

餐厨垃圾堆肥有机碳氮元素的变化

何 雷

同济大学, 环境科学与工程学院污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海

收稿日期: 2022年4月30日; 录用日期: 2022年5月31日; 发布日期: 2022年6月8日

摘 要

餐厨垃圾是居民生活生产所产生的固体废物垃圾。由于城市化的迅速发展, 居民生活水平不断提高, 人口的快速增长也提高了食品的消费速率, 餐厨垃圾大幅增加。堆肥是一种将各种废物转化为有机肥料创新生态技术。堆肥有机肥是一种类腐殖质、颗粒细小且稳定的物质, 可以用作土壤改良剂, 将有机物质重新整合到农业土壤中。堆肥过程伴随着有机碳氮元素的变化, 包括有机碳转化为无机碳, 有机氮转化为无机氮的变化, 参与这些变化的是与堆肥过程有关的微生物。

关键词

餐厨垃圾, 堆肥, 碳氮元素

Changes of Organic Carbon and Nitrogen Elements in Kitchen Waste Composting

Lei He

State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai

Received: Apr. 30th, 2022; accepted: May 31st, 2022; published: Jun. 8th, 2022

Abstract

Kitchen waste is the solid waste produced by the living and production of residents. Due to the rapid development of urbanization and the continuous improvement of residents' living standards, the rapid growth of population also increases the rate of food consumption, and kitchen waste increases substantially. Composting is an innovative ecological technology that converts all kinds of waste into organic fertilizer. Compost organic manure is humus, finely grained, stable substance that can be used as a soil conditioner to reintegrate organic matter into agricultural soils. Composting process is accompanied by changes of organic carbon and nitrogen elements, including changes of organic carbon to inorganic carbon and organic nitrogen to inorganic nitrogen, which are involved in the changes of microorganisms related to the composting process.

Keywords

Kitchen Waste, Compost, Carbon and Nitrogen Element

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

餐厨垃圾作为目前中国国内重要的固体废物垃圾,其处置方式越来越受到重视,如果不能有效的处理餐厨垃圾,将会对环境造成损害[1]。堆肥是处理有机废物垃圾一种行之有效的方式,其通过微生物实现有机质的降解,其堆肥基质达到无害化的水平[2]。堆肥的过程伴随着碳氮元素的变化,堆肥有机物的降解是为微生物作用的结果,在整个堆肥过程中,可溶性有机物(DOM)是堆肥中可以被微生物直接利用的物质。堆肥中的有机质在微生物的作用下,逐渐被降解从而生成腐植酸和类腐植酸物质。所以,DOM无论实在生物上还是化学上都代表着堆肥中最为活性的物质[3]。DOM是一种由不同分子量大小、结构和功能特征的有机化合物的非均相化合物,主要是由溶解性有机碳(DOC)和溶解性有机氮(DON)组成。一般地,DOM的含量可以通过DOC的含量表示。而堆肥中DON的变化主要与堆肥的氨化作用和硝化作用有关。DOC和DON作为堆肥有机质降解的中介物质,实现了堆肥中有机氮和有机碳的转化。

2. 材料与方法

2.1. 堆肥材料与实验设计

餐厨垃圾收集与同济大学西苑食堂,锯末购买于尚兮木枋。餐厨垃圾于收集后用搅拌机搅碎,初始锯末过60目筛后,用于堆肥。根据餐厨垃圾与锯末干重的比例,根据餐厨垃圾占总堆肥基质的百分比设置了四个梯度,从而设置四个不同的实验处理,分别为T1, T2, T3, T4。由于餐厨垃圾是低C/N的物质,所以餐厨垃圾占总堆肥的物料不宜高于60%。表1列出了具体的堆肥干重比例,总干重150g。反应器通风,温度维持室温24℃,含水率为75%。

Table 1. The specific scale of each experiment

表 1. 实验处理的具体比例

编号	比例(餐厨:锯末)	餐厨所占百分比(%)
T1	1:3	25%
T2	7:13	35%
T3	9:11	45%
T4	11:9	55%

堆肥过程中主要的环境因素包括堆肥的含水率、温度、pH和EC。适宜的含水率会促进堆肥基质中有机物的溶解从而被微生物所分解利用,以促进堆肥的成熟化和稳定化[4]。有研究证明,当堆肥中的含水率在70%~80%时。堆肥能更快的达到腐熟阶段[5],故而将本实验的处理设置为含水率75%。为探讨

