

水分含量对水葫芦渣堆肥进程及温室气体排放的影响*

施林林^{1,2} 沈明星^{1,2} 常志州^{2,3**} 王海侯^{1,2} 陆长婴^{1,2}
陈凤生^{1,2} 宋 浩^{1,2}

(1. 江苏太湖地区农业科学研究所 苏州 215155; 2. 农业部苏州水稻土生态环境重点野外科学观测试验站
苏州 215155; 3. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所 南京 210014)

摘 要 水葫芦经挤压处理后, 容积减小、干物质含量提高, 利于堆肥生产, 但目前缺乏相关堆肥条件的研究。本文通过水稻秸秆与水葫芦渣以不同比例混合来调节堆体水分, 探讨在 65%、70%、75%、80% 水分条件下堆肥效果及环境影响, 以获得堆肥的最优水分条件。本试验为静态堆肥, 动态监测堆体温度、pH 值、碳氮养分和温室气体。结果表明, 水分对堆体 pH、胡敏酸(堆肥 7 d)、富里酸无显著影响, 对温度、水溶性碳、胡敏酸(堆肥 50 d)、凯氏氮、硝态氮、铵态氮影响显著。其中 75% 水分处理升温能力最佳, 堆肥 6 d 即达最高堆温(53.4 °C); 50 d 时其凯氏氮、硝态氮、铵态氮显著高于 65% 和 70% 的水分处理($P < 0.05$); 75% 水分处理堆肥 50 d 与 7 d 相比, 凯氏氮降低最多(21.1%), 硝态氮增加最多(434%), 铵态氮降低幅度最小(14.1%)。水分对 CH_4 的产生无显著影响; 但高水分促进 CO_2 和 N_2O 排放, 75% 水分处理的 CO_2 排放能量最高, 是其他处理的 1.9~2.5 倍, 80% 水分处理的 N_2O 排放通量最高, 是其他处理的 3.9~23.1 倍。综合考虑, 水稻秸秆与水葫芦渣混合堆肥, 堆体水分为 75% 较为适宜, 能兼顾堆肥效率、品质和环境效益。

关键词 水分含量 水葫芦渣堆肥 养分动态 温室气体

中图分类号: S19 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2012)03-0337-06

Effect of water content on composition of water hyacinth *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms residue and greenhouse gas emission

SHI Lin-Lin^{1,2}, SHEN Ming-Xing^{1,2}, CHANG Zhi-Zhou^{2,3}, WANG Hai-Hou^{1,2}, LU Chang-Ying^{1,2},
CHEN Feng-Sheng^{1,2}, SONG Hao^{1,2}

(1. Institute of Agricultural Sciences in Taihu Lake District, Suzhou 215155, China; 2. Key Scientific Observation & Experiment Station of Paddy Field Eco-environment, Ministry of Agriculture, Suzhou 215155, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract Although, residue of water hyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, is better compost because it has a smaller volume and a higher dry matter content after being extruded, not much research exists on it. To determine suitable compost water content of water hyacinth, an experiment that focused mainly on the effects of water on compost and environment factors was conducted. Static compost piles were set at 65%, 70%, 75%, and 80% water content through controlling mixing proportion of water hyacinth residue and rice straw. The temperature, pH, carbon, nitrogen and greenhouse gas of the composts were determined. The results showed that pH, humic acid (after composting for 7 d) and fulvic acid contents of the compost were not significantly affected ($P > 0.05$) by water content. However, temperature, Kjeldahl-N, soluble carbon, humic acid (after composting for 50 d), nitrate-N and ammonium-N were significantly affected ($P < 0.05$) by water content of the compost. The 75% water content treatment was especially attractive in temperature-rising of the composts and reached the highest temperature of 53.4 °C just after 6 d. On the 50th d, the Kjeldahl-N, nitrate-N and ammonium-N of the 75% water content treatment were higher ($P < 0.05$) than those of 65% and 70% water content treatments. Compared with at the 7th d under the 75% water content treatment, at the 50th d, Kjeldahl-N content decreased by 21.1% (the highest change), nitrate-N increased by 434% (the highest change), and ammonium-N decreased by 14.1% (the lowest

* 国家科技支撑计划课题(2009BAC63B02)、江苏省农业科技自主创新资金项目[ex(10)228]和苏州市科技支撑计划项目(SS201025)资助

** 通讯作者: 常志州(1957—), 男, 硕士, 研究员, 研究方向为农业废弃物资源化利用工程技术。E-mail: czhizhou@hotmail.com

施林林(1982—), 男, 助理研究员, 主要从事农业资源与环境研究。E-mail: linn.shih@gmail.com

收稿日期: 2011-07-12 接受日期: 2011-10-18

change). Although no significant differences in CH_4 emission fluxes among the water content treatments were noted, differences in N_2O and CO_2 emission fluxes were pronounced. N_2O emission flux in 80% water content treatment was 3.9~23.1 times higher than in other treatments. CO_2 flux in 75% water content treatment was 1.9~2.5 times higher than in other treatments. The study therefore suggested that using water hyacinth residue and rice straw compost at 75% water content was the best in terms of compost efficiency and quality better in the term of environment.

