

张琳,刘新平,常会庆,等. 脱水污泥和小麦秸秆共堆肥过程中有机质转化研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(2):243-247.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.02.061

脱水污泥和小麦秸秆共堆肥过程中有机质转化研究

张琳¹,刘新平²,常会庆³,焦伟¹

(1. 新疆农业大学管理学院,新疆乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业大学土地科学研究所,新疆乌鲁木齐 8300523;
3. 河南科技大学农学院,河南洛阳 471003)

摘要:研究城市脱水污泥堆肥过程中各有机物的变化特征,对评价堆肥腐熟程度和堆肥产品质量等具有重要应用的价值,为城市污泥堆肥产品的安全生产提供保障。本研究利用河南省洛阳市涧西区污水处理厂脱水污泥为堆肥原料,以小麦秸秆为调节剂,根据污泥和小麦秸秆配比的质量不同设置其 C/N 为 6:1、10:1、12:1、25:1 这 4 个对照处理组,分析不同阶段堆体的温度、有机质含量、腐殖酸总量、胡敏酸(HA)含量、富里酸(FA)含量以及水溶性有机质(DOM)含量的变化对污泥堆肥腐熟程度的影响。结果表明,随着堆肥时间的延长,4 个处理的堆体温度呈现先升高后降低的变化趋势。温度较高时则有利于微生物降解有机质,增加堆肥腐熟程度;直至堆肥结束时,前 3 个处理有机质含量均呈下降趋势,处理 4 有少量的增加;腐殖酸总量含量整体呈下降趋势;HA 含量呈现上升趋势;FA 含量整体呈逐渐下降趋势;HA 含量与 FA 含量的比值(H/F)呈上升趋势,H/F 的增加说明腐熟堆肥腐殖化程度的提高;DOM 含量整体呈现下降趋势。通过对污泥堆肥过程中各有机物的变化特征的研究发现,在 C/N 为 10:1 条件下堆肥腐熟程度较好,为污泥小麦秸秆共堆肥进行科学配比提供参考依据。

关键词:城市脱水污泥;秸秆;堆肥;腐熟程度;堆体温度;降解;有机质;胡敏酸;富里酸;变化特征

中图分类号: S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)02-0243-05

城市污泥是城市生活污水和工业废水处理过程中产生的固体沉积物。随着城市污水和工业废水排量逐年增长,城市污泥的处理是当今社会面临的重大问题之一。由于污泥中含有大量的有机质和氮、磷等植物必需的营养元素,响应国家推动关于生态文明建设,坚持节约资源和保护环境的基本国策,着力推进绿色发展、循环发展、低碳发展,城市污泥资源化利用成为污泥处理的有效途径。将城市污泥与小麦秸秆共堆肥能够提高污泥与小麦秸秆利用率,同时能提高污泥在堆肥过程中的腐熟程度。污泥中含有较多病原微生物、有机污染物和多种重金属等有害物质极易造成环境的二次污染,包括有水源污染、土壤重金属化、大气污染(散发恶臭)等一些生物病毒性污染。而污泥经过堆肥化处理不仅能有效地消除污泥所散发出的臭味、杀死病原菌和寄生虫卵、钝化重金属,而且能使部分有机质转化成腐殖质^[1],充分利用污泥有机质含量高的特点将城市污泥与小麦秸秆堆肥获得有机质含量较高的有机肥料,使污泥和秸秆都能达到资源化利用的目的。

目前的相关研究中,晋王强等对甘肃省兰州市城市污泥进行了潜在生态风险评价,得出污泥中 Cu、Zn、Cd、Pb、Ni 等 5 种重金属的含量均低于污泥农用控制标准,污泥潜在生态风险属于低度风险^[2]。闫金龙等在进行城市污泥堆肥过程中通过水溶性有机质(DOM)含量光谱特征分析得出外源加入

生物质碳(如小麦秸秆)堆肥腐熟程度均大于未添加生物质的对照组的结论^[3]。马雪梅的研究表明,可选择添加作物秸秆或微生物发酵剂来改善堆肥腐熟程度,选择添加 5% 小麦秸秆或 5% 玉米秸秆可以增加堆肥的保氮效果,添加 30% 干污泥进行堆肥可用于园林施肥^[4]。许梦等提出了利用蚯蚓堆肥法研究有机废弃物堆肥产品腐熟程度的变化规律,从而寻求二者之间的最佳配比^[5]。

