

# 微生物菌剂发酵中草药渣生产有机肥\*

毕京芳<sup>1,2</sup> 黄 钧<sup>1\*</sup> 关梦龙<sup>1,2</sup> 何京钟<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>中国科学院成都生物研究所, 中国科学院环境与应用微生物重点实验室, 四川省环境微生物重点实验室 成都 610041

<sup>2</sup>中国科学院大学 北京 100049

**摘 要** 以中草药渣为堆肥原料, 接入微生物菌剂模拟好氧堆肥, 研究过程中理化性质的变化及接种对堆肥的影响, 分析不同时期堆肥的温度、含水率、pH、纤维素、木质素、总干重、C/N、T值、有机质和种子发芽指数(GI)。结果表明, 在不调pH(5.43)、C/N(21.76)和高含水率(73%)的条件下, 接入微生物菌剂能提高堆肥的温度, 加快水分挥发, 快速启动纤维素和木质素的降解, 提高木质素降解率, 增加总氮含量。接种组种子发芽率28 d就达到85%, 比对照组高25%。经过40 d发酵, 接种组的木质素和纤维素降解率分别达到23.33%和63.09%, 其中木质素降解率比对照组提高了40.43%。堆肥的C/N降到了11.65, T值0.54, pH 7.08, GI 91.89%, 有机质含量约80%, 总养分和重金属含量均符合有机肥料标准(NY525-2012)。因此采用微生物菌剂发酵中草药渣生产有机肥是可行的, 并且能加快堆肥的腐熟。图3 表3 参29

**关键词** 中草药渣; 微生物菌剂; 好氧堆肥; 木质素; 纤维素

CLC S141.4 : X787

## Composting Chinese herbal residues with inoculum of microbial agents to produce organic fertilizer\*

BI Jingfang<sup>1,2</sup>, HUANG Jun<sup>1\*</sup>, GUAN Menglong<sup>1,2</sup> & HE Jingzhong<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Environmental and Applied Microbiology, Environmental Microbiology Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

<sup>2</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract** This research aimed to investigate the physical and chemical properties of Chinese herbal residues as composting materials and the effects of microbial agents on production of organic fertilizer. The temperature, moisture content, pH, cellulose content, lignin content, total dry weight, C/N, T value, organic matter and seed germination index of different composting period were measured and analyzed. The results showed that without adjusting the initial pH (5.43), C/N (21.76) and high moisture content (73%), inoculating microbial agents raised the compost temperature, reduced the moisture content, prompted cellulose and lignin degradation, increased the lignin degradation efficiency and total nitrogen content. The seed germination index of the inoculated group reached 85% on 28 d, which was 25% higher than that of the control group. The degradation efficiencies of cellulose and lignin were 23.33% and 63.09% on 40 d, respectively. Compared to the control group, the lignin degradation efficiency of the inoculated group was improved by 40.43%. At the same time, the compost showed a C/N rate of 11.65, T value of 0.54, pH of 7.08 and seed germination index 91.89%; the organic matter was about 80%. The total nutrient and heavy metals content also conformed to the standards of organic fertilizer (NY525-2012). The results indicated that it is feasible to compost Chinese herbal residues into organic fertilizer with microbial agents, which can effectively accelerate composting.

**Keywords** Chinese herbal residue; microbial agents; aerobic composting; lignin; cellulose

随着中药事业的蓬勃发展, 中草药渣的排放也在急剧增加, 全国中药渣年排放量达3 000万t<sup>[1]</sup>, 其中中草药渣年排放量就高达65万t<sup>[2]</sup>, 如何合理地处置和利用药渣是实现中药现代化进程中一个不可回避的重要问题<sup>[3]</sup>。中草药渣富含有机质和氮、磷、钾等植物所需的营养元素, 且不含致病菌, 重金属含量远低于作为肥料或者基质的允许含量限值, 可

以作为一种良好的无公害有机肥<sup>[4-7]</sup>。但是中草药渣中含有大量的木质纤维素, 与腐殖质产生有密切关系, 而这类物质结构坚硬, 分解困难, 一直被认为是限制快速堆肥的限速有机物<sup>[8-9]</sup>。在堆肥过程中, 微生物的活动对堆肥的质量和腐熟起着关键作用, 微生物的种类、数量和活性影响着堆肥中物质的分解与转化。向堆肥中添加高效微生物菌剂已成为增加微生物数量、调节微生物群落结构、提高微生物活性、改良堆肥品质、加速堆肥腐熟的有效途径之一<sup>[10-12]</sup>。目前, 采用接种微生物菌剂发酵中草药渣生产有机肥的研究<sup>[13-15]</sup>还不多, 其中针对堆肥过程中木质素和纤维素的降解研究还未见报道。

