

橡胶籽油枯堆肥过程中水溶性氮的组分变化特征研究

徐 智, 农传江, 王宇蕴, 范茂攀, 汤 利*

(云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650102)

摘 要:以橡胶籽油枯、锯末为堆肥基本原料, 设置橡胶籽油枯单独堆肥和橡胶籽油枯+锯末(35%橡胶籽油枯+65%锯末, 重量比)2个堆肥处理, 研究堆肥过程中温度、GI值、水分含量、pH值和水溶性总氮、水溶性有机氮、水溶性无机氮、水溶性铵态氮和硝态氮的变化。结果表明, 橡胶籽油枯单独堆肥的腐熟进程缓慢, 在本试验结束时没有达到堆肥腐熟; 橡胶籽油枯堆肥过程中添加锯末能够促进橡胶籽油枯腐熟。橡胶籽油枯堆肥过程中水溶性总氮、有机氮和无机氮的含量都是呈现先上升后下降的趋势, 水溶性有机氮的占水溶性总氮的比例减少, 水溶性无机氮占水溶性总氮的比例增加, 且堆肥腐熟后, 水溶性无机氮以硝态氮为主。橡胶籽油枯单独堆肥处理的水溶性总氮、有机氮和无机氮的含量分别为 6 819.5、4 983.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 1 836.8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 水溶性的无机氮和有机氮占水溶性总氮的 29.9%和 70.1%, 水溶性 NH_4^+-N 含量为水溶性无机氮含量的 87.1%, 橡胶籽油枯+锯末堆肥水溶性总氮、有机氮和无机氮的含量分别为 3 136.0、1 863.4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 1 272.7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 水溶性的无机氮和有机氮占水溶性总氮的 40.5%和 59.5%, 且水溶性 NO_3^--N 含量为水溶性无机氮含量的 81.1%。

关键词:橡胶籽油枯; 锯末; 堆肥; 水溶性氮

中图分类号: X705 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2014)03-0490-05 doi:10.11654/jaes.2014.03.013

Changes of Water-soluble Nitrogen During Composting of Rubber Seed Cake

XU Zhi, NONG Chuan-jiang, WANG Yu-yun, FAN Mao-pan, TANG Li*

(College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650102, China)

Abstract: Rubber seed cake, a by-product after oil extraction, contains nutrients and may be used as fertilizer after composting. Here we studied the changes of nitrogen in rubber seed cake during composting with sawdust at 0 and 65% sawdust (W/W). Water-soluble total nitrogen, water-soluble organic nitrogen, water-soluble inorganic nitrogen, water-soluble NH_4^+-N and water-soluble NO_3^--N and temperature were measured during the composting process. The influence of filtrate from composted cake on seed germination was also tested. The composting process of rubber seed cake was slow, and was not completed at the end of experimental period. Addition of sawdust could expedite the composting process of rubber seed cake. Contents of water-soluble total nitrogen, water-soluble organic nitrogen, and water-soluble inorganic nitrogen were decreased after increasing at the beginning during composting process. The percentage of water-soluble organic nitrogen in the water soluble total nitrogen reduced gradually, while water soluble inorganic nitrogen proportion in the water soluble total nitrogen increased gradually. At the end of composting, NO_3^--N was the dominate water soluble inorganic nitrogen. For the treatment with rubber seed cake only, the water-soluble total nitrogen, water-soluble organic nitrogen, water-soluble inorganic nitrogen was 6 819.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 4 983.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 1 836.8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The water-soluble inorganic nitrogen and water-soluble organic nitrogen accounted for 29.9% and 70.1 % of total nitrogen; water-soluble NH_4^+-N was 87.1% of the water soluble inorganic nitrogen. For the treatment with rubber seed cake + sawdust, however, the water-soluble total nitrogen, water-soluble organic nitrogen, water-soluble inorganic nitrogen was 3 136.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 1 863.4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 1 272.7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The water-soluble inorganic nitrogen and water-soluble organic nitrogen were respectively 40.5% and 59.5% of total nitrogen, while water-soluble NO_3^--N comprised 81.1% of the water soluble inorganic nitrogen.

