

# 不同猪发酵床垫料内腐殖质变化特性研究

张霞, 李晟, 顾洪如\*, 杨杰, 李健, 潘孝青, 秦枫, 邵乐, 刘蓓一, 朱洪龙

(江苏省农业科学院畜牧研究所, 南京 210014)

**摘要:**通过测定果树枝、菌糠、中药渣、发酵猪粪垫料以及稻壳/木屑不同配比垫料内腐殖质及其组分含量,研究育肥猪一个生长周期内猪发酵床垫料中腐殖质及其主要组分胡敏酸、富里酸的形态变化特性。结果表明:初始中药渣垫料内胡敏酸与富里酸总碳量及富里酸含量最高,初始菌糠垫料内胡敏酸含量、胡/富比及胡敏酸  $E_4/E_6$  比值最高。在育肥猪一个生长周期内,除中药渣垫料外,包括稻壳/木屑不同配比的其他垫料内胡敏酸与富里酸总量表现为前三个月增加而后降低,富里酸表现为前两个月增加而后下降;除菌糠垫料外,包括稻壳/木屑不同配比的其他垫料胡敏酸均表现为持续增加,所有垫料内胡敏酸  $E_4/E_6$  值均下降。饲养三批猪的稻壳/木屑垫料内腐殖质及其不同组分含量以及胡敏酸  $E_4/E_6$  值均相对较低。中药渣、菌糠、果树枝与发酵猪粪垫料同一取样时期垫料内胡敏酸与富里酸总量、胡敏酸以及富里酸含量差异显著,稻壳/木屑垫料不同配比同一取样时期垫料内胡敏酸与富里酸总量、胡敏酸以及富里酸含量差异不显著。不同垫料间胡敏酸  $E_4/E_6$  差异显著,表现为发酵猪粪>果树枝>菌糠>中药渣(初始期除外),稻壳/木屑配比为 60/40 时胡敏酸  $E_4/E_6$  值较低。

**关键词:**猪发酵床;垫料;腐殖质

中图分类号:X713 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2015)11-2215-07 doi:10.11654/jaes.2015.11.025

## Humification Characteristics of Different Pig Bio-bed Litters

ZHANG Xia, LI Sheng, GU Hong-ru\*, YANG Jie, LI Jian, PAN Xiao-qing, QIN Feng, SHAO Le, LIU Bei-yi, ZHU Hong-long  
(Institute of Animal Science, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Humus fractions and their content are indexes for compost quality. The present study investigated the dynamic changes of humus fractions including humic acid (HA) and fulvic acid (FA) in different pig bio-bed litters during one whole period of pig-raising. The litter materials included two groups—fruit tree branches, mushroom cultivation waste, traditional Chinese medicine residues and digested pig manure in one group and different ratios of sawdust and rice husk in another group. The experiment was conducted in a pig bio-bed farm in Luhe animal science base, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, from July 2011 to October 2011. Results showed that total humic acid amount (sum of HA and FA) was highest in the original traditional Chinese medicine residues, while HA content and  $E_4/E_6$  ratio were highest in the original mushroom cultivation waste. The change patterns of total humic acid amount and FA content in bio-bed litters were different from those in ordinal composts. The amount of total humic acids of bio-bed litters increased in the first three months and then decreased in the fourth month, while FA content of bio-bed litters increased in the first two months and then decreased, with an exception of traditional Chinese medicine residue litter. The HA content increased in the bio-bed litters, except mushroom waste, but  $E_4/E_6$  ratio decreased in all bio-bed litters during four month of pig-raising. However, total humic acid amount, HA and FA content, and  $E_4/E_6$  ratios in the bio-bed litters were lower after three pig-raising periods (two years) than after one period (four months). At the same sampling time, total humic acid amount, HA and FA content differed significantly ( $P<0.05$ ) among traditional Chinese medicine residue, mushroom cultivation waste, fruit tree branches and digested pig manure, but these indexes did not differ significantly ( $P<0.05$ ) in different ratios of sawdust and rice husk. The  $E_4/E_6$  ratios showed significant differences ( $P<0.05$ ) between different litters, with descending order of digested pig manure>fruit tree branches>mushroom cultivation waste>traditional Chinese medicine residue (except the initial bio-bed litters). The lowest  $E_4/E_6$  ratio was found in the 60/40 sawdust/rice husk mixture.

**Keywords:** pig bio-bed; litter; humic substances

收稿日期:2014-12-05

基金项目:江苏省农业科技自主创新基金项目(CX(12)1001)