本研究主要采用对比试验的方法,通过调节其质量控制城市污泥与小麦秸秆共堆肥过程的碳氮比(C/N),测定各参照组的有机质含量,找到最适宜的碳氮比实现城市污泥与小麦资源化利用,为探究堆肥腐熟程度最大化提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

本次试验污泥取自河南省洛阳市涧西区污水处理厂,污泥经风干脱水后得到试验所需脱水污泥原料;堆肥调节剂为小麦秸秆。试验脱水污泥的主要理化性质见表 1。

1.2 试验设计

原料准备:通过污水处理厂沉淀,经风干脱水后用小型粉碎机打碎,过 60 目筛。将麦麸与麦秸同样以粉碎机粉碎成粉末状。将 2 种粉碎物混合成堆肥。

根据不同对比试验条件,设置 4 个试验处理组来研究有机质含量的变化。处理 1,将污泥与秸秆按 1:1 质量比混合均匀,C/N 在 6:1 左右;处理 2,污泥和秸秆当中加入了葡萄糖剂调节 C/N 在 10:1 左右;处理 1、2 都加水至混合物成松软块状即可,对比分析葡萄糖对堆肥过程中有机质含量变化影响;处理 3,以小麦秸秆作为调节剂使 C/N 调节至 12:1,即加入风干污泥 500 g,秸秆 300 g,并加水 1 200 mL;处理 4,以

收稿日期:2016-07-27

基金项目:国家自然科学基金(编号:71363054);新疆农业大学产学研联合培养研究生项目(编号:xjaucxy-yjs-20152018)。

作者简介:张琳(1990—),女,河南周口人,硕士研究生,主要从事土地利用与规划研究。E-mail:657726783@qq.com。

通信作者:刘新平,教授,博士生导师,主要从事土地利用管理与生态经济研究。E-mail:lxping16@163.com。

表1 供试污泥的基本理化性质

材料	pH 值	含水量 (%)	有机质含量 (g/kg)	腐殖酸总量 (%)	FA 含量 (%)	HA 含量 (%)	水溶性有机质含量 (%)
污泥	8.0	84.0	447.0	25.0	21.0	4.0	3.3

小麦秸秆作为调节剂使 C/N 调节至 25 : 1, 即加入风干污泥 150 g, 秸秆 300 g, 并加水 800 mL。处理 3、4 对比研究不同 C/N 混合堆肥对于堆肥有机质含量变动影响。

堆肥堆至 33 d, 其间每天固定时间点记录温度变化。本试验分别在 09:00、15:00、21:00 测量堆体温度并且用电子测温计和水银温度计同时记录并取其平均值, 以减少误差, 然后再将每个时间点的温度平均值作为当天的堆体温度, 同时测定当天的气温。然后根据堆体温度变化的不同阶段将堆体堆翻均匀后采样, 将采好的样本放入冰箱内冷藏, 待测, 直至堆肥结束后, 对不同阶段的样本进行有机质等指标含量的测定。

1.3 测定项目和方

有机质含量的测定: 用 $K_2CrO_7 - H_2SO_4$ 容量法在外加热条件下, 235.2 g/L K_2CrO_7 氧化污泥中有机质(碳), 余下的 K_2CrO_7 可以通过 $FeSO_4$ 进行滴定, 根据已消耗的 K_2CrO_7 的量来计算有机碳的量。

腐殖酸总量的测定: K_2CrO_7 容量法测定用焦磷酸钠 ($Na_4P_2O_7$) 碱性溶液作提取剂, 在沸水浴中加热, 冷却, 定容 100 mL 用 0.45 μm 的微孔滤膜真空抽滤浸提液加入 K_2CrO_7 和浓硫酸使浸提出的腐殖酸, 在强酸性溶液中能被 K_2CrO_7 氧化, 摇匀, 沸水浴加热 30 min, 冷却, 加入 80 mL 水, 加入 3 滴邻菲罗啉指示剂, 用 $FeSO_4$ 滴定溶液由黄绿色变为砖红色即为终点, 记录 $FeSO_4$ 的量。腐殖酸总量用以下公式计算:

$$\text{腐殖酸总量} = (V_0 - V) \times C \times 3 \times 10^{-3} \times \text{分取倍数} \times 100 / (m \cdot f) \times 100\% \quad (1)$$

