

## 棉秆作为无土栽培基质的适宜发酵条件

张 晔, 余宏军, 杨学勇, 蒋卫杰<sup>\*</sup>

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081)

**摘 要:** 为了研究棉秆作为无土栽培基质的最佳发酵条件, 用正交设计的方法研究了 C/N、秸秆长度、添加氮源对棉秆发酵性能参数(包括发酵温度、有机碳、通气孔隙度、持水孔隙度、积温、种子发芽指数、电导率、pH 值和容重)的影响。结果表明, 在发酵过程中, C/N 为 25:1、秸秆长度为 1 cm、氮源为鸡粪+尿素的组合有利于堆体保持较长时间的高温(>50℃), 分别达到 9、10、8 d, 可缩短秸秆腐熟的时间。C/N 对总孔隙度降低的影响显著, C/N 为 25:1 的处理达到 66.0%, 降低了 24.8%。秸秆长度对持水孔隙度、容重提高和积温有显著性作用, 秸秆长度为 1 cm 的处理分别达到 59.2%、0.30 g/cm<sup>3</sup>、1315.75℃, 与发酵前相比持水孔隙度提高了 111.1%, 容重提高了 76.4%。氮源对积温有显著性影响, 氮源为鸡粪+尿素的组合达到 1 354.41℃。确定棉秆宜采用 C/N 为 25:1, 秸秆长度为 1 cm、氮源为鸡粪+尿素的组合进行发酵。该研究中将棉秆发酵后作为草炭的替代品, 不仅减少了对草炭开采造成的生态破坏, 还能促进农业废弃物的循环利用, 并且大幅度降低了无土栽培基质的成本, 将会产生巨大的经济及环境效益, 具有重要的研究价值和现实意义。

**关键词:** 秸秆, 发酵, 氮, 正交试验, 腐熟度指标, 无土栽培基质

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.12.027

中图分类号: S141.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-12-0210-08

张 晔, 余宏军, 杨学勇, 等. 棉秆作为无土栽培基质的适宜发酵条件[J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 210-217.  
Zhang Ye, Yu Hongjun, Yang Xueyong, et al. Favorable conditions of cotton straw composting using as soilless culture substrate[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(12): 210-217. (in Chinese with English abstract)

### 0 引 言

近年来, 有机生态型无土栽培已成为中国无土栽培发展的主要形式。有机基质因其理化性质稳定, 供肥充足, 来源广泛, 成本低廉, 被广大农民接受, 因此对基质的需求量连年增加。目前关于油菜、玉米、小麦等秸秆的研究报道较多<sup>[1-2]</sup>, 但有关棉秆发酵作为栽培基质的研究尚少见报道。棉秆资源非常丰富, 而且逐年递增, 据不完全统计, 中国棉花种植面积为 466~486 万 hm<sup>2</sup>/年。前人对棉秆的基质配比进行较多研究, 如崔元珩等<sup>[3]</sup>认为 5 份棉花秸秆+3 份蛭石+2 份河沙, 6 份棉花秸秆+2 份蛭石+2 份河沙为利用棉秆栽培番茄的最佳基质配

方, 但是有对影响棉秆发酵的因素的研究鲜有报道。如何通过发酵将棉秆转化成栽培基质是本文的探索方向。C/N、秸秆长度、氮源通常是秸秆发酵的核心问题。通常 C/N 在 25:1~30:1 或 30:1~35:1 较为合适<sup>[4-5]</sup>, 但是针对不同的秸秆又有差别。Handreck 等<sup>[6]</sup>认为, 在秸秆发酵之前应将秸秆处理成合适的颗粒大小。秸秆长度直接作用基质容重、总孔隙度的大小和大小孔隙比, 过大或过小都不利于植物根系的生长。将秸秆控制在一定长度范围内, 可以促进发酵进程、增强发酵效果以合适的氮源来调节 C/N。在农作物秸秆发酵前需要添加氮源, 比如鸡粪、尿素、复合肥等<sup>[2,7-8]</sup>。无机氮源较有机氮源来说更容易被微生物利用, 因为有机氮源中的氮要经过从有机氮转化成无机氮的过程而无机氮可直接被微生物利用。但是有机氮持续释放更有利于微生物的长期利用。因此要根据发酵材料的特性来选择合适的氮源。因为棉秆质地较硬, 选择哪种氮源更有利于微生物对棉秆降解, 直接影响发酵效果。因此笔者对棉秆的主要作用因素进行了试验研究, 旨在为实际生产提供优化发酵参数, 为棉秆快速资源化利用提供科学依据。

收稿日期: 2013-05-08 修订日期: 2013-05-27

基金项目: 支撑计划(2011BAD12B01); 国家大宗蔬菜产业技术体系(CARS-25-C-09); 中央级公益性科研院所专项资金项目; 农业行业科技专项(201203095, 201203001)。

作者简介: 张 晔(1986-), 女, 主要从事蔬菜生理与栽培技术研究, 北京 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 100081。