Key words Water capacity, Water hyacinth residue compost, Nutrition dynamic, Greenhouse gas

(Received Jul. 12, 2011; accepted Oct. 18, 2011)

水葫芦 [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms] 是一种原产于热带美洲的水生植物, 其根系发达, 分蘖繁殖快, 作为入侵生物容易过度生长而造成生态灾难^[1-2]。但水葫芦也能给环境治理带来机遇^[3], 近三十年来, 许多文献报道了利用水葫芦成功处理工农业及生活污水^[4-7], 净化湖泊水质^[8]。但无论是水葫芦的过度繁殖, 或是人工栽种解决环境问题, 大量的水葫芦残体必须得到合理、有效处置, 否则易造成环境的次生污染^[9]。

目前水葫芦的资源化利用具有多元化特征^[10], 如利用水葫芦生产沼气^[11-12]、生物酒精^[13]、生物堆肥^[14]、动物饲料^[15]等。其中利用水葫芦进行堆肥是重要处理手段之一, 具有技术门槛低、经济效益好、易于实施等特点。但由于新鲜水葫芦水分含量高达 95% 左右, 传统方法通常需要先在水葫芦摊开晾晒, 这一过程不仅耗费工时, 也需要大面积场地, 导致生产效率低下, 制约了技术的推广。而利用机械打捞、机械挤压脱水得到的水葫芦渣, 水分降低至 88% 左右, 为避开晾晒直接进行堆肥化处理提供可能。但由于我国近期才开始大规模生产水葫芦渣, 因此直接利用水葫芦渣堆肥的研究尚处于起步阶段。本文通过利用水稻秸秆调节水葫芦渣堆体水分含量, 比较在不同水分处理条件下堆肥效率、品质和对环境的影响, 以期获得适宜的堆体水分, 为水葫芦资源化利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与堆肥方式

水葫芦采自太湖竺山湖控制性种养基地, 水葫芦幼苗于 2009 年 5—6 月份种植于水面, 自然生长至 9 月, 用打捞船机械打捞。将打捞新鲜水葫芦切割至长度小于 5 cm, 再经螺旋式挤压机固液分离, 获得含水率为 88% 的水葫芦挤压渣。水稻秸秆于

2008 年 10 月份采自太湖地区农业科学研究所试验田, 试验所用部分为除稻穗外的地上部, 水稻秸秆经晒干后切割成 5~7 cm 长备用, 水葫芦与稻草理化性状见表 1。

堆肥试验于 2009 年 9 月 15 日—11 月 9 日进行, 场所为江苏太湖地区农业研究所玻璃温室, 玻璃温室面积为 12 m², 高度为 2.8 m, 水泥地面并铺设排水沟。通过调节水葫芦挤压渣和稻草混合比例控制堆体水分: 60% 处理加水葫芦渣 73.9 kg, 水稻秸秆 26.1 kg, 初始堆体长×宽×高=108 cm×64.5 cm×53 cm; 70% 处理加水葫芦渣 79.5 kg、水稻秸秆 20.5 kg, 初始堆体长×宽×高=181 cm×103 cm×42 cm; 75% 处理加水葫芦渣 90.9 kg、水稻秸秆 9.1 kg, 初始堆体长×宽×高=160 cm×70 cm×45 cm; 80% 处理加水葫芦渣 96.6 kg、水稻秸秆 3.4 kg, 初始堆体长×宽×高=150 cm×80 cm×37 cm。为保证堆体有足够体积利于升温与保温, 将同一水分处理并排堆放形成大堆。每 7 d 通过烘干法测定堆体含水率, 加入定量自来水补充堆体水分。并在堆体温度明显下降时, 采取人工翻堆处理, 分别在 14 d、26 d、37 d 和 47 d 翻堆。

