1高于对照组327%.

毒性鉴定试验结果表明，六六六和DDT的残留量远低于我们的食品标准.重金属分析结果表明60%杨树叶种植的蘑菇的重金属含量也符合国家食品标准.

由以上试验、测试结果可以看到，用杨树叶种植蘑菇不仅是可行的，而且是富含营养的一种食品.种植蘑菇是处理城市特殊垃圾——杨树叶的一种行之有效的方法.

五、经济效益和社会环境效益

我们的研究工作计算了城市垃圾、粪便处理的成本费用，按我们的工艺计算，每处理一吨垃圾用堆肥的方法总费用（包括基建投资）约5元，用填埋的方法总费用小于3.5元/T，每处理一吨粪便总费用约5.5元/T，若工艺改变，处理经费也会相应有所波动.因此，总体上看城市垃圾粪便的处理不会产生经济收益，但仍有明显的社会效益和环境效益.

1.可以防止对地下水源造成污染有明显

的环境效益

垃圾自然堆放经雨水淋洗和自然分解产生的渗出液对地下水造成严重污染，垃圾经堆肥和卫生填埋处理后，渗出液得到了净化和处理，可以有效地控制对地下水源造成的污染.

2. 可以控制疾病的传染，有明显的社会效益

垃圾、粪便经高温处理后杀死了其中的病源微生物，切断了疾病传染的途径，对保障人民身体健康将产生明显作用.

3. 有利于资源回收，能取得间接的经济补偿

堆肥产品 蚓粪和处理后粪便作为肥料出售后施于农田有利于作物的增产，能部分补偿处理厂运行时消耗的费用.

4. 有利于防止对农田的破坏，维持生态平衡

垃圾经处理后施于农田，不再破坏土壤结构，有利于土壤的改良，能保持土壤结构的良性循环.

5. 有利于改善城市环境卫生面貌，促进城市的文明建设

垃圾不再在城市周围随意堆放，有利于改善市容观瞻，净化环境和城市建设的发展.

六、结 论

《城市垃圾粪便无害化处理及其综合利用的研究》项目已如期按合同要求完成. 从项目中的四项子课题的研究可得出如下结论:

1. 应用高温堆肥技术处理城市垃圾中的可堆肥物是可行的. 处理后的堆肥物能够达到无害化的卫生指标，堆肥产品是一种优良的有机肥料，有利于土壤的改良和农作物的增产，并不对土壤造成破坏. 这是一种有推广应用价值的处理城市有机垃圾的方法.

2. 卫生填埋技术是处理城市垃圾的一种有效和必需的方法. 填埋场经防渗等技术处理后，可以防止对地下水和周围环境造成污染，这是每一个城市必须推广和应用的一种垃圾处理方法.

3. 高温厌氧消化技术处理城市粪便是一种行之有效的方法. 处理后的粪便能达到无害化的卫生指标，能作为肥料施于农田，沼气能作为能源加以利用.

4. 蚯蚓是处理城市有机垃圾的一种有效方法，有利于垃圾综合利用的发展. 种植蘑菇技术是处理城市特种垃圾——杨树叶的有效方法.

(上接第 6 页)

工作的水平还不够高，但这是针对我国的实际进行探索所取得的成果，因而是十分可贵的. 回顾既往的历程，我们可以看到我国环境科学研究工作从工业污染源调查和单纯的“三废”治理技术、资源能源的回收利用，发展到以生态学理论为指导的区域综合防治，保护生态环境和自然资源，进而探讨如何按照环境演化和生物进化的客观规律，以合理的形式和最佳条件重新建立人类同物质，能量交换、转换和传递的关系，不仅控制环境污染，而且创造更加美好、舒适的生活环境. 这是对环境问题认识的重大发展.

值此《环境科学》创刊十周年之际，我们以特刊的形式，用本卷 4、5 两期的篇幅，扼要报道我国近几年来环境科学研究的一批重要成果，以期概括介绍近年环境研究的一些进展. 同时，发表几篇专论，以启发环境科学研究的思路.

在过去的十年中，《环境科学》每前进一步都是同广大读者和作者的关心、支持和帮助分不开的. 在此，我们特表示衷心的感谢. 我们重申，我们将竭诚为读者服务，力求把《环境科学》办成一个为广大读者、作者发表成果、交流经验、增长知识、提高业务水平的园地，为促进我国环境保护事业的发展作出我们应有的贡献. 愿《环境科学》越办越好!

Abstracts

HUANJING KEXUE
Chinese Journal of Environmental Science

New Starting Point of Environmental Science

Chen Shupeng

This article focuses on several aspects of ecosystematic effects of exploitation of natural resources and environmental protection. Five problems are discussed as follows:

(1) Multi-dimensional structure Studies of environmental science in micro-scale has gone deep into molecular and atomic levels, and will go macro-research to the whole geosphere as well as outer space. The regional environmental ecosystem is an open one, in which there is a network linking external environment for exchanging materials, energy and informations with the internal subsystems in which they transfer and transform.

(2) Spatial and temporal scales As today's environmental science in a broad sense stays at different scales, such as for the globe, a country, a river basin, an area or a specific subject, research project should be designed and organized in accordance with system engineering to use multi-disciplines. It is necessary to do a macrosynthesization based on detailed study in each micro-field and a micro-analysis under guidance of macro-scopic rules as a whole. Since an ecological system envolves in dynamic equilibrium, its time measurements can be differentiated as an instant, short-term, medium-term and longterm. Naturally, methodologies and equipments for researches and precision of acquired data are different in various scales. It is the reason why the concept of synthesization and accumulation of science is required for a systematic research of environmental science.

(3) A guarantee of advanced technology required Today's environmental science should be based on modern system theory, information theory and control theory supported with advanced technological systems, which include network stations of field observation with applied experimentation, systems of remote sensors monitoring with multi-dimensions on multi-platforms, analyses and utilization of data and images aquired from international environmental satellites, resources and environment information systems (GIS).

(4) A new strategy of environmental studies Achievements of environmental studies have been made since the recent years, not only in the aspects of theory and methodology but for some results accepted by Chinese governmental departments concerned. In the period of the seventh five year plan, three strategic problems may be considered by Chinese environmental scientists; 1) concentrating on water resources as a main focus of all environmental problems; 2) developing traverse connection among three zones from west to east, enforcing integrated ecological studies in the main river basins; 3) following the trends of global environmental research such as green-house effects, EL Nino event, changes of sea level etc.

(5) Prospects for the future Environmental science will present a new appearance in the information society. Under the guidance of modern philosophy and methodology supported with advanced technology, environmental scientists will fulfill reformation of natural environment and optimization of social environment by applying environmental engineering in which bio-technology and geo-technology are included.

HUANJING KEXUE Vol 7, No. 4, p 7, 1986

A Brief on Treatment Processes of Making Urban Refuse and Feces Harmless and Comprehensive Utilization of Them

Yu Xidi et al.

This article introduces some research results about treatment methods and techniques of urban refuse and feces. The aim of the researches is to prevent the environment from pollution and to preserve public health. No matter what method is applied, classified collection of refuse is prerequisite to treatment. The methods and techniques including landfill, compost, incineration, anaerobic fermentation etc have been discussed in the article.

HUANJING KEXUE Vol 7, No. 4, p 46, 1986