Keywords: rubber seed cake; sawdust; composting; water-soluble nitrogen

收稿日期: 2013-12-01

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项基金项目(201103004, 201103003); 国家科技支撑计划项目(2012BAD14B01); 农业部南方植物营养与肥料重点实验室和广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室开放基金(ZHS2013-05)

作者简介: 徐 智(1980—), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事固体废弃物肥料化利用和有机类肥料应用方面的研究。

E-mail: xuzhi9910@126.com

* 通信作者: 汤 利 E-mail: ltang@ynau.edu.cn

据云南省农业厅统计,到2010年云南省的橡胶面积达47.7万 hm^2 ,云南成为中国橡胶生产第一大省,每公顷可以采摘干橡胶籽1995 $\text{kg}^{[1]}$,每年大约有100万t左右的橡胶籽产生,在云南,橡胶籽榨油工业正在兴起,橡胶籽炸过油以后大约有60%左右的油枯剩余。堆肥发酵是实现油枯肥料化和无害化过程的有效方法之一^[2-4]。由于油枯的C/N比相对较低,因此,在油枯堆肥时需加入C/N较高的物料调节C/N^[2-4]。锯末因其产量高、C/N高的特点,常被作为调节堆肥C/N的物料。

氮的转化一直在堆肥过程中受到普遍的关注,如:堆肥过程总氮的变化、氮的损失以及水溶性氮的变化和堆肥进程的关系等。以往的这些研究主要集中在粪便和城市废弃物的研究上,而对于油枯堆肥过程中的氮的转化、特别是水溶性氮的组分方面的研究较少。

本研究以橡胶籽油枯和锯末为基础堆肥原料,研究橡胶籽油枯堆肥过程中水溶性氮的组分变化特征,以期为高氮的橡胶籽油枯肥料化利用和堆肥过程中氮的转化与利用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

堆肥材料主要有橡胶籽油枯和锯末。橡胶籽油枯含有机碳51.5%,全氮4.9%,C/N为10.5,含水量5.0%;锯末含有机碳52.8%,全氮0.4%,C/N为132,含水量29%。

1.2 试验设计

试验设2个处理,分别为处理1:橡胶籽油枯单独堆肥(C/N:10.5;橡胶籽油枯);处理2:橡胶籽油枯(35%)+锯末(65%)(C/N:30,橡胶籽油枯+锯末),水分调为55%左右。将堆肥物料充分混合后堆成直径约1m,高约0.7m的锥形堆体。

堆肥试验在云南农业大学实验教学园地的温室大棚内进行。堆肥发酵时间为30d。每3d翻堆1次,翻堆时间为每天早上10:00,不覆盖。

1.3 采样时间及方法

各处理分别于试验第0、6、12、18、24d和30d采样,在翻堆充分拌匀后,按5点采样法,每处理每次采集3个混合样,混合样品作为鲜样,保存于4℃的冰柜中。

1.4 测定方法

堆制期间每天上午10:00在上、中、下3个采样

孔,于堆肥表面20cm以下处,用水银温度计测量堆肥温度,取平均温度作为当天的堆肥温度,同时测定当天气温。

水分和pH值的测定、全氮量测定分析方法按文献[5]进行。

新鲜样品按固液比1:10(W/V,以干重计),在150 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 速度下振荡浸提1h,以4000 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 速度离心20min,过滤,滤液用于水溶性指标测定。水溶性 NH_4^+-N 采用靛酚蓝比色法,水溶性 NO_3^--N 采用紫外分光光度法^[6],水溶性总氮采用凯氏定氮法测定,水溶性无机氮含量=水溶性 NH_4^+-N 含量+水溶性 NO_3^--N 含量,水溶性有机氮=水溶性总氮含量-水溶性无机氮含量。