1.2 堆肥取样与测定方法

将长 50 cm 水银温度计插入堆体前后左右四面, 每面对角线中心深 20 cm 处, 每天上午 9:00 与下午 15:00 读取温度。每隔 7 d 在堆体上表面深 20 cm 处随机分 3 点取样 500 g 并混匀, 所取堆肥样在 60 ℃ 条件下烘 24 h, 之后粉碎过 0.5 mm 筛备用。

pH 测定: 直接取新鲜堆肥样品放入 200 mL 广口塑料瓶中, 按 1:10(w/v) 加入去离子水, 25 ℃ 振荡 30 min, pH 计测定。

铵态氮与硝态氮测定: 称取 10 g 过筛堆肥样品入 200 mL 塑料瓶, 加入 100 mL 2 mol·L⁻¹ KCl, 在 25 ℃ 条件下 150 r·min⁻¹ 振荡 30 min 后过滤, 将滤液移入凯氏瓶, 加入 MgO 蒸馏, 硼酸指示剂吸收 NH_3 ,

表 1 堆肥材料理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of compost materials

堆肥材料 Compost materials	有机碳 Organic carbon (g·kg ⁻¹)	凯氏氮 Kjeldahl-N (g·kg ⁻¹)	碳氮比 Ratio of carbon to nitrogen	含水率 Water content (%)	灰分 Ash (%)
水葫芦渣 Water hyacinth residue	481.63±3.57	29.13±0.88	16.5	88±0.02	7.87±0.60
水稻秸秆 Rice straw	506.65±7.03	10.55±0.23	48.0	13±0.10	14.05±0.27

0.01 mol·L⁻¹ H₂SO₄ 滴定硼酸指示剂, 并计算 NH₄⁺-N^[16]。同时取上述浸提液 2 mL, 加入 1 mL 2 mol·L⁻¹ HCl, 用去离子水补充至 50 mL, 4 500 r·min⁻¹ 离心 5 min, 所得脱色浸提液以紫外分光光度法测定 NO₃⁻-N^[17]。

堆肥凯氏氮测定: 称取 0.25 g 过筛堆肥样品, 加入浓 H₂SO₄ 与硒粉混合加速剂消煮, 消煮液定容后, 用凯氏定氮仪测定^[16]。

堆体有机碳测定: 称取 0.10~0.20 g 过筛堆肥样品, 加入浓硫酸与重铬酸钾 170 °C 煮沸 5 min, 并用 FeSO₄ 滴定, 氧化校正系数取 1.08^[16]。

水溶性碳、胡敏酸、富里酸测定: 称取过筛堆肥样品 5.00 g 于 100 mL 离心管中, 加入 30 mL 去离子水在 70 °C 条件下恒温水浴振荡 1 h, 并 5 000 r·min⁻¹ 离心 10 min, 上清液过滤至 50 mL 容量瓶定容, 此溶液可用来测定水溶性碳。同时将上述离心管中残渣加入 30 mL 0.1 mol·L⁻¹ NaOH 和 0.1 mol·L⁻¹ Na₄P₂O₇ 混合液, 搅匀在 70 °C 下恒温振荡提取 1 h, 5 000 r·min⁻¹ 离心 10 min, 上清液定容至 50 mL, 此溶液可用来测定提取腐殖物质。吸取上述碱提取液 30 mL, 加入 H₂SO₄ 调节 pH 为 1.0~1.5, 在 70 °C 下保温 2 h, 静置过夜, 生成胡敏酸沉淀, 滤液为富里酸, 将滤液定容。滤纸上的胡敏酸沉淀用 60 °C 0.05 mol·L⁻¹ NaOH 溶解入 50 mL 容量瓶中, 并定容, 即为胡敏酸含量。溶液中水溶性碳、富里酸和胡敏酸均采用硫酸-重铬酸钾氧化法测定^[18]。

温室气体测定: 采样为静态箱法, 箱体体积 0.012 m³, 箱底面积 0.04 m²。将采样箱底座嵌入堆体上表面, 采样箱盖入底座后用水进行液封。采样时间为每天早上 9:00—10:00, 取气体前先取环境空气作为对照, 每个箱体盖上底座保持 30 min 后取气体样品, 并装入铝箔气样袋中保存, 每个处理重复 3 次。气体分析采用气相色谱仪(Agilent 7890A), CO₂、CH₄ 由 FID 检测, N₂O 由 ECD 检测。并按以下公式