作者简介:张霞(1976—),河南新乡人,博士,副研究员,主要从事牧草生理及畜禽粪便利用研究。E-mail:583765990@qq.com

\*通信作者:顾洪如 E-mail:guhongruijs@163.com

发酵床养猪模式中,猪的主要生命活动都是在垫料上进行,猪的粪便和尿液均排在垫料内,并在垫料内进行原位分解。养殖过程中,猪每天在垫料上翻拱,使垫料通气量增加,发酵床垫料原位发酵时上层垫料以有氧发酵为主,类似普通堆肥的过程。堆肥时在微生物的作用下使有机物矿化、腐殖化,形成新的高分子有机物-腐殖质,它是构成土壤肥力的重要活性物质<sup>[1]</sup>。腐殖质是羰基结构高分子量芳香族聚合物,来源于动植物残体的腐殖化反应(Humification),或者说来源于微生物的生物活动,普遍存在于陆地、海水和土壤沉积物等自然环境中<sup>[2]</sup>。自然界腐殖质的主要组成部分是腐植酸,根据在酸碱性水溶液中的溶解度,可以将其分为胡敏酸(Humic acid, HA)和富里酸(Fulvic acid, FA)<sup>[2-4]</sup>。堆肥腐殖化过程中,腐殖质含量及组分是评价堆肥质量的关键<sup>[5]</sup>。目前国内对猪发酵床垫料的研究包括多方面,如垫料氮磷以及物理特性变化<sup>[6-7]</sup>、有机质及氮素营养<sup>[8]</sup>、重金属含量<sup>[9-12]</sup>、酶活性<sup>[13]</sup>以及接种菌剂<sup>[14]</sup>等的研究,而对堆肥反应的最终生成物质腐殖质的含量及组分却鲜有报道。普通畜禽粪便堆肥发酵时间一般为45~60 d,而发酵床养猪模式发酵时间与猪饲养时间一样,且随着饲养时间的增加,猪粪便量相应增加,这决定了在整个发酵过程中,垫料内腐殖质及其组分变化特性与普通畜禽粪便堆肥发酵会有一定的差异。

本文意在研究不同材料代替木屑作垫料以及稻壳/木屑不同配比的垫料,在育肥猪一个饲养周期内,垫料内腐植酸含量及其成分变化,以及对使用年限不同的垫料腐殖质含量及其组分的变化进行研究,为废弃垫料的资源化利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验处理及样品采集

样品采集自江苏省农业科学院六合动物科学基地猪发酵床养殖场。实验采用两栋发酵床,每栋4栏,每栏发酵面积50 m<sup>2</sup>,深60 cm。一栋发酵床所用垫料为木屑与稻壳,已使用一年半饲养两批猪,试验取样时间为第三批猪饲养期间,每批每栏饲养猪15~20头,在原来垫料的基础上按稻壳/木屑比例添加木屑与稻壳,4栏垫料稻壳/木屑之比分别为:0/100、20/80、60/40、80/20。另一栋发酵床所用垫料第一次使用,垫料分别为发酵猪粪、果树枝、菌糠、中药渣,每栏均在其垫料上面铺一层木屑且每栏添加量一样,木屑占垫料总量极少。不同垫料的腐殖质含量和含水量见表1。

表1 不同垫料的腐殖质含量和含水量

Table 1 Humic substances and moisture content of different biobed litter materials

| 样品           | 水分/%  | 腐植酸/g·kg <sup>-1</sup> | 胡敏酸/g·kg <sup>-1</sup> | 富里酸/g·kg <sup>-1</sup> |
|--------------|-------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 木屑           | 34.33 |                        |                        |                        |
| 稻壳           | 5.15  |                        |                        |                        |
| 稻壳/木屑(0/100) | 45.38 | 1.926                  | 0.773                  | 1.154                  |
| 稻壳/木屑(20/80) | 48.05 | 1.797                  | 0.860                  | 0.937                  |
| 稻壳/木屑(60/40) | 44.10 | 1.958                  | 0.827                  | 1.131                  |
| 稻壳/木屑(80/20) | 46.51 | 2.059                  | 0.943                  | 1.117                  |
| 发酵猪粪         | 43.64 | 1.962                  | 0.730                  | 1.232                  |
| 果树枝          | 20.65 | 2.778                  | 1.504                  | 1.275                  |
| 菌糠           | 55.36 | 2.222                  | 1.961                  | 0.262                  |
| 中药渣          | 69.00 | 5.788                  | 0.676                  | 5.112                  |

发酵床的日常维护主要包括垫料的浅层翻扒,将粪便集中的区域人工分散,一个月后当垫料出现明显下降时按原垫料组成对稻壳/木屑垫料进行少量补充,之后不再补充垫料。发酵床育肥猪进栏时间2011年6月25日,每栏进猪15头。分别于进猪之前以及猪进栏后一个月、两个月、三个月以及四个月取样。

采集时于每一栏发酵床内取3点,垫料每20 cm为一层分别装于自封袋内。取回的垫料,放于65℃烘箱烘至恒温,用小型高速粉碎机粉碎过40目筛后贮存备用。

### 1.2 测定方法

#### 1.2.1 腐植酸测定

垫料腐殖质及其组分采用焦磷酸钠-氢氧化钠溶液提取法,重铬酸钾法测定<sup>[15]</sup>。

提取:用0.1 mol·L<sup>-1</sup>焦磷酸钠和0.1 mol·L<sup>-1</sup>氢氧化钠混合液提取腐殖质。称取0.5 g垫料样品放入100 mL三角瓶中,加入50 mL混合提取液,用橡皮塞塞紧后在摇床上提取5 min,然后静置13~14 h(温度控制在20℃左右),随之将溶液再次摇匀后即进行过滤,收集滤液待测。