收稿日期 Received: 2014-03-31 接受日期 Accepted: 2014-05-05

\*四川省科技支撑计划项目资助 Supported by the Key Technology R & D Program of Sichuan Province (2011FZ0122)

\*\*通讯作者 Corresponding author (E-mail: huangjun@cib.ac.cn)

因此,本研究以中草药渣为堆肥原料,在不调节C/N和pH以及高含水率的条件下,接入本实验室筛选和保存的高效微生物菌剂进行好氧堆肥,测定堆肥过程中的一系列理化指标,特别是木质素和纤维素的降解,并采用多种评价指标,对堆肥品质和腐熟度进行评价,以期加快中草药渣中木质素和纤维素等物质的降解,探索接入微生物菌剂发酵中草药渣生产有机肥的可行性及相关工艺。

## 1 材料与方法

### 1.1 堆肥原料及理化性质

堆肥原料取自成都某药厂生产儿童退热口服液的中草药渣,主要成分包括青蒿、板蓝根、连翘、菊花、苦杏仁、桔梗、薄荷、甘草等。基本性质见表1。

### 1.2 模拟堆肥试验设计

文献显示中草药渣可以进行好氧堆肥处理<sup>[13-14]</sup>,根据这些文献和我们的预验结果设计了以下模拟堆肥试验:采用中草药渣为堆肥原料,设计对照组(CK)和接种组(JZ),每组3个平行。采用5 L圆桶堆置,调节含水率到73%后每桶分装2 100 g,表面覆盖16层纱布,置于培养箱中控制温度。根据堆肥温度不同,分两批次接种,每次均以1% (*V/m*)的接种量接种。堆肥第1天(d 1)接入耐高温菌剂,由本实验室保存的8株芽孢杆菌及5株放线菌按同一比例混合组成。d 10接入嗜中温菌剂,由本实验室分离并保存的10株真菌同一比例混合组成。以上真菌和放线菌均能在以羧甲基纤维素钠为唯一碳源的培养基上生长,并产生大的透明圈。堆肥周期为40 d,在d 1、d 5、d 8、d 10、d 15、d 19、d 23、d 28、d 40取样。其间每天定时测定堆肥温度、总重量及桶内药渣高度,并进行翻堆。待搅拌均匀后,取一定量样品用于测定其他理化性质,如含水率、纤维素、木质素、pH、有机质、C/N、*T*值等。待堆肥结束后,测定药渣原料及堆肥结束样品的总磷(TP)、总钾(TK)、种子发芽指数(GI)、汞、砷、铬、镉、铅。

### 1.3 样品测定方法

温度采用0-100 ℃温度计于每天9:00测定;含水率用烘干法<sup>[16]</sup>测定;纤维素、木质素采用范氏法测定<sup>[17-18]</sup>;总碳(TC)、总氮(TN)采用元素分析仪(Vario Macro Cube, Elementer, 德国)测定;TP、有机质采用中华人民共和国农业行业标准——有机肥料(NY525-2012)中的测定方法测定;pH值:新鲜堆肥样品按固液比1:10 (*m/V*)加入去离子水,200 r min<sup>-1</sup>振荡浸提1 h,过滤,用pH计(PB-10, Sartorius, 德国)测定<sup>[10]</sup>;GI按文献[19]所述方法进行;重金属Hg、Pb、Cd、Cr、As、K采用电感耦合等离子体质谱仪(NEXION 300, PerkinElmer, 美国)测定。

表1 堆肥原料的性质(干基计)

Table 1 Chemical components of raw materials (in dry basis)

| 总碳 TC (w%)   | 总氮 TN (w%)  | 碳氮比 C/N      | 纤维素 Cellulose (w%) | 木质素 Lignin (w%) | 含水率 Moisture content (w%) | pH          |
|--------------|-------------|--------------|--------------------|-----------------|---------------------------|-------------|
| 49.74 ± 0.35 | 2.29 ± 0.05 | 21.76 ± 0.34 | 39.01 ± 0.67       | 25.04 ± 0.42    | 78 - 80                   | 5.43 ± 0.17 |

## 2 结果与分析

### 2.1 堆肥过程中温度、含水率、重量及高度的变化

温度的变化反映堆肥过程中微生物活性的变化,由于本试验堆肥量较少,自身堆肥很难升温。为模拟实际堆肥,采用烘箱控制温度,使其达到高温期(1-10 d)、降温期(10-15 d)、腐熟期(15-40 d)。由图1a温度的变化可以看出,堆肥温度都略高于烘箱温度,JZ的温度略高于CK,高温(> 50 ℃)天数达到了10 d。堆肥中含水率的变化见图1b,两个处理的含水率随着堆肥的进行都不断降低,JZ含水率降低一直快于CK。d 28时CK和JZ含水率达到58.73%和47.32%,d 40时CK和JZ的含水率分别为55.66%和44.98%。