式中: V_0 和 V 分别为空白测定和样品测定所消耗的硫酸亚铁的体积, mL; C 是指硫酸亚铁的浓度, mol/L; 3 为 $(1/4C)$ 原子的摩尔质量, g/mol; m 为称取的土样质量 (g); f 为腐殖酸的含碳量系数 0.58。

FA 含量测定: 用 $Na_4P_2O_7$ 碱性溶液做提取剂, 吸取 0.45 μm 的微孔滤膜真空抽滤浸提液 5 mL, 调节 pH 值至 1.0 ~ 1.5, 用 K_2CrO_7 和浓硫酸氧化, $FeSO_4$ 滴定, 记录 $FeSO_4$ 的量, 计算参照腐殖酸总量含量计算方法得出 FA 含量。

HA 含量测定: 试验得出的腐殖酸总量的含量减去 FA 的含量即为 HA 的含量。

DOM 含量的测定: 用 K_2CrO_7 容量法测定, 称取 0.5 g 左右的土样, 加入蒸馏水作提取剂溶于 50 mL 塑料瓶中, 在 25 $^{\circ}C$ 下 100 r/min 转速振荡 40 min, 用 0.45 μm 的微孔滤膜真空抽滤浸提液加入 235.2 mg/L K_2CrO_7 氧化滤液中水溶性有机质(碳), 剩余的 K_2CrO_7 用 $FeSO_4$ 来滴定, 记录所消耗的 $FeSO_4$ 的量计算公式参照腐殖酸总量含量计算公式得出 DOM 的量。

1.4 试验装置

试验堆肥设备采用自制通风堆置罐, 研制的污泥快速腐熟反应器分为内外 2 层, 必要时夹层可以通过水浴加热, 起到快速堆肥启动, 装置底部设置有通风口和循环水进口, 侧面设置 3 个取样口, 装置顶部为设置温度、湿度和氧含量的传感器和气体的溢流口, 溢流口要求连接恶臭气体净化柱, 装置的有效直径 20 cm, 高度为 25 cm (图 1)。