计算温室气体排放强度^[19]: $F = \rho \times V \times dC \times 273 / [S \times dt \times (273 + T)]$, 其中 F 为被测气体的排放强度[mg·h⁻¹·m⁻²], ρ 为被测气体在标准状态下的密度(CO₂ 为 1.977 kg·m⁻³, CH₄ 为 0.717 kg·m⁻³, N₂O 为 1.978 kg·m⁻³), V 为采样箱的内部容积(m³), dC/dt 为采样箱内被测气体的浓度变化率, T 为采样过程中采样箱内的平均温度(°C), S 为采样箱底部横截面积(m²)。

1.3 数据统计与分析

采用单因素方差分析, 多重比较采用 LSD 法, 显著水平取 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 堆体温度与 pH 变化

在整个堆肥过程中, 0~14 d 各处理堆体温度较高(图 1a), 各处理平均堆温均不低于 39.7 °C, 高出环境温度 10 °C 以上; 在 6 d 时堆体温度达到最高, 其中 75% 处理堆体温度最高(53.4 °C), 其余水分处理堆体温度维持在 44.4~46.6 °C 之间。在堆体温度明显下降后立即进行人工翻堆, 其中 14 d、26 d、37 d 翻堆能迅速提高堆体温度, 以 14 d 翻堆的温度升高最为明显, 各处理堆体温度在 72 h 内从平均 34.1 °C 回复至平均 42.3 °C 以上。各处理堆体温度在 48 d 后持续降低, 翻堆不再有效果, 各处理堆体温度与环境温度同步, 此时认为整个堆肥过程结束。

在整个堆肥过程中, 各处理堆体 pH 均持续升高, 在 13 d 达到高峰(图 1b), 其中 80% 处理 pH 最高, 为 8.12, 其次由高到低分别为 75%、70%、65% 处理。堆肥 14 d 翻堆, 各处理堆体 pH 值降低, 15 d 再次升高, 15 d 后各处理堆体 pH 稳定在 7.88~8.20。

2.2 堆肥过程中碳氮养分动态变化

2.2.1 堆体碳养分变化

由表 2 可知, 堆肥 7 d 65% 与 70% 处理堆体有机碳含量高于 75% 与 80% 处理, 50 d 各处理间有机碳无显著差异。堆肥 50 d 与 7 d 相比, 各处理有机碳

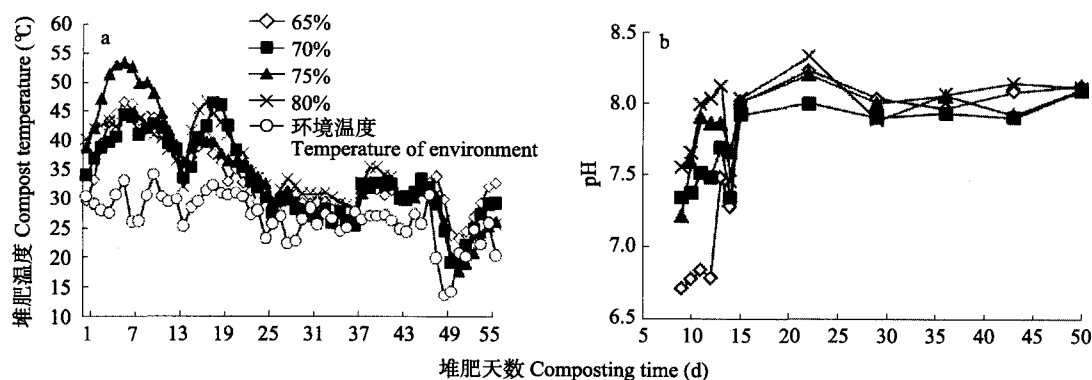


图1 不同水分处理条件下水葫芦渣堆肥过程中堆体温度(a)和 pH(b)动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of temperature (a) and pH (b) during the water hyacinth residue compost under different water conditions

表 2 不同水分处理条件下水葫芦渣堆肥过程中堆体碳养分变化
Table 2 Changes of carbon nutrition during the water hyacinth residue compost under different water conditions

水分处理 Water content treatment	有机碳 Organic carbon (g·kg ⁻¹)		水溶性碳 Soluble carbon (mg·kg ⁻¹)		胡敏酸 Humic acid (mg·kg ⁻¹)		富里酸 Fulvic acid (mg·kg ⁻¹)	
	7 d	50 d	7 d	50 d	7 d	50 d	7 d	50 d
65%	361.07a	345.47a	27.07a	19.14a	28.08a	41.52a	22.01a	12.51a
70%	346.56b	333.46a	21.72b	15.90b	25.95a	32.57b	18.06a	15.88a
75%	343.30b	333.70a	18.47c	16.13b	30.75a	37.05b	17.75a	14.20a
80%	353.71b	334.85a	16.77c	15.41b	28.06a	36.79b	19.03a	17.83a