堆肥中高度和干重的变化见图1c和图1d。随着堆肥的进行,药渣的高度和干重总体上都不断减小。前5 d药渣的高度有所上升,可能是由于调节水分后干药渣吸水膨胀所致。高度的降低主要集中在前28 d,d 28时CK和JZ药渣高度比d 0分别降低了52.94%和61.40%,占总降解率的84.00%和92.11%,JZ的降低率比CK提高了15.98%。d 40时高度分别降低了63.03%和66.67%,JZ的降低率比CK提高了5.78%,两者相差不大。干重减量主要集中在高温期和腐熟期,d 28时CK和JZ分别为57.56%和60.30%,JZ比CK提高了4.77%,到d 40时CK和JZ的干重减量率为67.87%和75.27%,JZ比CK提高了10.90%,d 28时的减量率已达到了总减量率的80%以上。所以,接种菌剂能促进中草药渣的减量,而且d 28时已经达到了很好的减量效果。

药渣原料呈黄褐色,有很浓的药味,粒径一般都小于5 cm,存在少量枝干和块状物,堆肥前不需要做粉碎处理。随着堆肥的进行,药渣颜色由黄褐色变为深褐色,最后变为黑色,并长有很多白色、绿色的菌丝体。药味也渐渐变淡,d 10后出现少量氨气味道,腐熟期可闻到少量霉味及腐殖土味。基本没有大的块状物,整体呈干燥碎末状,有些枝干一捏即碎,没有机械杂质。

### 2.2 纤维素和木质素的降解情况

药渣原料中纤维素含量高达39%,这增加了堆肥的难度。经过40 d的堆置,CK和JZ的纤维素分别降解了62.3%和63.1% (图2),都达到了很好的效果。纤维素的降解主要集中在高温期和腐熟前期(15-28 d),d 5时JZ纤维素的降解率比CK提高了122.22%。d 28时CK和JZ的纤维素降解率分别为59.14%和59.42%,已达到了总降解率的94.95%和94.18%。与纤维素的降解相比,木质素的降解较缓慢,主要集中在腐熟期。试验d 10时JZ的木质素降解率比CK提高了97.97%,d 28时提高了21.18%,d 40时提高了40.43%。以上表明,接入微生物菌剂加快了纤维素和木质素降解的启动,提高了对木质素的降解。

### 2.3 堆肥腐熟度及品质

药渣堆肥中的有机质变化如图3a所示,中草药渣的有机质含量约80%,属于高有机质物料。堆肥过程中有机质含

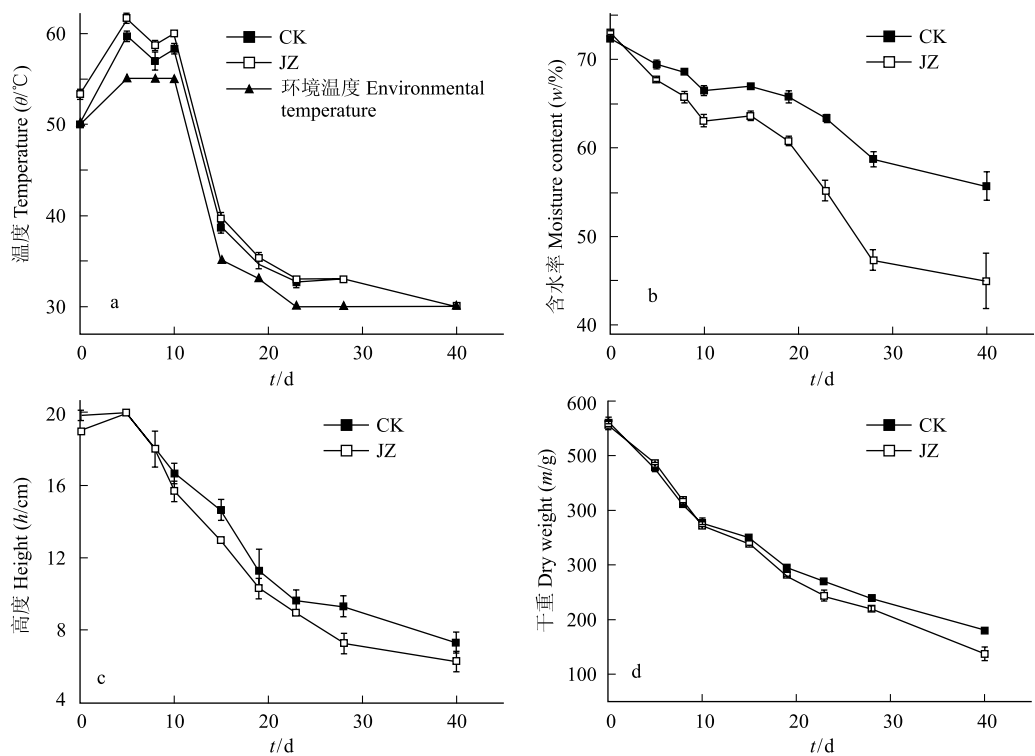


图1 堆肥温度、含水率、高度和总干重随时间的变化。  
Fig. 1 Changes of temperature, moisture content, height and total dry weight during composting.

