

化粪池出水垂直流人工湿地与水培蔬菜处理利用系统

崔理华, 骆世明, 朱夕珍, 刘迎湖
华南农业大学, 广州 510642
E-mail: lihcui@scau.edu.cn

1 前言

在中国传统农业中粪尿是作为有机肥料被分散施用到土壤中的, 以供应农作物生长所需要的营养和减轻土壤退化, 再以粮食和蔬菜等农产品形式被人类食用, 这种循环利用方式被称为有机农业模式。但是, 在城市化地区, 由于城市居民粪尿产生量大和交通运输压力以及运输方式落后等原因致使城镇居民粪尿有机肥源不能还田, 特别是人粪尿中氮磷营养物质含量高, 对于农业利用来说, 应是最好的有机肥源。可是, 在城市化地区却而成为城市地表水体富营养化的重要的污染源, 需要引入城市污水处理厂进行脱氮除磷处理, 这样做既浪费资金, 又浪费能源和资源。仅人尿就可以替代目前人类食品和动物饲料生产所用化肥量的 20-25%。因此, 人粪尿中营养的循环利用对于减轻城市水环境污染和建立未来生态循环社会都具有重要的意义。然而, 大体积的尿要还田就必须涉及到有关这些大数量尿的收集和输送问题。因此, 人尿中营养的浓缩和体积的减小以及通过酸化贮存人尿都有研究报道(Lind et al, 2001; Hellström et al, 1999), 但此法仍未得到应用。

本项研究的目的是: (1) 对人粪尿采用化粪池和垂直流人工湿地组合系统进行处理, 使人粪尿达到去毒、杀菌、增氧、卫生和无害化; (2) 利用该组合系统处理出水中的营养水培蔬菜, 同时利用水培蔬菜的摄取作用进一步处理化粪池出水; (3) 在垂直流人工湿地中种植观赏植物和其他商品花卉, 增加人工湿地的经济效益和审美价值; (4) 在城市化地区建立一个分散的污水生态处理与利用示范装置。

2 材料与方法

2.1 试验流程

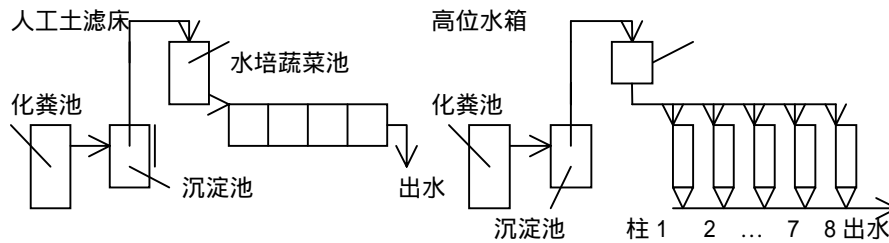


图 1. 人工土滤床与水培蔬菜系统流程图

图 2. 垂直流人工湿地系统流程图

2.2 试验设计 人工土快滤床: 长×宽×高为 1m×1m×1.3m, 池底为 20cm 的砾石垫层, 在垫层上填人工土 90cm, 池表喷洒布水。水培蔬菜池: 长×宽×高为 4m×1m×0.4m, 分 4 格, 设 2 个处理。处理 1 为通菜(秋季), 西红柿(春季)。处理 2 为生菜(秋季), 樱桃番茄(春季)。并玻璃温室无土栽培和田间种植通菜、生菜、西红柿和樱桃番茄作对照。

垂直流人工湿地(床): 长×宽×高为 1.86m×1.68m×1.2m, 共 2 个, 池底为 10cm

厚砾石垫层,床1填人工土1.0m厚,其上种植美人蕉;床2填砂土混合物1.0m厚,再在其上种植玫瑰、剑兰等鲜花植物。

2.3 供试污水 供试污水取自华南农大5号楼公厕化粪池出水,其水质监测结果为:COD₁₂₀ - 400 mg/l, BOD₅ 为 60-150mg/l, TN 为 10-50 mg/l, TP 为 1.5-12mg/l。其性质与城市污水相类似。

2.4 运行管理 人工土快滤床自1996年9月开始运行至11月底止。每3d运行2h,日处理水量为0.6m³,水力负荷为20cm/d。水培蔬菜池每3d补充一次处理出水,其水力停留时间为约5.4d。垂直流人工湿地(床)自2000年10月初运行,每日运行2次,每次运行1h。垂直流人工湿地(柱)2001年3月8日开始运行,采用连续配水8h,湿干比为1:5方式运行。

3 结果与分析

3.1 人工土快滤处理和水培蔬菜利用系统对 COD 和 BOD₅ 的去除效果

在试验期间,对不同生长期的化粪池、快滤床和水培蔬菜池的处理出水水质进行了监测。三级化粪池出水中 COD 浓度为 120-180mg/l,经人工快滤床处理后 COD 浓度为 60-80mg/l,其对 COD 的平均去除率小于 60%,原因是运行间隔时间长,渗滤速率快,水力负荷和污染负荷过小。经水培通菜和生菜处理利用后排出水中 COD 浓度小于 45mg/l,达到了二级生化处理厂排放标准。但处理系统对 COD 的去除率仅为 71.4%,可能与秋末气温较低,蔬菜生长较慢有关。

在试验期间,对该处理利用系统的进出水中 BOD₅ 浓度进行了监测。原污水 BOD₅ 浓度约为 60mg/l,经人工快滤床处理后出水 BOD₅ 浓度约为 10mg/l,达到了二级生化处理排放标准,也完全符合农田灌溉水质标准要求。再经水培通菜和生菜处理利用后出水中 BOD₅ 于 2mg/l,达到了地面水环境质量 Ⅲ类标准。整个处理利用系统对 BOD₅ 的去除率为 97.5%。