同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05) Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

均显著(P<0.05, 下同)降低, 65%处理有机碳降低 4.3%, 70%处理降低 3.7%, 75%处理降低 2.7%, 80%处理降低 5.3%。

堆肥 7 d 与 50 d 65%处理水溶性碳含量均显著高于其他处理, 7 d 65%处理水溶性碳比 80%处理高 10.03 mg·kg⁻¹, 50 d 其水溶性碳比 80%处理高 3.73 mg·kg⁻¹。不同处理堆体 50 d 与 7 d 相比, 水溶性碳均显著降低, 其中 65%处理堆体水溶性碳降低 29.3%, 70%处理降低 26.7%, 75%处理降低 12.7%, 80%处理降低 8.1%。

堆肥 7 d 不同处理间胡敏酸含量无显著差异, 50 d 65%处理堆体胡敏酸显著高于其他处理。不同处理堆体 50 d 与 7 d 相比, 各处理胡敏酸显著增加, 其中 65%处理胡敏酸增加 47.9%, 70%处理增加 25.5%, 75%处理增加 20.5%, 80%处理增加 31.1%。7 d 与 50 d 不同水分处理堆体间富里酸含量均无显著差异, 但不同处理堆体 50 d 与 7 d 相比, 各处理富里酸显著降低, 65%处理降低 43.1%, 70%处理降低 12.1%, 75%处理降低 20.0%, 80%处理降低 6.3%。

2.2.2 堆体氮素养分变化

由图 2a 可知, 堆肥 7 d 75%与 80%处理堆体凯氏氮含量显著高于 65%与 70%处理。0~29 d 各处理凯氏氮含量逐渐升高, 29 d 达到峰值, 80%处理凯氏氮最高, 是 65%的 1.3 倍。之后各处理凯氏氮持续降低, 但 50 d 时 75%与 80%处理仍显著高于 65%与 70%处理。50 d 与 7 d 不同处理凯氏氮相比, 65%与 70%处理凯氏氮分别降低 12.4%和 10.5%, 75%与 80%处理分别降低 21.1%和 15.1%。

由图 2b 可知, 堆肥过程中各处理 NO₃⁻-N 比 NH₄⁺-N 高一个数量级, 不同处理 NO₃⁻-N 均持续增高, 而 NH₄⁺-N 却先降低后上升。

堆肥 7 d 不同处理硝态氮平均值为 1.86 g·kg⁻¹, 65%处理显著高于其他处理(图 2b)。堆肥 50 d 后各处理堆体硝态氮平均含量为 7.76 g·kg⁻¹, 80%与 75%处理堆体硝态氮显著高于 65%与 70%处理。各处理间硝态氮堆肥 50 d 与 7 d 相比, 65%与 70%处理硝态氮分别增加 120%和 321%, 75%与 80%处理硝态氮分

别增加 434%和 612%。
堆肥 7 d 不同处理铵态氮平均为 0.52 g·kg⁻¹, 75%处理铵态氮显著高于其他处理(图 2c)。在堆肥 0~29 d 各处理铵态氮持续降低, 29 d 平均为 0.17 g·kg⁻¹, 之后各处理铵态氮持续升高, 50 d 各处理铵态氮平