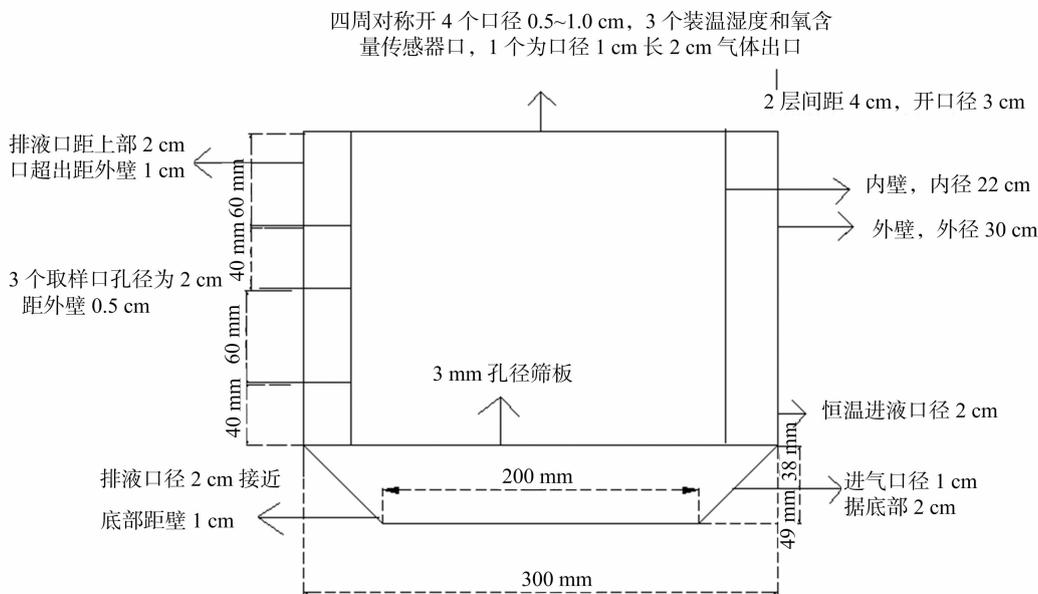


图1 试验堆肥装置示意

2 结果与分析

2.1 C/N 不同条件下堆肥温度的变化

堆肥效果的重要评价指标是温度, 能够在一定程度上能

反映堆肥的进程。堆肥过程中会呈现出升温期、高温期、降温期这 3 个不同的阶段。

从图 2、图 3 可以看出, 堆肥 1 d 后, 4 个处理的堆体温度均呈现迅速上升趋势, 是由于堆体中本身含有大量的微生物,

堆肥初期,堆体内微生物代谢活性增强。在含有大量易分解的有机物质环境条件下嗜热菌等微生物大量繁殖并分解有机质,释放热量。使堆体温度逐渐升高。处理1处理后4 d 21:00时堆体温度达到了最高温度53.9℃,在此之前堆体温度呈上升趋势,在此之后一段时间温度持续保持在50℃以上。在此温度条件下,嗜热菌活性受到限制,甚至造成死亡,但是未影响其繁殖,嗜热菌的繁殖量大大提高,随之使温度达到温度最高点,并在此阶段稳定了一段时间。使堆体中寄生虫和病原菌被杀死,达到无害化标准,形成腐殖质,达到初步的腐熟程度。

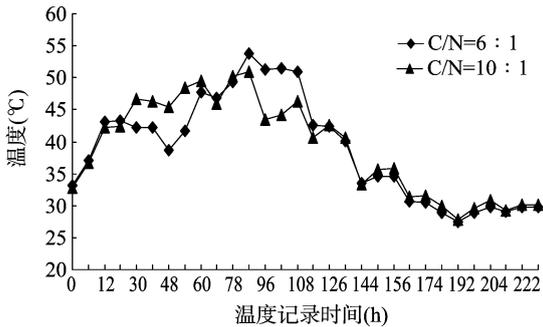


图2 污泥堆肥 C/N 为 6 : 1、10 : 1 时温度变化

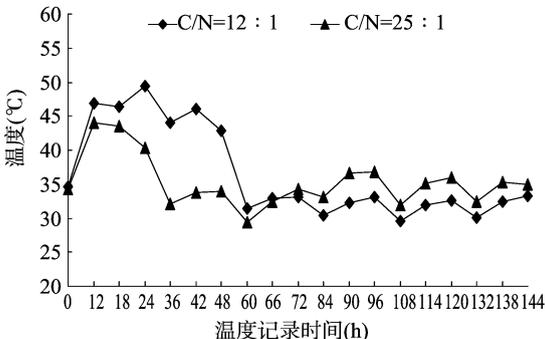


图3 污泥堆肥 C/N 为 12 : 1、25 : 1 时温度的变化

随后是明显降温阶段,堆体温度降至 30℃ 后趋于稳定。此阶段的有机物在初期和中期的堆肥中都已降解,堆肥中不再有能量的堆积再加上堆肥自发的散热使温度逐渐下降。同样处理2也在处理后4 d 21:00时达到最高温度50.9℃,在此之前温度整体也是呈现上升趋势,达到最高温度后开始逐步下降,达到堆体降温阶段后持续保持在30℃左右。而处理4和处理3较为相似,升温较迅速。但处理4高温期持续的时间短,随后逐步开始处于降温阶段。

2.2 堆肥过程中有机质含量的变化

在堆肥进程中,有机质含量的变化反映有机质的降解程度,可用来判断堆肥的腐熟度。从图4、图5可以看出,处理1的有机质含量整体呈现下降趋势,由堆肥初期的447 g/kg下降到堆肥33 d时的435 g/kg,下降了12 g/kg;处理2由堆肥初期的494 g/kg下降至堆肥33 d后的406 g/kg,降幅为88 g/kg;处理3由堆肥初期的574 g/kg下降至堆肥33 d后的490 g/kg,下降了84 g/kg;处理4呈现少量的增加,可能是试验偶然误差,也可能是堆肥形态变化影响了堆肥孔隙度。有机质含量降幅顺序为处理2>处理3>处理1>处理4。表明有机质降解程度与其C/N有关。适宜的C/N即在堆肥中加