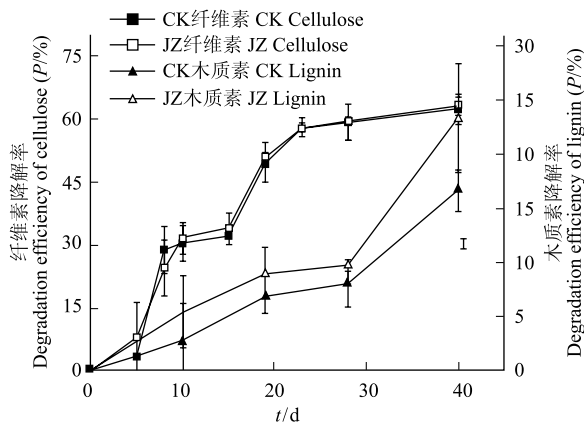


图2 堆肥过程中纤维素及木质素的降解率。  
Fig. 2 Degradation efficiency of cellulose and lignin during composting.

量有所减少, d 40时CK和JZ分别比d 0减少了9.33%和8.74%, 有机质含量仍然将近80%。TC和TN变化如图3b所示, TC的含量呈下降趋势, 变化趋势与有机质相似。总氮的含量呈上升趋势, d 28时CK和JZ总氮含量比d 0分别增加了60.18%和68.98%, 分别占总增量的93.30%和97.90%, JZ的总氮增量比CK提高了14.61%。d 40时总氮含量比d 0分别增加了64.51%和70.45%, JZ的总氮增量比CK提高了9.22%。pH的变化如图3c所示, 初始pH为 $5.43 \pm 0.15$ , 偏酸性。两个处理的pH总体呈上升趋势, 高温期和降温期上升最快, 到d 23时达到了7.0, d 40时CK和JZ的pH都达到了7.1。

初始C/N比为21.76, 属于低C/N原料。从图3d可以看出, 经过28 d的发酵, C/N和T值都有了很大的降低, 其中CK和JZ的C/N比d 0分别减小了40.07%和43.96%, 达到了总减少率的89.28%和94.62%。CK的T值刚达到0.6, 而JZ的为0.56, 低于CK, 说明d 28时两组堆肥都已达到腐熟, 并且JZ腐熟程度好于CK。

CK和JZ在d 28时的发芽指数分别为 $60.04\% \pm 2.70\%$ 和 $85.00\% \pm 6.21\%$ , 后者比前者提高了41.58%。d 40时, CK和JZ的发芽指数分别为 $85.77\% \pm 7.75\%$ 和 $91.89\% \pm 9.33\%$ , 后者比前者高出了7.14%。由此可见到d 40时堆肥都达到了腐熟, 其中JZ到d 28就已经没有植物毒性, 比CK早腐熟。

#### 2.4 全磷、全钾及重金属

堆肥过程中TP、TK、总养分及重金属含量见表2和表3, TP、TK和总养分(氮+五氧化二磷+氧化钾)的含量在堆肥过程中都在增加。其中, CK和JZ的TP含量分别增加了70.59%和82.35%, TK含量分别增加了70.45%和68.18%, 总养分含量分别增加了71.15%和81.09%。d 40时, CK和JZ的总养分含量都大于5%, 重金属含量也符合有机肥料(NY525-2012)标准。因此微生物菌剂发酵药渣原料可以作为生产有机肥的安全基质。

表2 堆肥过程中TP和TK的变化(干基计)  
Table 2 TP and TK in the process of composting (in dry basis)

| 项目<br>Item | TP (w%) |                  | TK (w%) |                  | 总养分<br>Total nutrient (w%) |                 |
|------------|---------|------------------|---------|------------------|----------------------------|-----------------|
|            | 0 d     | 28 d             | 0 d     | 28 d             | 0 d                        | 28 d            |
| CK         | 0.17    | $0.29 \pm 0.002$ | 0.44    | $0.75 \pm 0.007$ | 3.12                       | $5.34 \pm 0.13$ |
| JZ         | 0.17    | $0.31 \pm 0.022$ | 0.44    | $0.74 \pm 0.012$ | 3.12                       | $5.65 \pm 0.21$ |