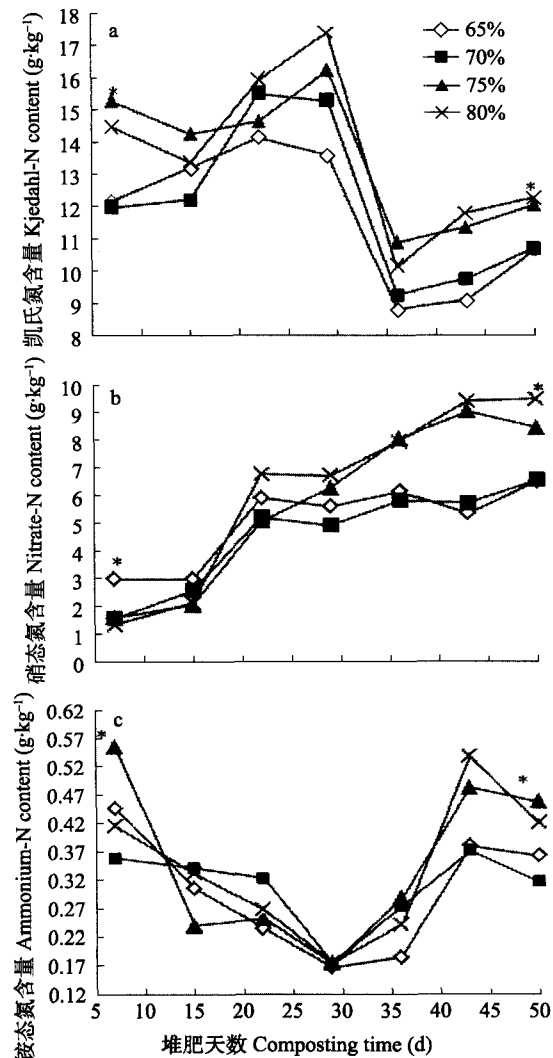


图 2 不同水分处理水葫芦渣堆肥过程堆体凯氏氮(a)、硝态氮(b)和铵态氮(c)含量的变化
Fig. 2 Dynamic changes of the Kjeldahl-N (a), nitrate-N (b) and ammonium-N (c) of the water hyacinth residue compost under different water conditions
表示 0.05 水平显著差异, 下同。 “” presents significant difference at 0.05 level. The same below.

均为 $0.39 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 75%处理显著高于其他处理。各处理铵态氮堆肥 50 d 与 7 d 相比, 65%处理堆体铵态氮降低 27.6%, 70%处理降低 17.0%, 75%处理降低 14.1%, 80%处理降低 36.8%。

2.3 堆肥过程温室气体排放

由图 3 可知, 在水葫芦堆肥过程中, CO_2 的排放主要集中在堆肥 0~22 d, 7 d 是 CO_2 排放高峰, 其中, 75%处理堆体 CO_2 排放通量是其他处理的 1.9~2.5 倍, 堆肥 29 d 后各处理堆体无明显 CO_2 排放。

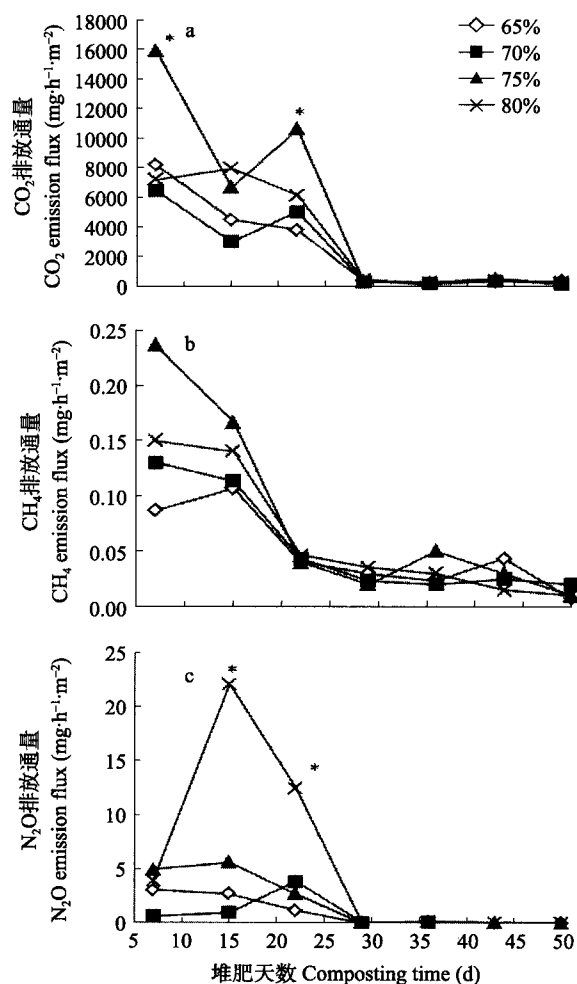


图 3 不同水分条件下水葫芦渣堆肥过程堆体 CO_2 (a)、 CH_4 (b)和 N_2O (c)排放通量的变化

Fig. 3 Dynamic changes of CO_2 (a), CH_4 (b) and N_2O (c) flows during water hyacinth residue compost under different water content conditions

高, 其 N_2O 排放通量是其他处理的 3.9~23.1 倍, 22 d 时 N_2O 通量是其他处理的 3.2~10.8 倍。在整个堆肥期 65%、70%、75%处理间 N_2O 排放通量无显著差异, 且堆肥 29 d 后各处理堆体无明显 N_2O 排放。

3 讨论

在堆肥前期(0~15 d), 各处理堆体温度较高, 证明直接利用水葫芦渣堆肥是可行的; 但也表现出不一样升温效率, 这可能是本试验中利用水稻秸秆调整堆体水分, 同时也调节了堆体碳氮比、孔隙度等堆肥参数。试验结果表明, 75%处理堆体升温能力最佳, 表现出较好的堆肥效果。