在温度恒定的情况下堆肥的碳氮元素的变化, 维持堆肥的问题为室温。相较于传统的堆肥系统, 低温堆肥可以保留大量有益的微生物例如放线菌属、固氮菌、原生动物、细菌和藻类物质[6]。

2.2. 测试方法

在堆肥确定的时间内, 取 2 g 新鲜样品置于 50 mL 锥形瓶中, 加入 40 mL 去离子水, 在 23℃ 得室温下, 以转速为 180 r/min 摇晃 24 h 后, 测定混合液得 pH 和电导率 EC。将上述测定 pH 值的混合液倒入 50 mL 离心管中, 在 8000 r/min 的冷冻离心机下离心 5 min, 取上清液, 过 0.45 μm 滤膜, 即为堆肥可溶性有机物浸提液。取 20 mL 浸提液, 采用 TOC-VCPN 分析仪(日本岛津公司)测定 DOC、DON 含量。取上述浸提液 2 mL 于 2 mL 离心管中, 采用间断化学分析仪测定浸提液中氨氮和硝态氮含量。

3. 结果与讨论

3.1. pH 和 EC

通过对图 1 pH 的观察, 发现 T1, T2, T3, T4 其值在整个周期内呈现上升的趋势, 在第 40d 后达到稳定, 大概处于 7.5 左右。原因是因为在堆肥过程中堆肥有机质的降解, 其中含氮有机物被微生物氨化, 生成 NH_3 , NH_3 溶于水生成 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 使得堆肥的 pH 值升高[7]。也有研究表明, 有机物的矿化也有可能氨氮上升的原因[8] [9]。总的来看 T1~T4 的 pH 值相差不大。

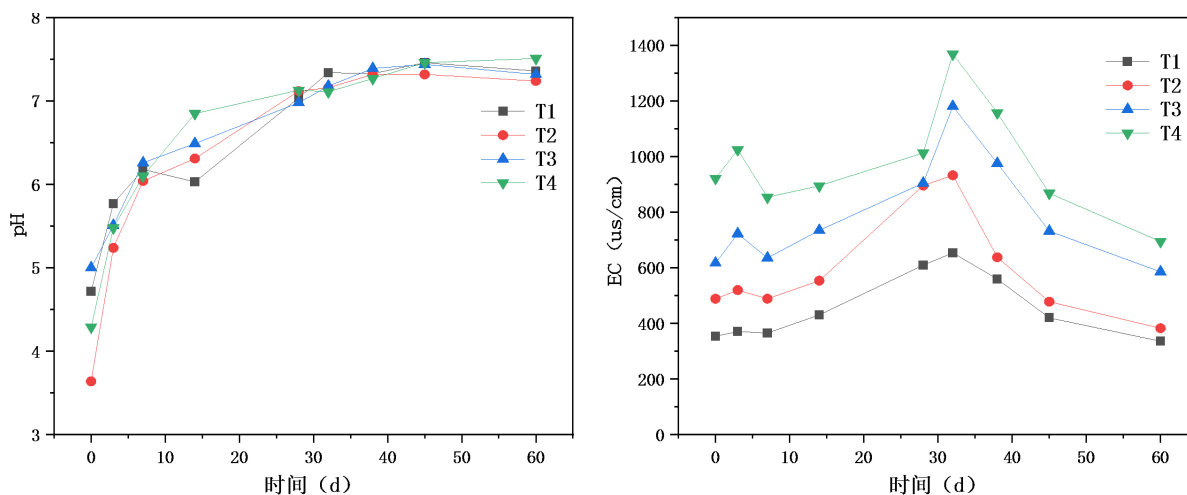


Figure 1. pH and EC change with composting time

图 1. pH 和 EC 随堆肥时间的变化

而 EC 值在整个过程中总体呈现先升高后降低的趋势, 但总体上 $T4 > T3 > T2 > T1$ 。最初 EC 的增加可能是由于有机质的分解过程中磷酸盐、氨离子和硝酸盐等无机盐的释放[10] [11]。由于植物以盐的形式吸收营养, 堆肥中可能需要一些可溶性盐。在堆肥的中期, EC 下降可能的原因是氨的挥发和一些无机盐的析出。另外, 随着堆肥的进行, 有机质的降解, 堆肥有机物的腐殖化生成了腐植酸和一些具有络合性质的化合物, 这些化合物可与无机盐离子、金属离子等络合形成络合物[12]。在堆肥后期, 无机盐离子和金属离子的释放与吸收达到动态平衡, EC 趋于稳定。