测定胡敏酸和富里酸总碳量:吸取上述提取液5 mL,移入100 mL三角瓶中,用0.5 mol·L<sup>-1</sup>硫酸中和到pH=7(用pH试纸测试),使溶液出现混浊为止。将三角瓶放在水浴锅上蒸干,然后采用重铬酸钾法测定碳量。

胡敏酸碳量的测定:①吸取上述提取液15~20 mL移入100 mL的烧杯中,水浴加热约1 min,逐滴加入0.5 mol·L<sup>-1</sup>硫酸,将溶液的pH调到3左右(用pH试纸测试),此时应出现胡敏酸絮状沉淀;②将此溶液

水浴 10 min,使胡敏酸与富里酸充分分离;③将溶液用细孔滤纸过滤,用  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  硫酸洗涤沉淀物多次,到无色为止,弃去滤液,将沉淀用热的  $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  氢氧化钠少量多次洗涤,溶解到 150 mL 三角瓶中,成为胡敏酸钠盐;④用  $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  硫酸中和到使溶液出现絮状沉淀为止,再水浴蒸干,用重铬酸钾法测定碳量即为胡敏酸碳量。

富里酸碳量百分数,可由胡敏酸与富里酸总碳量百分数减去胡敏酸碳量百分数而得。

### 1.2.2 $E_4/E_6$ 比值测定<sup>[24]</sup>

称取 0.5 g 垫料样品,用  $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 NaOH 溶液 20 mL 浸提,在摇床上恒温振荡 2 h,用定量滤纸过滤并收集滤液,然后在全波长酶标仪上分别在波长 465 nm 和 665 nm 测定样品提取液的吸光度值,其比值为  $E_4/E_6$ 。

### 1.3 数据分析

数据采用 Excel 软件整理,方差分析采用 SAS8.1 软件进行分析,多重比较采用 LSD 法,作图采用 Excel 软件。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同垫料内胡敏酸与富里酸总碳量变化

由图 1 可知,初始期,中药渣垫料胡敏酸与富里

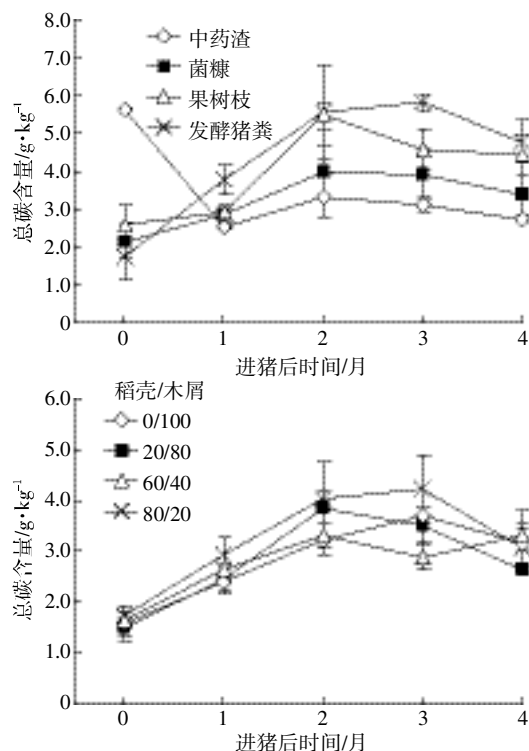


图 1 不同垫料内胡敏酸与富里酸总碳量变化

Figure 1 Changes of humic substance C in different bio-bed litters

酸总碳量显著高于其他垫料,前一个月内胡敏酸与富里酸总碳量急剧下降,之后与其他垫料变化规律一致,均表现为一至两个月增加之后降低。中药渣、菌糠、果树枝与发酵猪粪垫料,同一时期不同垫料内胡敏酸与富里酸总碳量差异显著,至最后一次取样发酵猪粪垫料内胡敏酸与富里酸总碳量最高,中药渣垫料内含量较低。这说明不同原料对同一取样时期的胡敏酸与富里酸总碳量有较显著的影响。稻壳/木屑不同配比垫料,在一批猪饲养期间,胡敏酸与富里酸总碳量随饲养时间增加而呈现出进猪之后前两个月增加,第三个月降低的趋势,说明其不稳定成分减少<sup>[16]</sup>。从初始取样开始至最后一次取样,除中药渣垫料胡敏酸与富里酸总碳量初始含量最高外,两栋发酵床其他垫料内胡敏酸与富里酸总碳量均呈现先增加后降低的趋势。这可能因为猪进栏后的前两个多月,粪便在垫料内的发酵腐化程度较好,随时间增加垫料内腐植酸的合成大于分解,同时垫料堆肥内有机物含量降低,引起胡敏酸与富里酸总碳量增加。饲养三个月以后,在垫料内有机物含量继续降低的情况下,整体上垫料在微生物的作用下腐植酸的分解速度大于其合成速度,引起胡敏酸与富里酸总碳量降低<sup>[17]</sup>。稻壳与木屑不同配比的垫料内胡敏酸与富里酸总碳量差异不显著,可能与垫料使用时间较长有关,垫料整体处于发酵相对平稳的时期。