种子发芽指数(GI)测定:取5g鲜样加入50mL蒸馏水,振荡1h,吸取5mL滤液,加到铺有2张滤纸的9cm培养皿中,每个培养皿播20粒黄瓜种子,30℃下培养48h,测定发芽率和根长,计算种子发芽指数(GI)值。

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中温度和GI值的变化

由图1(a)可知,在本试验中橡胶籽油枯+锯末处理在堆肥发酵1d后进入高温阶段(>50℃)。并且持续50℃以上22d,堆肥进行到22d以后进入到持续降温阶段。橡胶籽油枯单独堆肥升温过程缓慢,并且整个堆肥过程没有明显的高温阶段。堆肥进行到第30d(堆肥结束)堆体温度还在45℃以上。

由图1(b)可知,橡胶籽油枯+锯末处理在堆肥第6d以后,GI值呈现迅速上升趋势,到堆肥结束时GI值达到89.1%;而橡胶籽油枯单独堆肥的处理GI值在堆肥过程出现反复波动的现象,并且一直处于较低水平,直到堆肥结束时,GI值也只有25.9%。

2.2 堆肥过程中水分和pH值的变化

由图2(a)可知,堆肥过程中的水分呈下降趋势,橡胶籽油枯单独堆肥水分下降趋势明显较橡胶籽油枯+锯末处理的下降趋势缓慢,到堆肥结束时(30d),橡胶籽油枯单独堆肥和橡胶籽油枯+锯末处理的水分值分别为45.1%和36.5%。

由图2(b)可知,堆肥过程中pH值随着堆肥进程而出现上升-下降-上升(橡胶籽油枯单独堆肥过程中pH值变化有波动现象)的变化趋势。橡胶籽油枯+锯末处理的pH在0~6d呈明显下降趋势,之后迅速上升。堆肥结束时(30d),橡胶籽油枯单独堆肥和橡胶

籽油枯+锯末处理的 pH 值分别为 6.20 和 8.20, 处理间达到显著差异 ($P<0.05$)。

2.3 堆肥过程中水溶性铵态氮和硝态氮的变化

如图 3(a)所示,橡胶籽油枯+锯末处理的水溶性的 NH_4^+-N 含量的变化趋势是在堆肥化初期先迅速上升,然后随着堆肥腐熟进程的推进,水溶性的 NH_4^+-N 量明显下降,到堆肥结束时,水溶性的 NH_4^+-N 含量下降为 $240.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。橡胶籽单独堆肥处理堆肥开始后,水溶性的 NH_4^+-N 含量有上升趋势,从第 6 d 到第 18 d 水溶性的 NH_4^+-N 含量维持在 $2\ 235.5\sim 2\ 695.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,堆肥进行到第 18 d 以后出现缓慢下降,直到堆肥结束,水溶性的 NH_4^+-N 含量还有 $1\ 600.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

如图 3(b)所示,橡胶籽油枯+锯末处理的水溶性

NO_3^--N 含量在堆肥开始 12 d 后即迅速上升,一直保持较快的增加,到堆肥结束时,水溶性 NO_3^--N 含量达到 $1\ 032.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。而橡胶籽单独堆肥处理的水溶性 NO_3^--N 含量一直很低,至堆肥 18 d 后才有明显增加,到堆肥结束时,水溶性 NO_3^--N 含量为 $236.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.4 堆肥过程中水溶性有机氮、无机氮和总氮的变化

如图 4(a)所示,堆肥过程中水溶性有机氮都呈现先上升后下降的趋势。堆肥从第 12 d 开始到堆肥结束(第 30 d)橡胶籽油枯+锯末处理的水溶性有机氮的含量都显著低于橡胶籽单独堆肥处理的 ($P<0.05$)。

如图 4(b)所示,堆肥过程中水溶性无机氮都呈现先上升后下降的趋势。堆肥第 6 d 和 12 d,橡胶籽油枯+锯末处理的水溶性无机氮含量显著高于橡胶籽单独堆肥处理 ($P<0.05$),堆肥第 18~30 d,橡胶籽