Email: nongkeyuan123@163.com

\*通信作者: 蒋卫杰(1965-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事温室作物无土栽培技术和逆境生理研究。北京 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 100081。Email: jiangweijie@caas.cn

# 1 材料与方 法

## 1.1 试验材料与 设计

棉秆来自北京房山区，粉碎机筛孔设定为 1、2、3 cm，将棉秆粉碎成 1、2、3 cm<sup>3</sup> 种长度，备用。鸡粪来自于廊坊鸡场，晒干备用。添加菌剂为京圃园有机废物发酵菌曲。试验于 2012 年 2—3 月在中国农业科学院蔬菜花卉研究所玻璃温室内进行。该试验设置了 C/N、秸秆长度、氮源 3 个因素，每个因素设置了 3 个水平（见表 1），并采用 L9(3<sup>4</sup>)正交表（见表 2）设置不同处理。每个处理使用 1 m×0.5 m 的编织袋装 5 kg 棉秆，添加肥料的量（如表 3），混入棉秆总质量 3% 的菌剂，加水至含水率在 60% 左右。每个处理 3 个重复，各处理随机排列，每 10 d 进行 1 次翻堆。发酵前后利用四分法进行取样。

表 1 棉秆发酵试验因素和水平表

水平 Level	C/N	秸秆长度 Cotton straw size/cm	氮源 Nitrogen source
1	25:1	1	尿素
2	30:1	2	鸡粪
3	35:1	3	鸡粪+尿素

表 2 L9(3<sup>4</sup>)正交试验设计表  
Table 2 Orthogonal design of L9(3<sup>4</sup>)

处理 Treatment	C/N/cm	秸秆长度 Cotton straw size/cm	氮源 Nitrogen source
1	1(25:1)	1(1)	1(尿素)
2	1	2(2)	2(鸡粪)
3	1	3(3)	3(鸡粪+尿素)
4	2(30:1)	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3(35:1)	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

表 3 5 kg 棉秆添加氮源的量

C/N	尿素 Urea/kg	鸡粪 Chicken manure/kg	鸡粪+尿素 Chicken manure and urea/kg
25:1	0.064	1.780	0.890+0.032
30:1	0.031	0.789	0.395+0.015
35:1	0.007	0.178	0.089+0.004

## 1.2 测定项目与方 法

1) 温度、有机碳、全氮的测定：温度自动记录仪进行温度的测定。有机碳用重铬酸钾法测定。全氮由 KDY-9810 凯氏定氮仪测定。

2) 持水孔隙度和通气孔隙度<sup>[9-10]</sup>的计算：取基质加满在一定体积的铝盒中后称质量，浸泡在水中 24 h 后称质量，将水分自由沥干 24 h 后称质量，最

后将基质放入烘箱内烘至质量恒定后称质量，按以下公式计算

$$\text{通气孔隙度}(\%) = \frac{(W1 - W2)}{V} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{持水孔隙度}(\%) = \frac{(W2 - W3)}{V} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{总孔隙度} = \text{持水孔隙度} + \text{通气孔隙度} \quad (3)$$

$$\text{含水率}(\%) = \frac{(W1 - W3)}{V} \times 100 \quad (4)$$

式中，W1 为浸泡 24 h 后质量，g；W2 为控水 24 h 后质量，g；W3 为烘干后质量，g；V 为铝盒体积，mL。

3) 容重、EC、pH 值的测定<sup>[11]</sup>：样品和蒸馏水 1:5 的体积混合，30 min 后再经振荡后用 pH 计测定 pH 值；EC 计测定电导率。

$$\text{容重}(\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{W}{V(1 + \omega)} \quad (5)$$

式中，W 为加铝盒中基质的净质量，ω 为含水率，%。

4) 积温：将各处理每天平均温度进行累加。

5) 将基质与蒸馏水按体积比为 1:5 的比例浸提 24 h；定性滤纸过滤后取 6 mL 加到铺有滤纸的 9 cm 培养皿中，每个培养皿中放入 20 粒小白菜种子，以蒸馏水作对照，每个处理设 3 个重复。放入 25℃ 恒温培养箱中进行发芽试验，48 h 后取出，测量根长并计算发芽率，按照 Zucconi 方法<sup>[12]</sup>计算发芽指数。

$$\text{发芽率}(\%) = \frac{\text{种子平均发芽数}}{\text{种子总数}} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{发芽指数}(\%) = \frac{\text{处理胚根长度平均值} \times \text{处理发芽率}}{\text{对照胚根长度平均值} \times \text{对照发芽率}} \times 100 \quad (7)$$