从总体看,饲养一批猪的中药渣、菌糠、果树枝与发酵猪粪垫料内胡敏酸与富里酸总碳量相对高于饲养三批猪的稻壳/木屑垫料。

### 2.2 不同垫料内富里酸含量变化

由图 2 可知,中药渣初始垫料富里酸含量最高,前一个月内其含量急剧下降,之后与其他垫料内富里酸含量变化规律一致。这是因为中药渣垫料内低分子量的富里酸参与合成高分子量的胡敏酸,从而引起富里酸含量急剧下降。在一批猪饲养期间,菌糠、果树枝与发酵猪粪垫料内富里酸含量随饲养时间增加而呈现前两个月增加,之后降低的趋势;中药渣、菌糠、果树枝与发酵猪粪垫料,进猪后第二、三、四个月不同垫料内富里酸含量差异显著,中药渣作垫料时富里酸含量较低,说明这几种原料对富里酸含量有一定的影响。稻壳/木屑不同比例垫料内富里酸含量同样随饲养时间增加表现为前两个月增加,之后降低的趋势,而且两栋发酵床垫料除中药渣初始值较高外,其他垫料内富里酸含量的变化趋势一致,与普通堆肥发酵富里酸含量呈现持续下降的趋势不

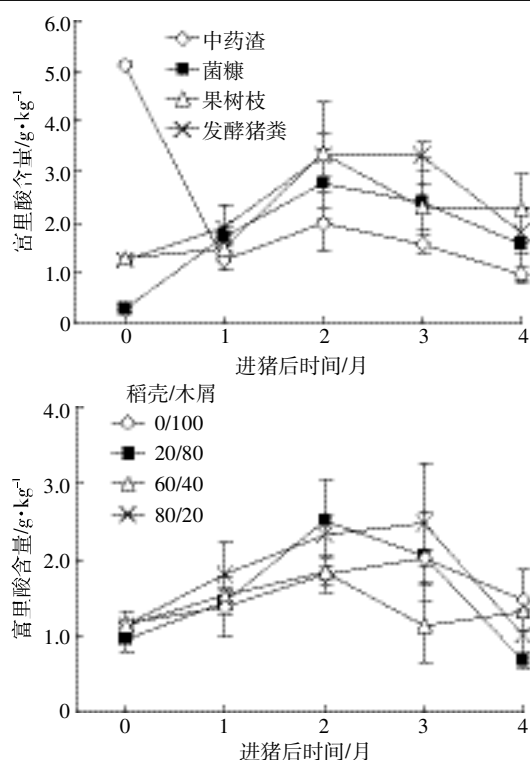


图2 不同垫料内富里酸含量变化

Figure 2 Changes of fulvic acid (FA) content in different bio-bed litters

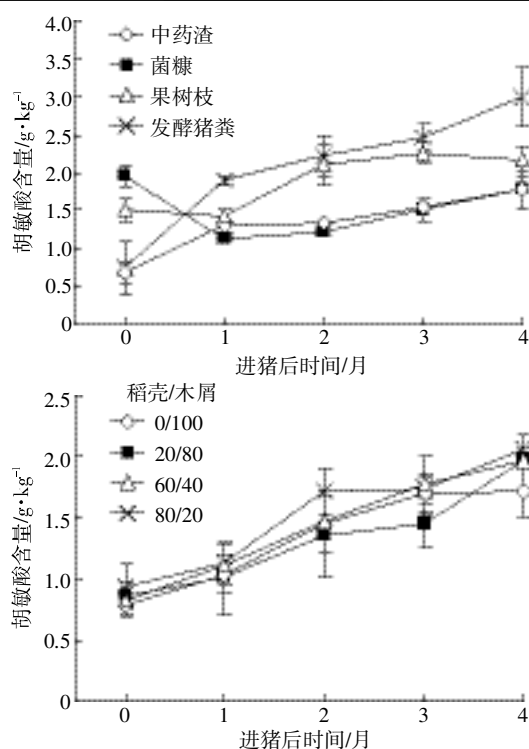


图3 不同垫料内胡敏酸含量变化

Figure 3 Changes of humic acid (HA) content in different bio-bed litters

同<sup>[20-22]</sup>。发酵床饲养前期,微生物以可溶性糖等易分解类有机物质为主要能源,即前期胡敏酸的合成可能也利用易分解类有机物为主要原料,同时猪粪便量增加,引起垫料内富里酸含量增加;从猪饲养进入第三个月开始,尽管垫料内猪粪便大量增加,富里酸也随之添加到垫料内。分析认为,低分子量的富里酸作为微生物合成高分子量胡敏酸的中间物质,由于本时期胡敏酸的含量随垫料使用时间增加而显著增加(图3),用于合成胡敏酸的富里酸消耗大于增加,同时富里酸易被微生物分解,从而引起富里酸的含量下降。

稻壳/木屑不同配比的垫料内富里酸含量除第三个月差异显著外,其他采样时期含量差异不显著。这同样可能与垫料使用时间较长、垫料成分相对稳定有关。饲养一批猪的中药渣、菌糠、果树枝与发酵猪粪垫料内富里酸含量在进猪后第二、三、四个月取样时期均高于饲养三批猪的稻壳/木屑垫料。