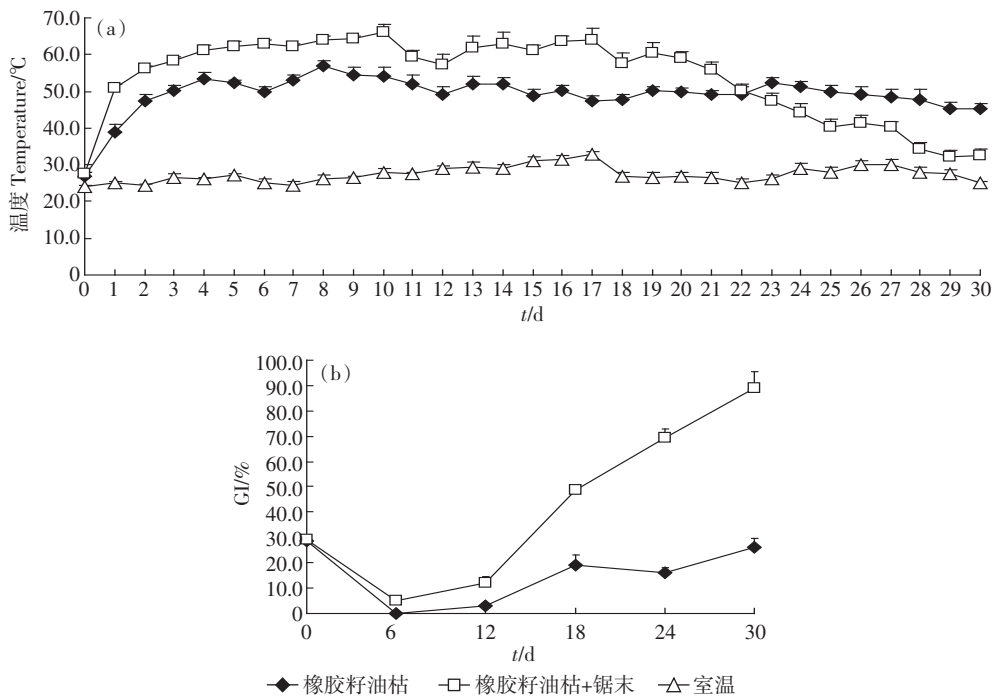


图 1 堆肥过程中温度(a)和 GI 值(b)的变化

Figure 1 Changes of temperature(a) and GI(b) during composting

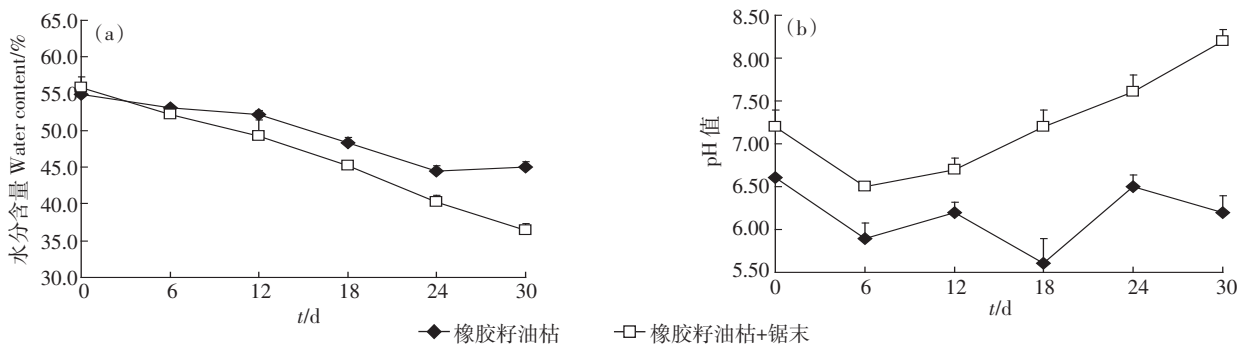


图 2 堆肥过程中水分含量(a)和 pH 值(b)的变化

Figure 2 Changes of water content(a) and pH(b) during composting

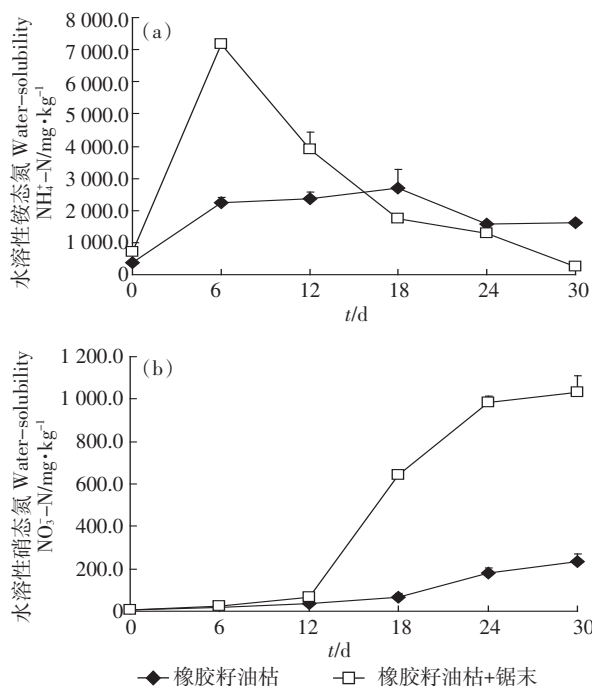


图3 堆肥过程中水溶性 NH_4^+-N (a) 和 NO_3^--N (b) 变化的影响
Figure 3 Changes of water soluble- NH_4^+-N (a) and water soluble- NO_3^--N (b) contents during composting

油枯+锯末处理和橡胶籽油枯单独堆肥处理的水溶性无机氮含量无显著差异($P>0.05$)。

如图4(c)所示,堆肥过程中水溶性总氮也呈现先上升后下降的趋势。橡胶籽油枯+锯末处理的水溶性总氮含量的峰值出现在堆肥的第6d,之后迅速下降;而橡胶籽单独堆肥处理的水溶性总氮含量的峰值出现在堆肥的第12~18d之间,之后才缓慢下降。堆肥结束以后(第30d),橡胶籽油枯+锯末处理的水溶性总氮含量显著低于橡胶籽油枯单独堆肥的处理($P<0.05$)。