3.2. TOC

总有机碳(TOC)表示堆肥过程中总的有机质含量, 在整个堆肥过程中, T1, T2, T3, T4 含量总体呈

现降低的趋势，这是因为随着堆肥的进行，堆肥中的总有机质被微生物逐渐分解利用从而释放出 CO_2 到空气中[13]。由图 2 可以发现，在初始时候，TOC 含量 $T4 > T3 > T1 > T2$ ，最后 TOC 含量 $T1 > T2 > T3 > T4$ 。这表明，当餐厨垃圾含量占据相对较多的时候，能够有效的增加微生物对 TOC 的降解作用。另外，堆肥中更低的 TOC 含量也表明堆肥中含有更丰富的腐植酸以及更高的稳定性[14]。

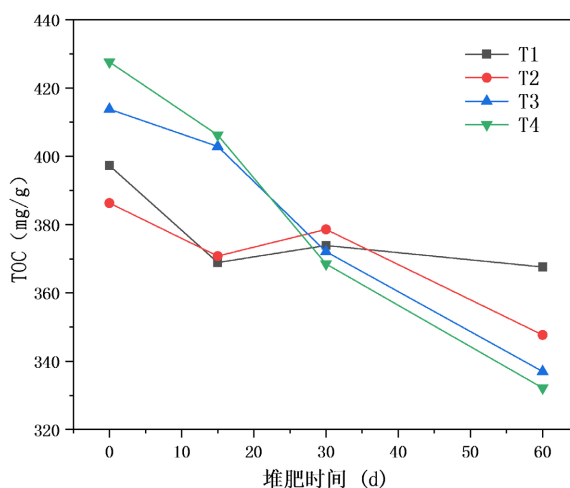


Figure 2. TOC changes overtime

图 2. TOC 随时间的变化

3.3. DOC 和 DON

DOC 是衡量堆肥 DOM 含量的指标，同时也代表堆肥中微生物可直接利用的碳源[15]。从图 3 可以看出 DOC 和 DON 总体呈现先升高后降低的趋势，这是因为在堆肥初期，这表明在堆肥过程中，DOM 含量总体呈现先升高后降低的趋势，这是因为在的堆肥初期，生化反应并不剧烈，但是随着堆肥的进行，DOM 含量升高，表明堆肥反应程度加深，但是随着时间的进行，堆肥有机质的逐渐分解，DOM 含量随之降低，而 DOC 和 DON 也随之降低。总的来看，在堆肥过程中，DOM 含量 $T4 > T3 > T2 > T1$ 。由此，可以发现，当餐厨含量更多的时候，堆肥中有机质的溶解性能也越好。