### 2.3 不同垫料内胡敏酸含量变化

胡敏酸与富里酸作为腐殖质重要组成成分,对腐殖质性质具有十分重要的影响。在普通堆肥过程中胡敏酸含量呈现持续增加<sup>[18-19]</sup>或先降低后增加<sup>[20-22]</sup>的趋势,最终表现为胡敏酸含量增加<sup>[23]</sup>。

由图3可知,进猪伊始,菌糠垫料内胡敏酸含量

最高,在第一个月内胡敏酸含量下降。这是因为菌糠作为蘑菇采摘后的废弃物本身处于较好的发酵状态中,菌糠原始垫料内以胡敏酸为主,富里酸含量相对较低,垫料内富里酸与胡敏酸同时存在自身的分解与合成过程,胡敏酸中分子量小、不稳定的物质也在发生着分解,而随着垫料使用时间增加,新的、稳定的胡敏酸分子逐渐被合成,结构简单、不稳定的富里酸则逐渐被分解<sup>[24]</sup>,在第一个月内分解速度大于合成速度,从而引起垫料内胡敏酸含量较快下降;之后随着富里酸含量增加,胡敏酸合成速度大于分解速度,菌糠垫料内胡敏酸含量逐渐增加,与其他垫料内变化规律一致。果树枝垫料初始胡敏酸含量也较高,可能与果树枝木质素含量高有关,研究认为腐殖质的合成途径之一即从木质素衍化而来,木质素不完全地被微生物利用,剩余物成为土壤腐殖质的一部分<sup>[17,25]</sup>。中药渣、发酵猪粪垫料前一个月胡敏酸含量处于持续增加状态。菌糠、果树枝、中药渣、发酵猪粪垫料,从第一个月取样开始,垫料内胡敏酸含量均呈增加趋势;同一取样时期不同原料垫料内胡敏酸含量差异显著,发酵猪粪垫料内胡敏酸含量最高,中药渣及果树枝垫料胡敏酸含量相对较低。稻壳/木屑不同配比垫料,从进猪开始,垫料内胡敏酸含量即呈持续增加趋势,且相

互之间的差异不显著。除菌糠垫料内胡敏酸含量比初始值低外,两栋发酵床其他垫料内胡敏酸最终含量均比初始值高,均呈增加的趋势,与已有的普通堆肥胡敏酸含量变化趋势一致。这说明在一批猪饲养周期内,垫料内胡敏酸分子的合成速度大于其分解速度,而且微生物合成的胡敏酸芳香结构化稳定性强,导致胡敏酸含量上升。尽管到生长后期,猪的粪便排泄量增大使发酵床内粪便排泄区发酵状态下降,也并不影响发酵床整体垫料内胡敏酸的合成与含量的增加。但从垫料使用时间上看,饲养一批猪的中药渣、菌糠、果树枝与发酵猪粪垫料内胡敏酸含量在同一取样时期均高于饲养三批猪的稻壳/木屑不同配比垫料。

## 2.4 不同垫料内胡/富比值的变化

胡/富比值能较好地描述堆肥过程中腐殖质及其组分和性质的变化,反映堆肥产品的品质优劣。由图 4 可知,中药渣、菌糠、果树枝与发酵猪粪初始垫料内胡/富比值差异极显著。进猪后第一个月内,菌糠垫料由于富里酸初始含量偏低,胡敏酸分解速度大于合成速度,随着富里酸含量的增加,引起胡/富比值急剧下降;由于大量的富里酸合成胡敏酸,引起中药渣垫料内胡/富比值快速增加;发酵猪粪垫料在第一个月内也出现胡/富比值增加的现象。在进猪一个月后中药

渣、菌糠、果树枝及发酵猪粪垫料内胡/富比值变化规律一致,一至两个月均呈现稍微下降的趋势,之后胡/富比值逐渐增加。中药渣、菌糠、果树枝与发酵猪粪垫料进猪后的前三个月胡/富比值差异不显著,至第四个月时差异显著,中药渣与发酵猪粪垫料胡/富比值较高,果树枝垫料胡/富比值较低,而且果树枝垫料在整个饲养期间胡/富比值变化相对较小。木屑不同配比垫料从进猪开始,胡/富比值随饲养时间增加而基本维持不变,第三个月稻壳/木屑(60/40)增加较大,之后第四个月再次下降,在第四个月稻壳/木屑其他三个配比垫料的胡/富比值均增加,即进猪后第三个月稻壳/木屑不同配比垫料内胡/富比值开始出现显著差异。由于垫料内富里酸的含量变化(图 2)引起垫料内胡/富比值出现前三个月较低,至第四个月时胡敏酸合成增加富里酸含量下降,使胡/富比值显著增加。至后期胡/富比值的升高表明垫料腐殖化程度不断提高,垫料腐熟程度增加<sup>[23]</sup>。

由图 4 可知,饲养一批猪的中药渣、菌糠、果树枝与发酵猪粪垫料胡/富比值在进猪后第二、三、四个月取样时均低于饲养三批猪的稻壳/木屑垫料,说明饲养三批猪的垫料腐熟程度相对较高。