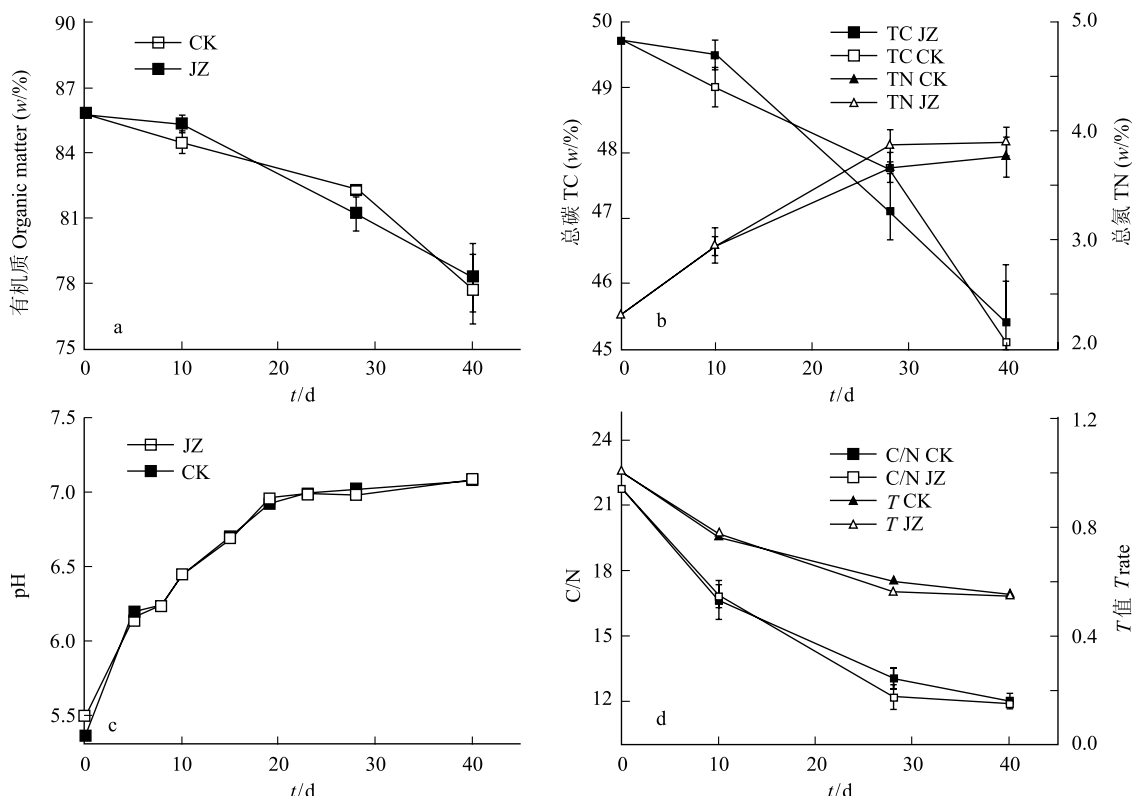


图3 堆肥过程中有机质、总碳、总氮、pH、C/N及T值的变化。  
Fig. 3 Organic matter, TC, TN, pH, C/N and T rate during composting.

表3 药渣原料和堆肥中重金属含量(干基计)

| 重金属 Heavy metal (w/mg kg <sup>-1</sup> )    | Hg  | Pb   | Cr    | Cd   | As   |
|---------------------------------------------|-----|------|-------|------|------|
| 0 d                                         | < 1 | < 50 | 62    | 0.62 | 1.07 |
| 28 d                                        | < 1 | < 50 | 71    | 1.03 | 1.49 |
| 有机肥料标准 (NY525-2012)                         | ≤ 2 | ≤ 50 | ≤ 150 | ≤ 3  | ≤ 15 |
| Standard of organic fertilizer (NY525-2012) | ≤ 2 | ≤ 50 | ≤ 150 | ≤ 3  | ≤ 15 |

### 3 讨论

堆肥过程中微生物降解原料产生热量, JZ升高的温度比CK的高, 说明接入微生物菌剂加快了堆肥过程中的新陈代谢。合理的含水率是保证堆肥中微生物正常生长的关键因素<sup>[20]</sup>, 堆肥原料的含水率一般控制在50%-80%之间, 具体控制在多少取决于堆肥原料的组成、性质和有机质含量<sup>[21]</sup>。中草药渣主要是一些经过蒸煮之后的植物残骸, 初始含水率为75%-80%。我们经过多次预实验发现, 将起始含水率调到73%比调到65%更有利于堆肥进行, 这可能是中草药渣比较疏松, 透气性较好的缘故。这样原料经过简单风干即可进行堆肥, 可节约烘干成本<sup>[15]</sup>。堆肥过程中水分散发较快, 并且JZ的含水率减小快于CK, 这可能是由于接入菌剂后堆肥升温较快, 温度较高, 利于水分蒸发, 这非常有利于对堆肥后续处理与利用。在烘箱中环境相对封闭, 不利于水分散失。在大堆试验时, 可以通过加大翻堆频率来加快水分蒸发, 使其达到30%以下。药渣干重的减少主要集中在高温期和腐熟期, 降温期干重减少较小, 可能是由于堆肥由高温转为中温, 原先