堆肥结束以后,橡胶籽油枯单独堆肥处理的水溶性有机氮占水溶性总氮的73.1%,水溶性无机氮占水溶性总氮的26.9%,其中水溶性无机氮以 NH_4^+-N 为主(87.1%);橡胶籽油枯+锯末处理水溶性有机氮占水溶性总氮的59.4%,水溶性无机氮占水溶性总氮的40.6%,其中水溶性无机氮以 NO_3^--N 为主(81.1%)。因此,橡胶籽堆肥过程中,水溶性氮的总体变化趋势应该是水溶性有机氮的比重逐渐减少,水溶性无机氮的含量逐渐增加,且堆肥腐熟后,水溶性无机氮应该以 NO_3^--N 为主。

3 讨论

堆肥温度的变化反映了堆体内微生物活性的变化,堆体温度升高是微生物代谢产热累积的结果,反

过来又决定了微生物的代谢活性^[7],影响堆肥化的进程。橡胶籽单独堆肥没有明显的高温过程,橡胶籽油枯+锯末处理能够很好地完成升温-持续高温-降温的过程,较好地完成堆肥化过程。当种子GI值达到50%以上可以认为堆肥基本没有植物毒性,当GI>80%,堆肥已消除植物毒性。因此可以进一步证明,橡胶籽油枯+锯末处理能够较好地完成堆肥化过程,而橡胶籽单独堆肥到堆肥第30d时没有完成堆肥过程,这一点从本研究的橡胶籽油枯单独堆肥过程中温度变化和pH值变化也能得到证实。