## 2.5 不同垫料内胡敏酸 $E_4/E_6$ 变化

胡敏酸  $E_4/E_6$  值能反映胡敏酸分子结构的稳定程度和腐殖化程度, $E_4/E_6$  值小,表示胡敏酸分子中芳香环的缩合度、芳构化度和分子量均较大,且平均存留时间较长。

由图 5 可知,不同原料中药渣、菌糠、果树枝与发酵猪粪垫料,在一批猪饲养期间,垫料内胡敏酸  $E_4/E_6$  比值均随饲养时间增加而呈现下降的趋势。这说明在一个饲养周期,垫料内胡敏酸的缩合程度和芳构化程度在持续增加,分子量逐渐增大,平均存留时间延长,垫料内胡敏酸的品质逐渐增加。菌糠垫料胡敏酸  $E_4/E_6$  比值初始值显著高于其他垫料,在进猪后一个月内急速下降,说明菌糠垫料胡敏酸的分子缩合程度及结构芳化程度相对别的垫料变化大。同一时期不同原料垫料间胡敏酸  $E_4/E_6$  比值差异显著,从进猪后一个月开始,胡敏酸  $E_4/E_6$  比值大小依次为发酵猪粪垫料>果树枝垫料>菌糠垫料>中药渣垫料。这说明发酵猪粪、果树枝、菌糠及中药渣几种垫料之间胡敏酸分子缩合与芳构程度差别均较大,也说明这几种原料对胡敏酸  $E_4/E_6$  比值影响较大。

稻壳/木屑不同配比垫料胡敏酸  $E_4/E_6$  比值,在一个饲养周期内呈现持续降低的趋势;稻壳/木屑垫

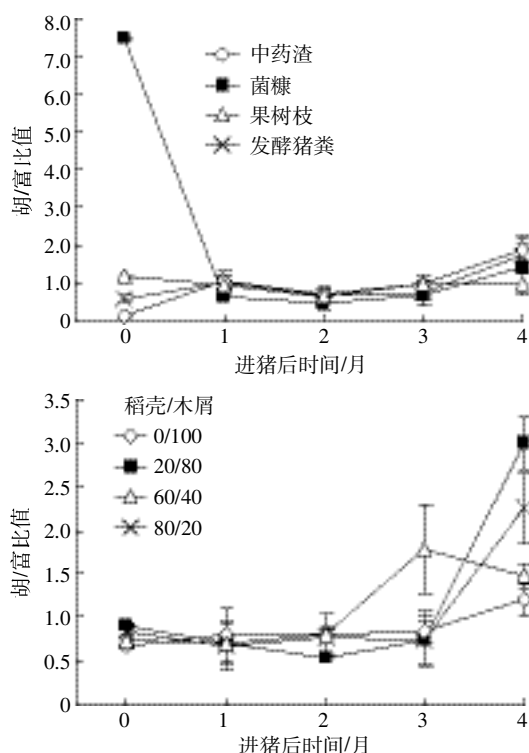
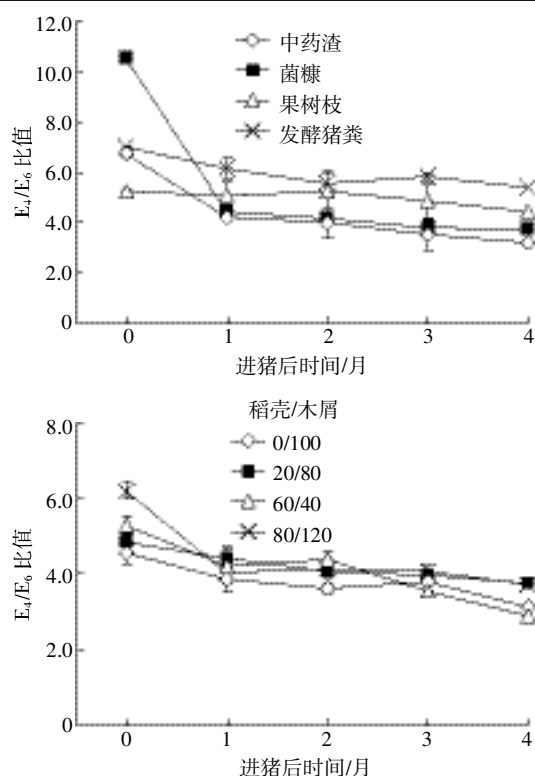


图 4 不同垫料内胡/富比值的变化

Figure 4 Changes of humic acid to fulvic acid ratios (HA/FA ratios) in different bio-bed litters

图5 不同垫料内胡敏酸  $E_4/E_6$  变化Figure 5  $E_4/E_6$  ratios in humic acid of different bio-bed litters

料不同配比间  $E_4/E_6$  比值差异不显著,稻壳/木屑(60/40)垫料胡敏酸  $E_4/E_6$  比值相对较小。这说明在一个饲养周期,稻壳/木屑不同配比垫料内胡敏酸的缩合和芳构化程度也在持续增加,垫料内胡敏酸的品质逐渐增加,但稻壳/木屑不同配比间差异不显著。