入一定量的秸秆有助于增加堆肥的通气性,促进堆肥空气流通使微生物能彻底地分解有机质。加入过多的小麦秸秆即孔隙率过大,而污泥较少,堆肥原料之间的附着性较小、微生物含量少不利于堆体保温使微生物活性较低,不利于有机质的分解。处理2里加入有葡萄糖能够提高微生物活性增大并为微生物繁殖提供养分,加速有机质的分解。

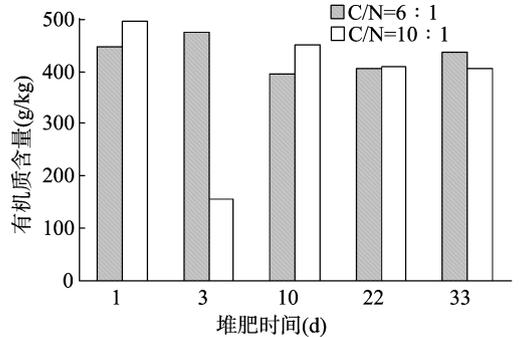


图4 污泥堆肥 C/N 为 6 : 1、10 : 1 时有机质含量变化

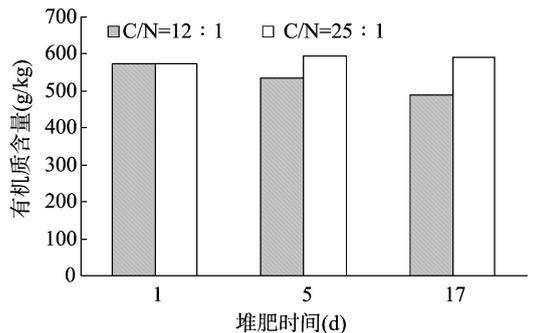


图5 污泥堆肥 C/N 为 12 : 1、25 : 1 时有机质含量变化

2.3 堆肥过程中腐殖酸总量的变化

在堆肥化进程中,有两部分腐殖酸产生:新生成的和演化形成的。从图6、图7可以看出,处理1在腐殖酸逐渐减少,新形成的腐殖酸量和被矿化腐殖酸量相当,腐殖酸总量由25%降至17%,降幅为8个百分点;处理2在第一阶段较多的腐殖酸被微生物矿化腐殖酸总量减少至16%,第二阶段新形成腐殖酸使腐殖酸总量持续升高至26%,第三阶段微生物活性增强使腐殖酸总量逐渐下降至10%;处理3在第一阶段新形成的腐殖酸使总量上升至26%,第二阶段微生物活性增加腐殖酸总量逐渐减少至16%;处理4在第一阶段保持下降趋势,堆肥初期的25%降至23%,降幅为2个百分点。