堆肥中适当的水分含量,是决定堆肥成功的首要条件^[8],堆肥中一般以堆肥中水分含量为原料的45%~65%为宜^[9]。堆肥过程中水分的去除率也是堆肥成败的关键,结合现代有机(类)肥料生产的实际情况来

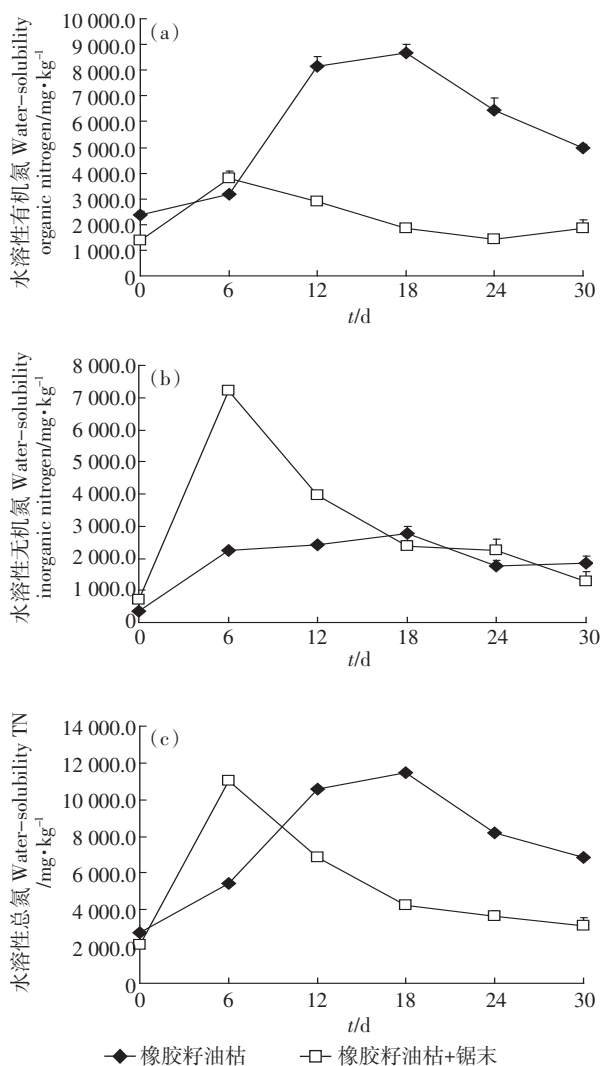


图4 堆肥过程中水溶性有机氮(a)、无机氮(b)和总氮(c)的变化
Figure 4 Changes of water soluble organic nitrogen(a), water soluble inorganic nitrogen(b) and water soluble total nitrogen(c) during composting

看,堆肥产品内水分含量高,往往会增加堆肥产品后续加工的干燥成本,给堆肥产品的后续加工带来麻烦,甚至会直接影响到堆肥产品是否合格的问题。本研究表明,橡胶籽油枯和锯末联合堆肥较橡胶籽油枯单独堆肥,堆肥进程更快,水分去除率更高,更能符合堆肥工程的要求。

水溶性的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的缺失及减少是腐熟堆肥的标志,当堆肥中水溶性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度 $<400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,被认为已经腐熟^[10]。到堆肥结束时,橡胶籽油枯+锯末处理的水溶性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量下降为 $240.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,橡胶籽单独堆肥处理的水溶性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量还有 $1\,600.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,也进一步证明了橡胶籽油枯+锯末处理能够较好地完成堆肥化过程。本研究中的橡胶籽油枯+锯末处理的水溶性 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量在堆肥开始 12 d 后即迅速上升,到堆肥结束时,水溶性 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量达到 $1\,032.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。与文献[8-10]水溶性 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量变化趋势一致。而橡胶籽单独堆肥处理的水溶性 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量一直很低,至堆肥 18 d 后才有明显增加,到堆肥结束时,水溶性 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量为 $236.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,这可能和橡胶籽油枯单独堆肥没有很好地完成堆肥过程有关。