的微生物菌群失去了最佳的生存条件, 群落发生变化所致。同时, 药渣高度也不断降低, d 28时降低的高度已超过总降低的80%, 并且JZ降低的比CK快, 这说明接入微生物菌剂对堆肥体积的减量有很好的效果。

木质素和纤维素是堆肥中的难降解物质, 其中木质素对整个降解过程的影响最大<sup>[22]</sup>。本研究中纤维素和木质素的降解都达到了很好的效果, d 28时纤维素的降解率已达到了总降解率的94%以上, 为将堆肥时间由40 d缩短至28 d提供了依据。从d 5纤维素和木质素的降解率可以看出, 接入微生物菌剂加快了对纤维素和木质素降解的启动, 并且d 40时JZ的木质素降解率比CK提高了40.43%, 表明接入菌剂对木质素的降解具有明显的促进作用。

堆肥物料中的碳素是微生物用于生命活动的能源和碳源, 氮素是微生物用于合成生命体的重要组成部分, 它们的含量影响着整个堆肥中微生物对物质的分解和利用。堆肥过程中碳素不断减少, 堆肥结束时JZ的总碳含量高于CK, 这说明接入菌剂减少了碳素的损失, 减轻了温室气体的排放。总氮含量不断增加, 一方面可能是由于药渣总质量减少导致总氮含量相对增加, 另一方面, 我们接种的菌剂中有固氮作用的菌株, 但其中在药渣堆肥中的固氮作用还有待于进一步研究。C/N被看作是评价堆肥腐熟的最重要指标之一<sup>[23-24]</sup>, 一般堆肥起始的最佳C/N是25-30, 当C/N达到20以下时, 认为堆肥腐熟<sup>[25]</sup>。由于起始C/N不一, Morel建议采用 $T = (\text{终点C/N}) / (\text{起点C/N})$ 来评价城市垃圾堆肥的腐熟度, 并提出当T值小于0.6时认为堆肥腐熟<sup>[26]</sup>。黄国锋经过统计认为不同堆



肥原料的 $T$ 值变化不大,在0.5-07之间,可以作为不同物料堆肥腐熟的评价指标<sup>[27]</sup>。本研究中堆肥C/N和 $T$ 值表明d 28时两组堆肥都已腐熟,并且JZ的腐熟效果好于CK,为将堆肥时间缩短至28 d提供了可靠的依据。

GI是堆肥腐熟的另一个重要指标,是对堆肥样品低毒性(影响根长)和高毒性(影响发芽)的综合表现,被认为是评价堆肥腐熟的最终和最具说服力的方法<sup>[19, 27-28]</sup>。Zucconi等认为,当 $GI > 50\%$ ,可认为堆肥达到了可接受的腐熟度,即基本上没有毒性,若 $GI > 80\%$ ,表明堆肥已完全腐熟<sup>[29]</sup>。本研究中的GI结果表明, d 28时JZ的堆肥已完全腐熟,而CK才刚达到可接受的腐熟。因此,接入菌剂能加快堆肥腐熟,将堆肥时间缩短到28 d。

pH直接影响微生物生长繁殖的环境,一般认为, pH在3-12之间都可以进行堆肥<sup>[21]</sup>。本研究中原料的pH约为5.43,堆肥过程中pH不断升高至结束时达到7.1,符合有机肥料标准(NY525-2012)。本工艺中,原料不需粉碎、烘干、调节pH和C/N直接堆肥,可降低堆肥生产成本。

堆肥结束时有机质、总养分及重金属的含量符合中华人民共和国农业行业标准——有机肥料(NY525-2012),因此采用该微生物菌剂发酵中草药渣进行堆肥生产有机肥是可行的。但还需放大堆肥规模,进一步研究和验证对菌剂的功能和安全性。

## 4 结论

(1) 经过40 d堆肥发酵, C/N降到了11.65,  $T$ 值0.54, pH值7.08, GI 91.89%, 有机质含量约80%, 总养分含量大于5%, 重金属含量未超标,符合中华人民共和国农业行业标准——有机肥料(NY525-2012)。