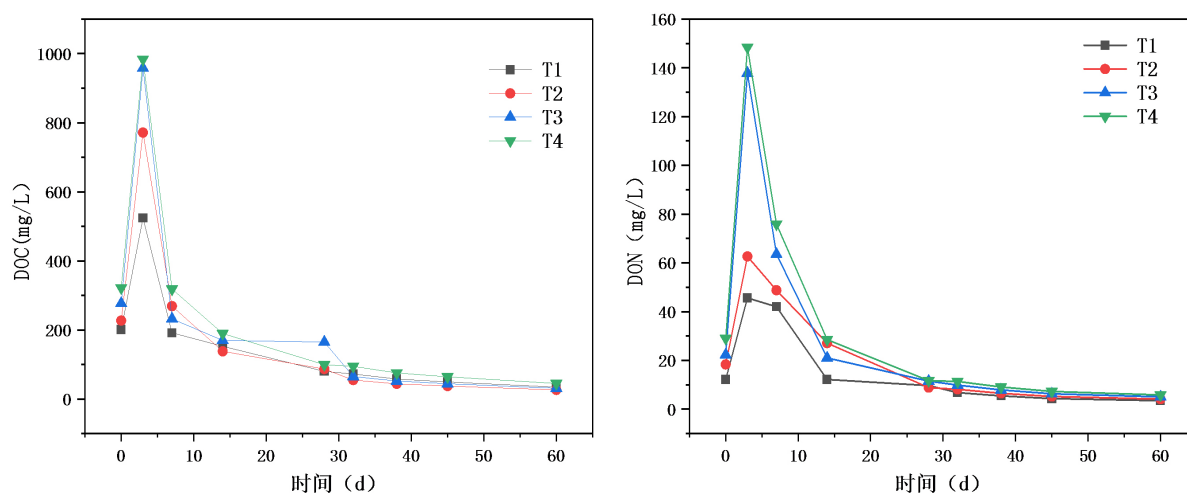


Figure 3. DOC and DON change overtime

图 3. DOC 和 DON 随时间的变化

3.4. 氨氮和硝态氮

氨氮是堆肥中有机物矿化作用的结果,从图4可以看出,T1~T4在堆肥的过程中总体呈现着先上升后下降的趋势,这是因为在堆肥开始之后,堆肥中的含氮有机物被微生物分解利用,生成无机的氨氮,所以有氨氮的升高。有图可以发现,总体上,氨氮含量在 $T3 > T4 > T2 > T1$,这说明当餐厨垃圾占据含量较多的时候,堆肥有机物的氨化作用较餐厨垃圾含量较少时更为明显。而在堆肥后期,由于有机物的降解速率降低,氨氮逐渐为硝化微生物反应硝化为硝态氮,所以后期氨氮含量会有所降低。

而对硝态氮而言,可以发现,硝态氮的含量逐渐上升,这是由于氨氮硝化为硝态氮逐渐累积的结果。但是可以发现,硝态氮含量 $T4 > T1 \approx T2 \approx T3$ 。

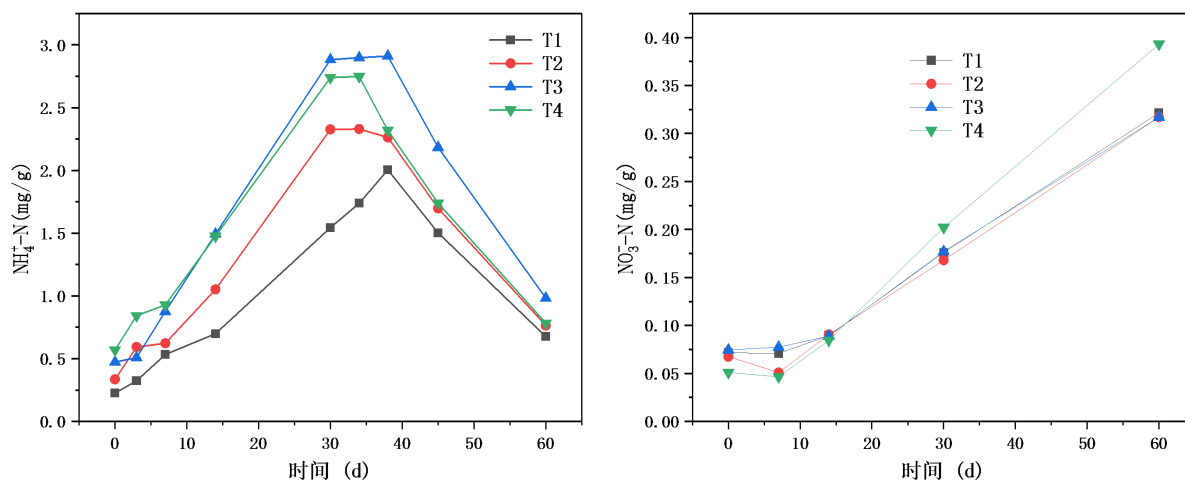


Figure 4. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ change overtime

图4. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 随时间的变化

4. 总结

根据餐厨垃圾和锯末的堆肥中碳氮元素的转化,可以发现不同的餐厨垃圾和锯末混合的比例对堆肥的碳氮元素转化具有不同的效果。总的来说,有以下几个方面:

- ① 在普通堆肥堆置的过程中,当餐厨垃圾含量较高的时候,其 TOC 的去除能力更高,说明当餐厨垃圾含量较高时,微生物可发挥的作用更高,其降解速率更强。
- ② 当餐厨垃圾含量较高的时候,其堆肥的氨化和硝化作用也更强,则其氮元素的损失也更强。
- ③ 餐厨垃圾含量较高时,能有效地降解堆肥中的有机质但是会加速堆肥中氮元素的损失,这对堆肥产品的农业化不利。