本研究表明,随着堆肥化的进行,橡胶籽油枯单独堆肥和橡胶籽油枯+锯末堆肥处理水溶性的有机氮和水溶性总氮的含量是逐渐降低的,水溶性的无机氮含量在堆肥接近结束期间没有差异。堆肥结束后,没有充分腐熟的橡胶籽油枯单独堆肥处理水溶性总氮、有机氮和无机氮的含量分别为 $6\,819.5$ 、 $4\,983.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1\,836.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,水溶性的无机氮和有机氮占水溶性总氮的 29.9% 和 70.1%,且水溶性无机氮以水溶性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为主(87.1%),充分腐熟的橡胶籽油枯+锯末堆肥水溶性总氮、有机氮和无机氮的含量分别为 $3\,136.0$ 、 $1\,863.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1\,272.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,水溶性的无机氮和有机氮占水溶性总氮的 40.5% 和 59.5%,且水溶性无机氮以水溶性 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为主(81.1%)。水溶性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量过高会影响种子发芽指数(GI 值)已经被证实,但是橡胶籽油枯堆肥过程中水溶性总氮和水溶性有机氮的含量和种子发芽指数(GI 值)有没有直接的关系,会不会影响堆肥的进程,或者能不能作为相应的指标来指示堆肥的进程,还需要做进一步研究。

4 结论

橡胶籽油枯堆肥过程中水溶性总氮、有机氮和无机氮的含量都是呈现先上升后下降的趋势,水溶性有机氮占水溶性总氮的比例减少,水溶性无机氮占水溶

性总氮的比例增加,且堆肥腐熟后,水溶性无机氮以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为主。

参考文献:

- [1] 陈茜文. 橡胶籽的化学成分与综合利用初探[J]. 中南林学院学报, 1999(4):58-60.
CHEN Qian-wen. Preliminary research on the chemical compositions of *Hevea brasiliensis* and its comprehensive utilizations[J]. *Journal of Central South Forestry University*, 1999(4):58-60.
- [2] 谢春琼, 郭建芳, 李成学, 等. 添加微生物菌剂对油枯堆肥理化性状的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(9):201-205.
XIE Chun-qiong, GUO Jian-fang, LI Cheng-xue, et al. The effects of microbial strains on the physical and chemical properties of canola meal compost[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(9):201-205.
- [3] 李成学, 郭建芳, 何忠俊, 等. 微生物菌剂对油枯堆肥过程中理化性质的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(2):389-394.
LI Cheng-xue, GUO Jian-fang, HE Zhong-jun, et al. Microbial strains affect the physical and chemical properties when composting canola meal[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(2):389-394.
- [4] 邓文祥, 海梅荣, 蒋春和, 等. 不同比例玫瑰废弃物与小桐子油枯对高温堆肥过程中氮素变化的影响[J]. 云南农业大学学报, 2010, 25(3):414-419.
DENG Wen-xiang, HAI Mei-rong, JIANG Chun-he, et al. Effects of different ratios of rose residue and *Jatropha Curcas* oil cake on dynamic changes of nitrogen during high-temperature composting[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2010, 25(3):414-419.
- [5] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 1999.
Nanjing Agricultural University. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. 3rd Ed. Beijing: China Agriculture Press, 1999.
- [6] 国家环保局《水与废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 第四版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
National EPA. Analysis method of water and waste water[M]. 4rd Edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [7] Macgregor S T, Miller F C, Psarianos K M, et al. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1981, 41(6):1321-1330.
- [8] 李国学, 张福锁. 固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
LI Guo-xue, ZHANG Fu-suo. Solid waste compost and organic fertilizer production[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000.
- [9] 李季, 彭生平. 堆肥工程实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
LI Ji, PENG Sheng-ping. Compost engineering practical manual [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [10] Zucconi F, Forte M, Monaco A, et al. Biological evaluation of compost maturity[J]. *Biocycle*, 1981, 22(4):27-29.