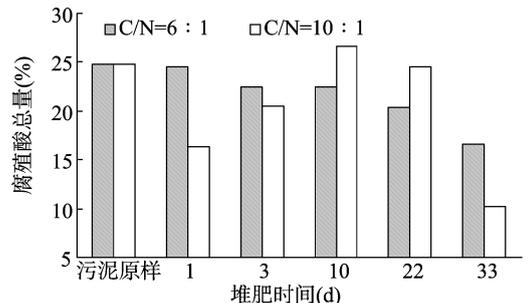


图6 污泥堆肥 C/N 为 6 : 1、10 : 1 时的腐殖酸总量变化

2.4 堆肥过程中 FA 含量的变化

从图8、图9可以看出,堆肥过程中FA含量整体呈下降

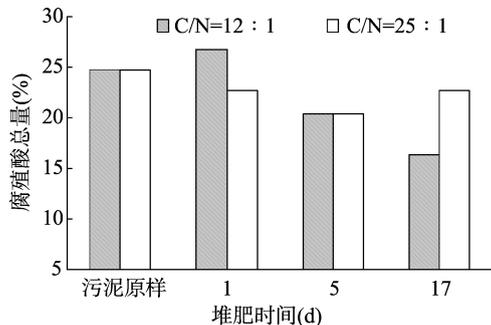


图7 污泥堆肥 C/N 为 12 : 1、25 : 1 时的腐殖酸总量变化

趋势,说明 FA 在堆肥过程中易被分解,并参与微生物代谢活动。图 8 中,处理 1 中 FA 含量先减少后增加最后降至最低点,是因为堆肥期间温度对微生物活性的影响导致微生物对 FA 分解的速度有所改变,使堆肥中的 FA 含量随之改变,最后达到最低值 3%。处理 2 与处理 1 前期的 FA 含量趋势基本一致,处理 2 比处理 1 提前达到 16% 的含量后开始降低至 2%,后期的急剧上升可能与温度导致的微生物活性的变化有关。处理 3 下降至 10% 后逐渐趋于平稳状态,处理 4 整体下降趋势较为平稳,由 21% 逐渐下降到堆肥后期的 8%。

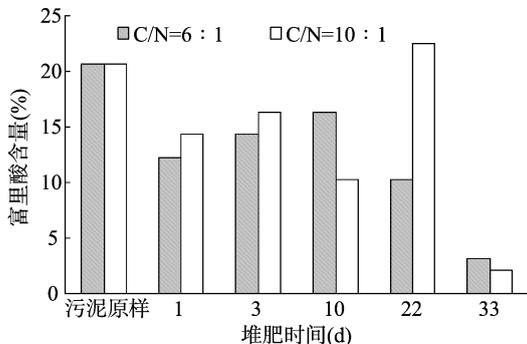


图8 污泥堆肥 C/N 为 6 : 1、10 : 1 时的 FA 的含量变化

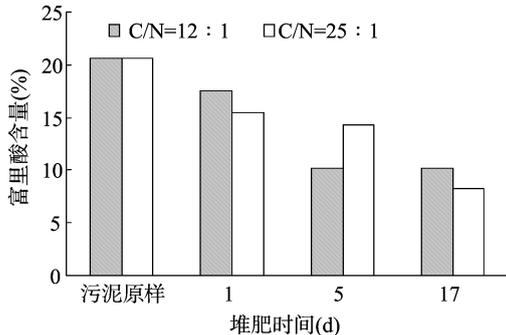


图9 污泥堆肥 C/N 为 12 : 1、25 : 1 时的 FA 含量变化

2.5 堆肥过程中 HA 含量的变化

从图 10、图 11 可以看出,处理 1 中 HA 含量由初始 4%, 增加到堆肥后的 13.4%, 增加了 9.4 百分点;处理 2 中 HA 含量由初始的 4% 增加到堆肥 33 d 后的 8%, 增幅为 4 百分点;处理 3 的 HA 含量由初始的 4% 增加到 6%, 增幅为 2 百分点;处理 4 的 HA 含量由初始的 4% 增加到 14%, 增幅为 10 百分点。堆肥氧化程度较低,总 C、N 含量在堆肥进程中呈减少趋势,而 HA 的相对含量是增加的;由于堆肥初期腐殖酸化学性质不稳定,易被降解使之含量减少,随后由微生物转化生