(2) 与对照相比,接入微生物菌剂能提高堆肥温度,加快水分挥发,快速启动纤维素和木质素的降解,提高木质素降解,增加总氮含量,减少碳素损失,提高种子发芽指数。因此,接入微生物菌剂可以加快中草药渣腐熟及提高堆肥品质。

(3) 采用微生物菌剂发酵中草药渣,原料不需粉碎、烘干、调节pH和C/N, d 28时已达到腐熟。

## 参考文献 [References]

- 周达彪,唐懋华. 中药渣农业循环利用模式产业化探讨[J]. 上海蔬菜, 2007, 6: 112-114 [Zhou DB, Tang FH. Discussion of agricultural recycle mode industrilization of Chinese medicine residues [J]. *Shanghai Veg*, 2007, 6: 112-114]
- 杨磊,夏禄华,张衷华. 植物提取生产中固形废弃物生态化利用的现状与发展趋势[J]. 现代化工, 2008, 28 (4): 14-17 [Yang L, Xia LH, Zhang ZH. Present situation and development trend of eco-utilization of residue production in plant extraction [J]. *Mod Chem Ind*, 2008, 28 (4): 14-17]
- 马逊风,马宏军,唐占辉,金成浩,刘铁菊,刘忠民. 中药渣剩余成分分析及利用途径研究[J]. 东北师大学报自然科学版, 2004, 36 (2): 109-111 [Ma XF, Ma HJ, Tang ZH, Jin CH, Liu TJ, Liu ZM. Study of remaining components analysis and utilization ways of Chinese medicine residues [J]. *J Northeast Norm Univ*, 2004, 36 (2): 109-111]
- 唐懋华,成维东. 中药渣基质对蔬菜育苗及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2005, 4: 81-82 [Tang FH, Cheng WD. Influence of Chinese medicine residues on the seeding and yield of vegetables [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2005, 4: 81-82]
- 李小妹,邢后银,汪小斌. 中药渣基质穴盘嫁接西瓜苗大棚栽培技术[J]. 现代农业科技, 2008, 12: 38-39 [Li XM, Xing HY, Wang XF. Greenhouse cultivate technology of using Chinese medicine residues to hole tray grafting watermelon seeding [J]. *Mod Agric Sci Tech*, 2008, 12: 38-39]
- 王引权,安培坤. 中药渣堆肥与化肥配合施用对当归产量与品质的影响[J]. 甘肃中医学院学报, 2012, 29 (5): 51-55 [Wang YQ, An PK. Influence of using Chinese medicine residues and chemical fertilizer on the yield and quality of *Angelica sinensis* [J]. *J Gansu Coll TCM*, 2012, 29 (5): 51-55]
- 张跃群,余德琴,胡永进. 中药渣有机基质栽培番茄试验研究[J]. 长江蔬菜, 2009, 12: 59-62 [Zhang YQ, She DQ, Hu YJ. Study of using Chinese medicine residues on cultivating tomato [J]. *J Changjiang Veg*, 2009, 12: 59-62]
- 邓辉,王成,吕豪豪,王飞儿,屠巧萍,吴伟祥. 堆肥过程放线菌演替及其木质纤维素降解研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2013, 19 (4): 581-586 [Deng H, Wang C, Lü Haohao, Wang FE, Tu QP, Wu WX. Research Progress in succession of actinomycetal communities and their capacity of degrading lignocellulose during composting process [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2013, 19 (4): 581-586]
- 席北斗,刘鸿亮,白庆中,黄国和,曾光明. 堆肥中纤维素和木质素的生物降解研究现状[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3 (3): 19-23 [Xi BD, Liu HL, Bai QZ, Huang GH, Zeng GM. Study on current status of lignin and cellulose biodegradation in composting process [J]. *Tech Equip Environ Poll Cont*, 2002, 3 (3): 19-23]
- 王晓娟,李博文,刘微. 不同微生物菌剂对鸡粪高温堆腐的影响[J]. 土壤通报, 2012, 43 (3): 637-643 [Wang XJ, Li BW, Liu W. The influence of inoculating microbial agents and high temperature on the composting of chicken manure [J]. *Chin J Soil Sci*, 2012, 43 (3): 637-643]
- Pramanik P, Ghosh GK, Banik P. Effect of microbial inoculation during vermicomposting of different organic substrates on microbial status and quantification and documentation of acid phosphatase [J]. *Waste Manage*, 2009, 29 (2): 574-578
- Vargas-Garcia MD, Suarez-Estrella FF, Lopez MJ, Moreno J. Influence of microbial inoculation and co-composting material on the evolution of humic-like substances during composting of horticultural wastes [J]. *Process Biochem*, 2006, 41 (6): 1438-1443
- 徐秀银,陈学祥,杨静. 利用中药渣生产有机基质发酵条件研究[J]. 江苏农业科学, 2010, 3: 348-350 [Xu XY, Cheng XX, Yang J. Study on the fermentation conditions of using Chinese medicine residues to produce organic matrix [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2010, 3: 348-350]
- 王虹,宋广梅. 外源添加物对中药渣堆肥效果的影响[J]. 安徽农学通报, 2013, 19 (17): 69-71 [Wang H, Song GM. Influence of adding additional additive on the compose of the Chinese medicine residues [J].