堆体 pH 在 0~14 d 的快速升高与堆体有机材料分解产氨有关, 在 14 d 翻堆后大量氨气的挥发^[20]可能是导致堆体 pH 降低的因素之一, 同时由于试验堆体是敞开式设计, 并人工翻堆, 因此在本试验中无法准确测量氨气损失。各处理 pH 15 d 后保持稳定, 且变化趋势基本一致, 说明 65%~80%的水分对堆肥 pH 无显著影响。

许多研究表明一般堆肥过程中水溶性碳、富里酸随腐熟度提高逐步降低^[21], 胡敏酸则逐步升高, 本试验水溶性碳、富里酸和胡敏酸含量变化结果与之相符合。堆肥结束(50 d)时, 各处理间除 65%处理水溶性碳和胡敏酸显著高于其他处理外, 其他处理间水溶性碳、富里酸和胡敏酸均无显著差异, 这表明 65%~80%水分梯度可能并不是影响堆肥腐殖品质的主要因素。同时各处理堆肥前后(50 d 与 7 d)水溶性碳、富里酸和胡敏酸含量降低与升高幅度有显著差异, 低水分处理水溶性碳和胡敏酸降低幅度更大, 胡敏酸增高幅度也更大, 原因也是由于各处理间不同水分梯度是通过调节水稻秸秆与水葫芦渣混合比例构成, 而水分梯度调节的同时也影响了堆体碳氮比、温度和碳氮含量等因素。

堆肥氮含量水平是衡量肥料品质的关键指标, 其中凯氏氮可作为有机肥总有机氮量的有效参考。堆肥过程中各处理堆体凯氏氮变化相似, 其含量变化与堆肥进程密不可分。其中 75%与 80%处理在堆肥结束时堆体凯氏氮较高, 但同时 75%处理堆体凯氏氮损失率也最高, 为 21.1%。其原因一方面是由于水葫芦渣含氮水平较高($29.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 另一原因是 75%处理堆温最高, 在微生物的影响下, 有机氮向无机氮的转化效率也相对较高。

堆肥硝态氮与铵态氮作为速效养分, 堆肥后 75%与 80%处理含量较高, 其中 75%处理堆体硝态氮增加量略低于 80%处理, 硝态氮增加主要原因是高水分处理凯氏氮更高, 作为硝化底物的有机氮源

CH_4 与 CO_2 的排放规律类似, 堆体 CH_4 排放集中在堆肥 0~22 d, 其中 7 d CH_4 排放通量最大, 但各处理 CH_4 排放通量无显著差异, CH_4 排放通量平均值从大到小依次为 75%处理>80%处理>65%处理>70%处理, 且堆肥 22 d 后各处理无明显 CH_4 排放。

堆肥过程中 N_2O 排放主要为 0~22 d。其中 80%处理排放最为显著, 15 d 时 80%处理的 N_2O 排放最

更多,硝化作用也更强,利于堆肥后熟。同时 75%处理铵态氮降低比例最低,表明 75%处理有利于减少铵态氮损失,并能提高堆肥品质。

堆体温室气体的排放与堆体温度、 O_2 含量、碳氮含量及比例均有关。本试验各处理 CO_2 排放与堆体温度变化吻合,75%处理堆温最高, CO_2 排放通量也最大,说明 75%处理堆体碳氮含量及比例、 O_2 含量等条件均较为适合微生物的快速繁殖。而各处理 CH_4 排放主要集中在堆温较高时期,说明微生物大量快速繁殖不但产生了能量,也消耗了堆体大量 O_2 ,为产 CH_4 菌的活动提供了条件。各处理间 CH_4 排放通量无显著差异,说明水葫芦渣与水稻秸秆作为堆肥材料较为疏松,不易产生厌氧状态。

堆体 N_2O 的排放主要通过微生物硝化与反硝化作用, O_2 含量是关键决定因素。本试验中,80%处理 N_2O 排放水平最高,75%处理次之,原因是高水分处理堆体透气性差, O_2 含量低,堆体通过微生物反硝化产生 N_2O 。 N_2O 排放高峰没有出现在堆温最高时期(6~7 d),原因是高温抑制反硝化细菌的活力。同时水葫芦渣堆肥 N_2O 不是主要来自于硝化作用,原因是 29 d 后各处理硝态氮大幅增加,硝化作用强烈,却没有观测到 N_2O 产生。总体来看,与其他堆肥材料相比,水葫芦渣堆肥温室气体排放较低,水分条件主要影响水葫芦渣堆肥 N_2O 排放,应避免高水分堆肥,提高堆体供 O_2 水平。