发酵猪粪、果树枝、菌糠以及中药渣新垫料  $E_4/E_6$  比值普遍高于稻壳/木屑不同配比的垫料,而且同一取样时期饲养三批猪的垫料  $E_4/E_6$  值明显高于饲养一批猪的垫料,说明使用时间长的垫料腐熟程度相对较高。

与胡/富比值相比可知,在进猪第一、二、三个月取样时期,胡/富比值变化较小,在同一时期,胡敏酸  $E_4/E_6$  比值变化也相对较小,说明胡敏酸的合成与分解处于相对较平衡的时期;但随时间增加至第四个月,猪粪便量增加较大,垫料水分增加,不仅胡/富比值增加,而且胡敏酸  $E_4/E_6$  比值继续下降,说明在胡敏酸含量增加的同时其缩合程度也在增加,也说明到猪饲养后期大量的粪便促进了垫料的发酵腐熟程度。

同时,发酵猪粪、果树枝、菌糠以及中药渣新垫料内腐殖质及其不同组分、胡敏酸  $E_4/E_6$  比值之间差异显著,而饲养三批猪的稻壳/木屑不同配比的老垫料内腐殖质及其不同组分、胡敏酸  $E_4/E_6$  比值之间差异

则不显著。这可能与稻壳/木屑不同配比之间腐殖质及其不同组分初始值差异并不大,使用时间长的垫料相对处于较平稳的发酵状态有关。

### 3 结论

在育肥猪一个饲养周期内,除中药渣、菌糠垫料进猪后一个月内腐殖质及其组分变化特殊外,其他垫料内腐殖质及其不同组分变化规律较一致。发酵猪粪、果树枝、菌糠及中药渣不同原料的垫料对垫料内腐殖质及不同组分含量影响显著,由于使用年限较长相对较稳定,稻壳/木屑不同配比对垫料内腐殖质及不同组分含量影响不显著。与饲养一批猪的垫料相比,饲养三批猪的垫料内腐殖质及其不同组分含量相对较低,但其腐熟程度相对较高。

本试验从不同原料以及不同使用年限的垫料腐殖质含量及组分变化角度,证实了猪发酵床垫料发酵程度与腐熟度随着使用时间的增加而增加,为废弃垫料的资源化利用提供了依据。

### 参考文献:

- [1] 李国学,李玉春,李彦富. 固体废物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 252-256.  
LI Guo-xue, LI Yu-chun, LI Yan-fu. Advance on composting of solid waste and utilization of additives[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(2): 252-256.
- [2] 朱燕,代静玉. 腐殖物质对有机污染物的吸附行为及环境学意义[J]. 土壤通报, 2006, 37(6): 1224-1230.  
ZHU Yan, DAI Jing-yu. Research progress in the structure characterization of humus and its environmental meaning[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(6): 1224-1230.
- [3] 唐景春,孙青,王如刚,等. 堆肥过程中腐植酸的生成演化及应用研究进展[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(5): 73-78.  
TANG Jing-chun, SUN Qing, WANG Ru-gang, et al. Formation and evolution of humic acid during composting process and its application[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2010, 32(5): 73-78.
- [4] 何文远,杨海真,顾国维. 腐殖质生物活性机理研究进展[J]. 腐植酸, 2007(3): 11-16, 36.  
HE Wen-yuan, YANG Hai-zhen, GU Guo-wei. Progression on studies of mechanism for biological activity of humus[J]. *Humic Acid*, 2007(3): 11-16, 36.
- [5] 刘艳华,魏颖,李成,等. 生活垃圾接种微生物堆肥对腐殖组分的影响[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(1): 43-47.  
LIU Yan-hua, WEI Ying, LI Cheng, et al. Effect on humic substance of inoculating microbes on municipal solid waste composting[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2006, 37(1): 43-47.
- [6] 盛清凯,武英,赵红波,等. 发酵床养殖垫料组分的变化规律[J]. 西南农业学报, 2010, 23(5): 1703-1705.  
SHENG Qing-kai, WU Ying, ZHAO Hong-bo, et al. Research on varia-