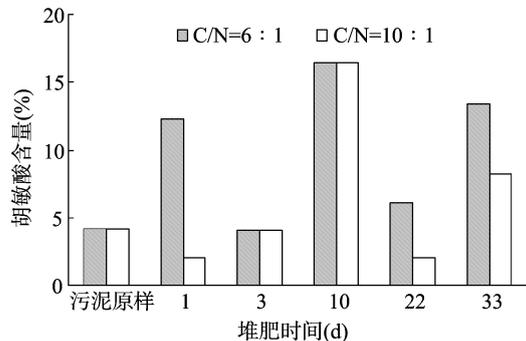


图10 污泥堆肥 C/N 为 6 : 1、10 : 1 时的 HA 含量变化

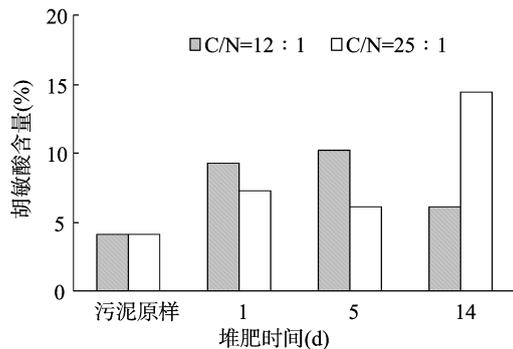


图11 污泥堆肥 C/N 为 12 : 1、25 : 1 时的 HA 含量变化

成性质稳定的腐殖酸使其含量有所增加。

2.6 堆肥过程中 HA/FA 的变化

从图 12、图 13 可以看出,在污泥好氧堆肥过程中,随着时间的延长,4 个处理的 HA 和 FA 含量的比值(H/F)总体呈上升趋势。与污泥原样相比,处理 1、2、3、4 的增幅分别为 4.1、3.8、0.07、1.28。H/F 比值的增加说明腐熟堆肥腐殖化程度的提高。

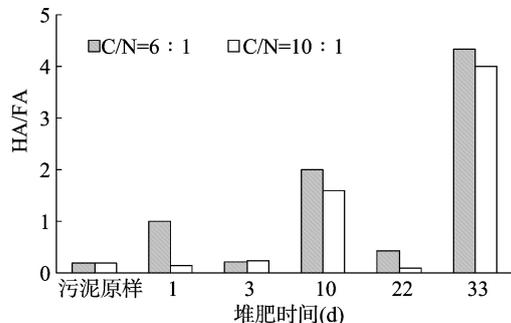


图12 污泥堆肥中 C/N 比为 6 : 1、10 : 1 时 HA/FA 的变化

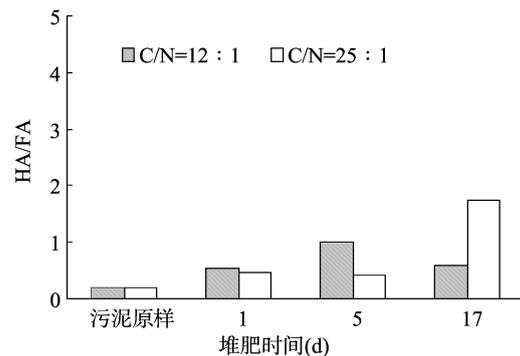


图13 污泥堆肥中 C/N 比为 12 : 1、25 : 1 时 HA/FA 的变化

2.7 污泥堆肥过程中 DOM 含量的变化

从图 14 可以看出,处理 1 可溶性有机质含量先下降,后小幅度上升,降幅为 1.2 百分点;处理 2 较处理 1 中 DOM 的含量升降较为明显,在第 2 次增加时达到 1 个峰值 4.7%,最后减少至 2%,降幅为 2.7 百分点。从图 15 可以看出,处理 3 初期 DOM 含量略微增至 3.3%,后下降至 2.5%,再继续上升至 3.29%;处理 4 堆肥初期的 DOM 含量较高为 3.3%,经过 1 次波动下降至 1.2%,降幅为 2.1 百分点。