3.2 人工土快滤处理和水培蔬菜利用系统对 SS 的去除效果

化粪池出水中 SS 浓度较高,平均达 250 mg/l,在无何前处理装置的情况下,粪水直接进入人工土快滤床,经人工快滤床处理后滤出水中 SS 含量仍较高,平均值为 66mg/l,其对 SS 的去除率仅为 73.6%。主要原因是渗滤速率较快,以致其处理出水中 SS 浓度较高,但再经水培通菜和生菜根系的絮凝作用后,其排出水中 SS 含量小于 10mg/l,达到了二级生化处理排放标准,整个处理利用系统对 SS 去除率达到 96.9%。

3.3 人工土快滤处理和水培蔬菜利用系统对 TN 和 TP 的去除效果

在试验期间,供试污水中 TN 的平均浓度仅为 10mg/l,经人工快滤床处理后滤出水中 TN 的浓度变化较大,人工快滤床对 TN 的去除率仅为 49%,为后续水培蔬菜提供了较为丰富的氮素营养。蔬菜吸收 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N,通过移去植物体可除去植物固定的氮。经水培通菜和生菜后,其出水中 TN 于 1.5mg/l,达到了地面水环境质量 Ⅲ类标准。整个处理利用系统对 TN 的去除率为 86.3%,基本上达到了三级处理的目的。

在试验期间,供试污水中 TP 的含量变化范围为 1.5-2.0mg/l。人工快滤床对污水中 TP 的平均去除率为 78.7%,其处理后出水中 TP 平均浓度为 0.37mg/l,达到了二级生化处理厂排放标准。再经水培通菜和生菜利用后出水中 TP 的浓度略大于 0.20mg/l,基本

上达到了地面水环境质量 Ⅲ类标准。整个处理利用系统对 TP 的去除率为 87.4%。

3.4 对水培蔬菜品质的影响

在进行处理出水水培生菜试验的同时,分别在温室无土栽培和田间种植生菜作对照。采收后,分别对生菜作品质分析。其中,粗蛋白以干物质计算。由于硝酸盐含量是蔬菜质量的重要指标之一。因此,在无土蔬菜栽培中如何降低硝酸盐含量是无害化重要内容。试验结果表明,在不添加营养液条件下,处理出水试验水培蔬菜中硝酸盐含量最低,田间土壤栽培次之,温室无土栽培(营养液水培)最高;而维生素 C、粗蛋白和可溶性总糖在 3 种栽培情况下的差别不大;从产量来看,处理出水水培蔬菜单株鲜重介于无土栽培和土壤栽培之间。

3.5 垂直流人工湿地系统对细菌总数和大肠杆菌的去除效果

垂直流人工湿地系统包括 2 个试验床和 8 根试验柱,分别经过了近 9 个月和 3 个月的运行试验,最近对其处理出水中的细菌总数和大肠杆菌分别进行了检测。结果表明,以砂为主料混合基质的垂直流人工湿地(床)系统对细菌总数和大肠杆菌的去除率分别为大约为 70%和 80%,低于以煤灰渣为主料混合基质的去除效果,后者对细菌总数和大肠杆菌的去除率分别达到 80-90%和 85-99%以上。特别是低水力负荷的煤灰渣柱对细菌总数和大肠杆菌的去除率分别为 93.6%和 99.9%,完全可以达到景观娱乐用水水质标准和地面水环境质量标准。因此,垂直流人工湿地系统是生活污水的生态卫生处理系统。

3.6 垂直流人工湿地(床)系统的处理效果

垂直流人工湿地床 1 和床 2 是去年 10 月 1 日开始灌水运行的。至目前为止,一共运行了 200 天,床 1 和床 2 总的处理水量分别为 159.5m³和 140.6m³,折合成水力负荷分别为 21.6 cm/d 和 20.0cm/d。其运行监测结果表明,垂直流床对 BOD₅ 和 NH₄⁺-N 的去除率随着运行时间的延长而增加,但 COD 和 TP 表明不明显。COD 和 TP 的去除率与进水浓度有关,COD 进水浓度高,其去除率就高;而进水 TP 浓度越高,其去除率反而越低。另外,从床 1 和床 2 的处理效果比较来看,床 1 对 COD、NH₄⁺-N 和 TP 的去除率优于床 2,而床 2 对 BOD₅ 的去除率优于床 1,这与床 1 填料中添加了草炭有关。

4 结论

4.1 化粪池出水经人工快滤床或垂直流人工湿地系统处理后其处理出水中的 COD、BOD₅ 的浓度达到了农田灌溉水质标准;其对粪水中细菌总数和大肠杆菌的去除率分别为 70%和 80%;同时提高了粪水中的溶解氧,从而为直接利用处理出水水培蔬菜提供了可能。

4.2 利用处理出水作为水培蔬菜营养液,在不添加营养液和不曝气条件下,成功地水培生产出西红柿、通菜和生菜等蔬菜,并且处理出水试验水培蔬菜中的硝酸盐含量最低,大田栽培次之,营养液水培最高。

4.3 利用处理出水水培蔬菜不但进一步提高了粪水中 COD、BOD₅、SS、TN 和 TP 的去除率,使其处理出水水质达到了三级处理水平,而且还利用了水肥资源发展了蔬菜无土栽培生产。

4.4 在垂直流人工湿地上不但可以种植水生植物,而且还可以种植观赏植物,既增

加了处理系统对氮磷的去除率，又提高了处理系统的经济效益和审美价值，实现了污水生态处理利用系统的持续发展。