4 结论

利用水稻秸秆与水葫芦渣混合堆肥,避免了水葫芦直接堆肥中容积过大,干物质含量低的不利影响,解决了水葫芦生物质处理及通过堆肥资源化利用的实际生产问题。研究表明,65%~80%水分梯度对堆肥 pH、水溶性碳、富里酸、胡敏酸和 CH_4 等指标影响不显著,而对堆体温度和凯氏氮、硝态氮、铵态氮、 CO_2 、 N_2O 含量影响显著,综合堆肥效率、品质与环境影响考虑,水稻秸秆与水葫芦渣混合堆肥,水分应控制在 75%较为适宜。

参考文献

- [1] Chu J J, Ding Y, Zhuang Q J. Invasion and control of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in China[J]. Journal of Zhejiang University Science, 2006, 7(8): 623-626
- [2] Lu J B, Wu J G, Fu Z H, et al. Water hyacinth in China: A sustainability science-based management framework[J]. Environmental Management, 2007, 40(6): 823-830
- [3] Malik A. Environmental challenge vis a vis opportunity: The case of water hyacinth[J]. Environment International, 2007, 33(1): 122-138
- [4] Jayaweera M W, Kasturiarachchi J C. Removal of nitrogen

- and phosphorus from industrial wastewaters by phytoremediation using water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)[J]. Water Science and Technology, 2004, 50(6): 217-225
- [5] El Zawahry M M, Kamel M M. Removal of azo and anthraquinone dyes from aqueous solutions by *Eichhornia crassipes*[J]. Water Research, 2004, 38(13): 2967-2972
- [6] Mahamadi C, Nharingo T. Utilization of water hyacinth weed (*Eichhornia crassipes*) for the removal of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) from aquatic environments: An adsorption isotherm study[J]. Environmental Technology, 2010, 31(11): 1221-1228
- [7] Chen X, Wan X X, Weng B W, et al. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) waste as an adsorbent for phosphorus removal from swine wastewater[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(23): 9025-9030
- [8] Sabale S, Jadhav V, Jadhav D, et al. Lake contamination by accumulation of heavy metal ions in *Eichhornia crassipes*: A case study of Rankala Lake, Kolhapur (India)[J]. Journal of Environmental Science and Engineering, 2010, 52(2): 155-156
- [9] Greenfield B K, Siemering G S, Andrews J C, et al. Mechanical shredding of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): Effects on water quality in the Sacramento-San Joaquin River Delta, California[J]. Estuaries and Coasts, 2007, 30(4): 627-640
- [10] 徐祖信, 高月霞, 王晟. 水葫芦资源化处置与综合利用研究评述[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 201-205
- [11] Singhal V, Rai J P N. Biogas production from water hyacinth and channel grass used for phytoremediation of industrial effluents[J]. Bioresource Technology, 2003, 86(3): 221-225
- [12] 何加骏, 严少华, 叶小梅, 等. 水葫芦厌氧发酵产沼气技术研究进展[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(3): 359-362
- [13] Aswathy U S, Sukumaran R K, Devi G L, et al. Bio-ethanol from water hyacinth biomass: An evaluation of enzymatic saccharification strategy[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(3): 925-930
- [14] 王海候, 沈明星, 常志州, 等. 水葫芦高温堆肥过程中氮素损失及控制技术研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(6): 1214-1220
- [15] 白云峰, 周卫星, 严少华, 等. 水葫芦青贮饲喂羊的育肥效果[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(5): 1108-1110
- [16] 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, 2000
- [17] Tanner M. Nitrogen in co-compost and other chemical compost analyses[EB/OL]. 2003. http://www.tempest.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/publikationen/publications_swm/downloads_swm/report-cocomposting-martin-tanner.pdf
- [18] 王玉军, 窦森, 张晋京, 等. 农业废弃物堆肥过程中腐殖质组成变化[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(8): 79-81
- [19] 陆日东, 李玉娥, 石锋, 等. 不同堆放方式对牛粪温室气体排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3): 1235-1241
- [20] 郑瑞生, 封辉, 戴聪杰, 等. 碳氮比对堆肥过程 NH_3 挥发和腐熟度的影响[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(9): 59-63
- [21] 李吉进, 郝晋珉, 邹国元, 等. 高温堆肥碳氮循环及腐殖质变化特征研究[J]. 生态环境, 2004, 13(3): 332-334