- Anhui Agric Sci Bull*, 2013, **19** (17): 69-71]
- 15 梁卫驱, 郑芝波, 温洁明, 陈仕丽, 李巧红. 复合菌剂在中草药渣堆肥中的应用研究[J]. 广东农业科学, 2009, **5**: 150-152 [Liang WQ, Zheng ZB, Wen JM, Cheng SL, Li QH. Applied research of using microbial agents on the compostion of Chinese herbal medicine residues [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2009, **5**: 150-152]
- 16 张相锋, 王洪涛, 周辉宇. 花卉秸秆和牛粪联合堆肥的中试研究[J]. 环境科学学报, 2003, **23** (3): 360-364 [Zhang XF, Wang HT, Zhou HY. Co-composting of flower waster and cattle manure in pilot scale [J]. *Acta Sci Circumst*, 2003, **23** (3): 360-364]
- 17 冯继华, 曾静芬, 陈茂椿. 应用VanSoest法和常规法测定纤维素及木质素的比较[J]. 西南民族学院学报, 1994, **20** (1): 55-56 [Feng JH, Zeng JF, Chen MC. Compare the method of Van Soest and conventional methods to measure the lignocellulose content [J]. *J Southwest Natl Coll*, 1994, **20** (1): 55-56]
- 18 李思蓓, 解玉红, 罗晶, 冯妍. 秸秆预处理中木质纤维物质含量测定方法的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, **39** (3): 1620-1622 [Li SP, Xie YH, Luo J, Feng X. Research progress of content determination method of xylem fiber material in straw pretreatment [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2011, **39** (3): 1622-1626]
- 19 汤江武, 朱利中. 不同堆肥条件对种子发芽指数影响的研究[J]. 浙江农业科学, 2008, **5**: 583-586 [Tang JW, Zhu LZ. Research of the influence of difference composting conditions on the seed germination index [J]. *J Zhejiang Agric Sci*, 2008, **5**: 583-586]
- 20 Liang C, Das K, McClendon R. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend [J]. *Biores Technol*, 2003, **86** (2): 131-137
- 21 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. 31 [Li GX, Zhang FS. Production of the solid waste composting and organic compound fertilizer [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000. 31]
- 22 Vikman M, Karjomaa S, Kapanen A, Wallenius K, Itavaara M. The influence of lignin content and temperature on the biodegradation of lignocellulose in composting conditions [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2002, **59** (4): 591-598]
- 23 Zhu N. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw [J]. *Bioresour Technol*, 2007, **98** (1): 9-13
- 24 Garcia C, Hernandez T, Costa F, Ayuso M. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters [J]. *Commun Soil Sci Plan*, 1992, **23** (13-14): 1501-1512
- 25 Michel Jr FC, Forney LJ, Huang AJF, Drew S, Czuprenski M, Lindeberg J, Reddy CA. Effects of turning frequency, leaves to grass mix ratio and windrow vs. pile configuration on the composting of yard trimmings [J]. *Compost Sci Util*, 1996, **4** (1): 26-43
- 26 Morel JL, Colin F, Germon JC, Godin P, Juste C. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost [C]//Gasser JKR. Composting of agricultural and other wastes. New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. 56-72
- 27 黄国锋, 钟流举, 张振钿, 吴启堂. 有机固体废弃物堆肥的物质变化及腐熟度评价[J]. 应用生态学报, 2003, **14** (5): 813-818 [Huang GM, Zhong LJ, Zhang ZX, Wu QT. Physicochemical changes and maturity evaluation of solid organic waste compost [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2003, **14** (5): 813-818]
- 28 黄国锋, 吴启堂, 孟庆强. 猪粪堆肥化处理的物质变化及腐熟度评价[J]. 华南农业大学学报(自然科学版), 2002, **23** (3): 1-4 [Huang GF, Wu QT, Meng QC. Material change and maturity evaluation of the composting of pig manure [J]. *J South China Agric Univ (Nat Sci)*, 2002, **23** (3): 1-4]
- 29 Zucconi F, Pera A, Forte M, Debertoldi M. Evaluating toxicity of immature compost [J]. *BioCycle*, 1981, **22** (2): 54-57