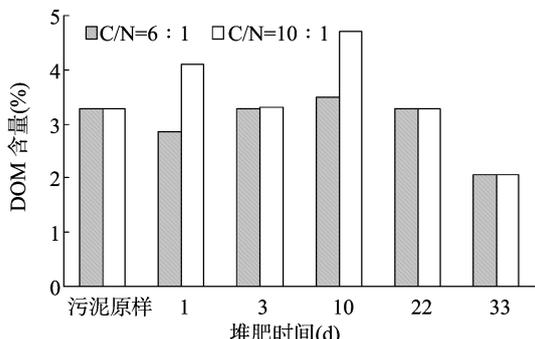


图 14 污泥堆肥 C/N 为 6:1、10:1 时的 DOM 含量变化

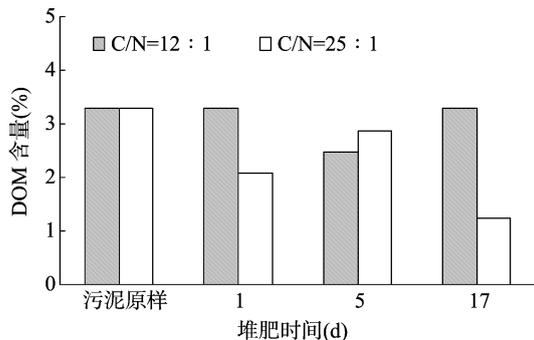


图 15 污泥堆肥 C/N 为 12:1、25:1 时的 DOM 含量变化

3 结论

本研究利用城市污水处理厂沉淀池中污泥与小麦秸秆进行混匀堆肥试验,结果见表 2。随着堆肥的进行,根据不同 C/N 的处理,有机质含量堆肥前后变化不同;本试验的 4 个处理 HA 含量从总体上看均呈逐步上升趋势;FA 含量整体均呈现下降趋势;H/F 呈上升趋势,4 个处理的 H/F 值分别增加了 -4.1、3.8、0.07、1.28,这与康军等的研究结果^[6]一致;DOM 含量在处理 1、2、4 下均减少,降幅在 2 百分点左右,与占新华等的研究结果^[7-8]一致,但处理 3 含量仅增加了 0.01%,很可能是由于试验过程中所存在的误差而导致的。

本试验的好氧堆肥过程中,有机质含量在各堆肥系统中总体呈降低趋势,腐殖酸总量含量均减少。FA 的质量分数和

表 2 堆肥各理化性质含量变化

处理	变化值					DOM 含量 (%)
	有机质含量 (g/kg)	腐殖酸含量 (%)	FA 含量 (%)	HA 含量 (%)	HA/FA	
处理 1	-12.0	-87.0	-18.0	-9.0	-4.10	-1.0
处理 2	-88.0	-6.0	-19.0	+4.0	+3.80	-3.0
处理 3	-84.0	-10.0	-11.0	+2.0	+0.07	-0.01
处理 4	+22.0	-2.0	-13.0	+10.0	+1.28	-2.0

相对质量分数逐渐下降,两者的变化规律较为一致,试验印证了马怀良等“不同 C/N 对堆肥 FA 含量没有影响”的结论^[9]。堆肥过程中 HA 含量总体呈增加趋势,这是因为堆肥初期腐殖酸化学性质不稳定,易被降解使之含量减少,随后由微生物转化生成性质稳定的腐殖酸使其含量有所增加。堆肥过程中 DOM 含量均呈现降低趋势,在 C/N 为 10:1 时分解速率较快,DOM 含量减少了 2.7 百分点。DOM 含量均下降是因为微生物将小麦秸秆的水溶性有机物合成为其他物质,一是直接进入腐殖质中,二是以芳香分子的形式存在。本研究表明 C/N 在 10:1 条件下,堆肥腐熟程度较好,污泥品质较高。

参考文献:

- [1] 李艳霞,陈同斌,罗 维,等. 中国城市污泥有机质及养分含量与土地利用[J]. 生态学报,2003,23(11):2464-2474.
- [2] 晋王强,南忠仁,王胜利,等. 兰州市城市污水处理厂污泥中重金属形态分布特征与潜在生态风险评价[J]. 农业环境科学学报,2010,29(6):1211-1216.
- [3] 闫金龙,江 韬,赵秀兰,等. 含生物质炭城市污泥堆肥中溶解性有机质的光谱特征[J]. 中国环境科学,2014,34(2):459-465.
- [4] 马雪梅. 兰州城市生活污泥堆肥技术研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2013.
- [5] 许 梦,李 旭,丁鸿弼,等. 蚯蚓堆置对农业和城市有机废弃物堆肥产品腐熟度的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(6):356-359.
- [6] 康 军,张增强,贾 程,等. 污泥好氧堆肥过程中有机质含量的变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(6):118-124.
- [7] 占新华,周立群,黄焕忠. 城市污泥堆肥中水溶性有机物的理化特性的变化[J]. 中国环境科学,2003,23(4):390-394.
- [8] Said - Pullicino D, Enriquets F G, Gigliotti G. Changes in the chemical characteristics of water - extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity[J]. Bioresource Technology,2007,98(9):1822-1831.
- [9] 马怀良,修 宏. 不同 C/N 对堆肥腐殖酸的影响[J]. 中国土壤肥料,2009(6):64-66.