- tion of compositions in deep-litter systems[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Science*, 2010, 23(5): 1703-1705.
- [7] 陆扬, 吴淑杭, 周德平, 等. 发酵床养猪垫料的养分转化与植物毒性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(7): 1409-1412.
- LU Yang, WU Shu-hang, ZHOU De-ping, et al. Nutrition transformation and phytotoxicity of pig litters under pig-on-litter (POL) system[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(7): 1409-1412.
- [8] 马哈, 郭海宁, 李建辉, 等. 发酵床垫料中有机质及氮素形态变化[J]. *生态与农村环境学报*, 2014, 30(3): 388-391.
- MA Han, GUO Hai-ning, LI Jian-hui, et al. Variation of organic matter and nutrient forms in pig bio-bed litters[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2014, 30(3): 388-391.
- [9] 王福山, 周斌, 汪开英, 等. 发酵床养猪垫料中重金属累积初探[C]//畜牧业环境、生态、安全生产与管理: 2010年家畜环境与生态学术研讨会论文集. 2010: 432-434.
- WANG Fu-shan, ZHOU Bin, WANG Kai-ying, et al. The preliminary study on heavy metals accumulation in deep-litter systems[C]//Animal environment, ecology, safety in production and management: 2010 animal environment and ecology conference proceedings. 2010: 432-434.
- [10] 张霞, 顾洪如, 杨杰, 等. 猪发酵床垫料中氮、磷、重金属元素含量[J]. *江苏农业学报*, 2011, 27(6): 1414-1415.
- ZHANG Xia, GU Hong-ru, YANG Jie, et al. Contents of total nitrogen, total phosphorus and heavy metal elements in padding of pig-on-litter system[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Science*, 2011, 27(6): 1414-1415.
- [11] 张霞, 杨杰, 李健, 等. 猪发酵床不同原料垫料重金属元素累积特性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(1): 166-171.
- ZHANG Xia, YANG Jie, LI Jian, et al. Accumulated characteristics of heavy metals in different pig bio-bed materials[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(1): 166-171.
- [12] 马建民, 郭彤, 郭秀山, 等. 猪发酵床垫料中重金属元素残留分析[J]. *黑龙江畜牧兽医(科技版)*, 2014(1): 195-196.
- MA Jian-min, GUO Tong, GUO Xiu-shan, et al. Analysis of the residues of heavy metallic elements in the bedding of pig fermentation bed[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2014(1): 195-196.
- [13] 李买军, 马哈, 郭海宁, 等. 养猪场发酵床垫料及下层土壤中酶活性变化特性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(4): 777-782.
- LI Mai-jun, MA Han, GUO Hai-ning, et al. Enzyme activities in bedding and soil layers of pig bio-beds[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(4): 777-782.
- [14] 朱洪, 常志州, 王世梅, 等. 基于畜禽废弃物管理的发酵床技术研究 II. 接种剂的应用效果研究[J]. *江苏农业科学*, 2007(2): 228-232.
- ZHU Hong, CHANG Zhi-zhou, WANG Shi-mei, et al. Study on deep litter system for management of livestock manure: II. Study on inoculants application effect[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2007(2): 228-232.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Physical and chemical analysis of soil[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978.
- [16] 李进吉. 畜禽粪便高温堆肥机理与应用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- LI Jin-ji. Study on mechanism of hightemperature composting of live-stock manure and its application[D]. Beijing: China Agriculture University, 2004.
- [17] 黄红丽. 堆肥中木质素的生物降解及与腐殖质形成关系的研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- HUANG Hong-li. Lignin biodegradation and its relationship with humus formation in composting[D]. Changsha: Hunan University, 2006.
- [18] 陈伟玲, 李胜华. 不同堆置措施对树枝堆肥有机物及生物指标的影响[J]. *广州环境科学*, 2011, 26(1): 35-40.
- CHEN Wei-ling, LI Sheng-hua. Effects of stacked measures on the organic and biologic indices in branches compost[J]. *Guangzhou Environmental Science*, 2011, 26(1): 35-40.
- [19] 魏自民, 李英军, 席北斗, 等. 三阶段温度控制接种法对堆肥有机物质变化影响[J]. *环境科学*, 2008, 29(2): 540-544.
- WEI Zi-min, LI Ying-jun, XI Bei-dou, et al. Effect of using three stages inoculation controlled by temperature on organic matter transformation during composting process[J]. *Environmental Science*, 2008, 29(2): 540-544.
- [20] 国洪艳, 徐凤花, 万书名, 等. 牛粪接种复合发酵剂堆肥对腐植酸变化特征的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(3): 1231-1234.
- GUO Hong-yan, XU Feng-hua, WAN Shu-ming, et al. Effects of inoculating complex microbial inoculants to cattle manure compost on dynamic characteristics of humic carbon[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(3): 1231-1234.
- [21] 马怀良, 许修宏. 不同 C/N 对堆肥腐植酸的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2009(6): 64-66, 73.
- MA Huai-liang, XU Xiu-hong. Effect of C/N on humus in composting[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2009(6): 64-66, 73.
- [22] 周文兵, 刘大会, 朱端卫, 等. 不同调理剂对猪粪堆肥腐殖质特性[J]. *华中农业大学学报*, 2005, 24(6): 599-603.
- ZHOU Wen-bing, LIU Da-hui, ZHU Duan-wei, et al. Effect of different conditioners on humification properties of pig feces compost and changes of their element forms[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2005, 24(6): 599-603.
- [23] 钱晓雍, 沈根祥, 黄丽华, 等. 畜禽粪便堆肥腐熟度评价指标体系研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(3): 549-554.
- QIAN Xiao-yong, SHEN Gen-xiang, HUANG Li-hua, et al. An index system for evaluating the maturity of animal manure composting[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 549-554.
- [24] 于安. 鸡粪/木屑强制通风堆肥过程中物质转化规律及微生物种群结构的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009: 27-28, 39-43.
- YU An. Study on substance transformation and microbial population structure in chicken manure/sawdust forced ventilation compost[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009: 27-28, 39-43.
- [25] 斯蒂文森著. 夏荣基译. 腐殖质化学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1994.
- Stevenson F J writed. XIA Rong-ji translate. Humus chemistry[M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1994.