参考文献

- [1] Moon, H.C., Song, I.S., Kim, J.C., Shirai, Y., Lee, D.H., Kim, J.K., Chung, S.O., Kim, D.H., Oh, K.K. and Cho, Y.S. (2009) Enzymatic Hydrolysis of Food Waste and Ethanol Fermentation. *International Journal of Energy Research*, **33**, 164-172. <https://doi.org/10.1002/er.1432>
- [2] Som, M.P., Lemée, L. and Amblès, A. (2009) Stability and Maturity of a Green Waste and Biowaste Compost Assessed on the Basis of a Molecular Study Using Spectroscopy, Thermal Analysis, Thermodesorption and Thermochemolysis. *Bioresource Technology*, **100**, 4404-4416. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.019>
- [3] Shan, G., Xu, J., Jiang, Z., Li, M. and Li, Q. (2019) The Transformation of Different Dissolved Organic Matter Subfractions and Distribution of Heavy Metals during Food Waste and Sugarcane Leaves Co-Composting. *Waste Man-*

- agement, **87**, 636-644. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.005>
- [4] Che, J., Lin, W., Ye, J., Liao, H., Yu, Z., Lin, H. and Zhou, S. (2020) Insights into Compositional Changes of Dissolved Organic Matter during a Full-Scale Vermicomposting of Cow Dung by Combined Spectroscopic and Electrochemical Techniques. *Bioresource Technology*, **301**, Article ID: 122757. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122757>
- [5] Hu, X., Zhang, T., Tian, G., Zhang, L. and Bian, B. (2021) Pilot-Scale Vermicomposting of Sewage Sludge Mixed with Mature Vermicompost Using Earthworm Reactor of Frame Composite Structure. *Science of the Total Environment*, **767**, Article ID: 144217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144217>
- [6] Suthar, S. (2010) Recycling of Agro-Industrial Sludge through Vermitechnology. *Ecological Engineering*, **36**, 1028-1036. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.015>
- [7] Lim, S.L. and Wu, T.Y. (2016) Characterization of Matured Vermicompost Derived from Valorization of Palm Oil Mill Byproduct. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **64**, 1761-1769. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00531>
- [8] Wong, J.W.C., Fung, S.O. and Selvam, A. (2009) Coal Fly Ash and Lime Addition Enhances the Rate and Efficiency of Decomposition of Food Waste during Composting. *Bioresource Technology*, **100**, 3324-3331. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.063>
- [9] Awasthi, M.K., Wang, Q., Ren, X., Zhao, J., Huang, H., Awasthi, S.K., Lahori, A.H., Li, R., Zhou, L. and Zhang, Z. (2016) Role of Biochar Amendment in Mitigation of Nitrogen Loss and Greenhouse Gas Emission during Sewage Sludge Composting. *Bioresource Technology*, **219**, 270-280. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.128>
- [10] Kaviraj and Sharma, S. (2003) Municipal Solid Waste Management, through Vermicomposting Employing Exotic and Local Species of Earthworms. *Bioresource Technology*, **90**, 169-173. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00123-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00123-8)
- [11] Aalok, A., Tripathi, A.K. and Karmegam, N. (2010) Composting-Vermicomposting of Different Types of Leaves Using Earthworm Species *Eisenia fetida*. *Dynamic Soil Dynamic Plant*, **4**, 139-144.
- [12] Chen, Y. (1996) Organic Matter Reactions Involving Micronutrients in Soils and Their Effect on Plants. In: Piccolo, A., Ed., *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*, Elsevier, Amsterdam, 507-530. <https://doi.org/10.1016/B978-044481516-3/50014-1>
- [13] Sharma, K. and Garg, V.K. (2017) Management of Food and Vegetable Processing Waste Spiked with Buffalo Waste Using Earthworms (*Eisenia fetida*). *Environmental Science and Pollution Research*, **24**, 7829-7836. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8438-2>
- [14] Goswami, L., Pratihari, S., Dasgupta, S., Bhattacharyya, P., Mudoi, P., Bora, J., Bhattacharya, S.S. and Kim, K.H. (2016) Exploring Metal Detoxification and Accumulation Potential during Vermicomposting of Tea Factory Coal Ash: Sequential Extraction and Fluorescence Probe Analysis. *Scientific Reports*, **6**, Article No. 30402. <https://doi.org/10.1038/srep30402>
- [15] Ishii, S.K.L. and Boyer, T.H. (2012) Behavior of Reoccurring PARAFAC Components in Fluorescent Dissolved Organic Matter in Natural and Engineered Systems: A Critical Review. *Environmental Science & Technology*, **46**, 2006-2017. <https://doi.org/10.1021/es2043504>