6) 数据处理采用 EXCEL 分析，测定结果采用 SPSS 软件 Dunken 多重比较法进行统计分析。

# 2 结果与分 析

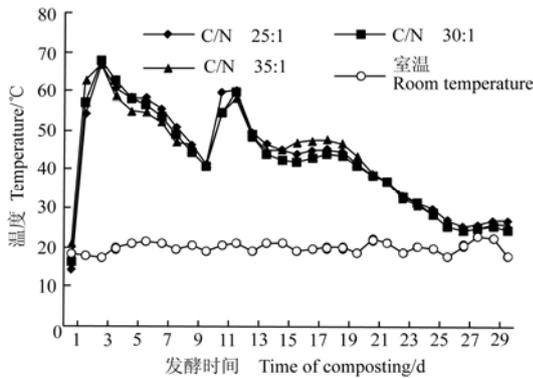
## 2.1 不同因素对棉秆发酵温度的影响

发酵是指原材料在微生物的作用下，经过升温阶段、高温阶段逐渐达到腐熟的降温阶段的过程。在持续一段高温的过程中可以杀死原材料中的病原微生物，因此温度可以体现微生物活动情况以及发酵情况<sup>[13]</sup>。

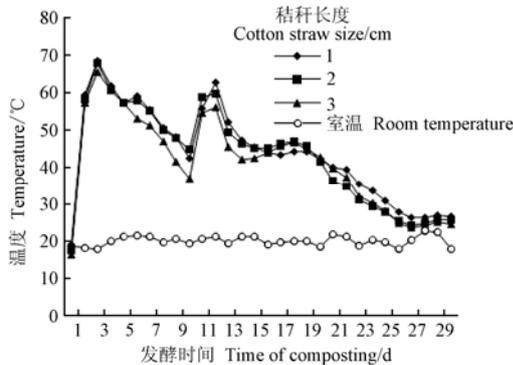
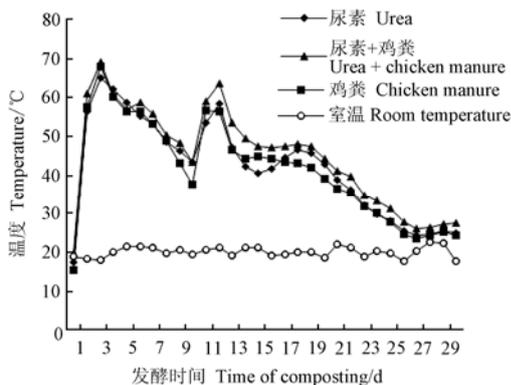
### 2.1.1 不同 C/N 对棉秆发酵过程中温度的影响

如图 1a 可以看出不同 C/N 处理的棉秆在发酵过程中的温度均呈先上升后下降的趋势，各处理均从第 2 天开始迅速升温。第 8 天，C/N 为 25:1 的处理保持在 50℃ 以上，另外 2 个处理则低于 50℃。第 9 天，均低于 50℃。第 10 天进行了翻堆温度持续下降。第 11 天，C/N 为 25:1 的处理温度上升到 59.8℃，C/N 为 30:1 和 35:1 分别上升到 54.4 和 54.6℃。由此可见，

在发酵前期进行翻堆补水可使堆体进行第2次升温发酵。3个处理高于50℃分别持续了9、8、8 d。3个处理高于55℃分别持续了7、6、6 d。在高温阶段,第4天到第8天,第11天到第14天,C/N为25:1的处理始终高于另外2个处理。综上,C/N为25:1的处理保持堆体高温的效果较好于另外2个处理。



a. C/N

b. 秸秆长度  
b. Cotton straw sizec. 氮源  
c. Nitrogen source

注:图a中数据为不同秸秆长度和不同氮源处理的平均值;图b中数据为不同C/N和不同氮源处理的平均值;图c中数据为不同C/N和不同秸秆长度的平均值。

Note: Date in figure a was the average of different cotton straw sizes and nitrogen treatments; Date in figure b was the average of different carbon-nitrogen ratio and nitrogen treatments, Date in figure c was the average of different carbon-nitrogen ratio and nitrogen treatments.

图1 棉秆发酵过程中不同处理在温度的变化

Fig.1 Temperature change of the different treatments during composting period

## 2.1.2 不同秸秆长度对棉秆发酵温度过程中的影响

如图1b可以看出不同秸秆长度处理的棉秆在发酵过程中的温度均呈先上升后下降,经过翻堆出现第2次升温后下降的趋势。第5天起秸秆长度为3 cm的处理温度明显低于另外2个处理。秸秆长度为1 cm的处理,除第10天和第11天外均高于2 cm的处理。3个处理温度高于50℃分别持续了10、9、8 d。3个处理温度高于55℃分别持续了8、8、5 d。由此可见,秸秆长度为1 cm时,更利于保持棉秆高温发酵。

## 2.1.3 添加不同氮源对棉秆发酵过程中温度的影响

如图1c可以看出添加不同氮源的棉秆在发酵过程中温度变化均呈先上升后下降,经过翻堆出现第二次升温后下降的趋势。氮源为鸡粪+尿素处理的发酵温度除第4天和第5天,其余各天温度均高于添加另外2种氮源的处理。添加尿素、鸡粪、鸡粪+尿素3个处理温度高于50℃分别为8、8、10 d,高于55℃分别为6、7、8 d。说明棉秆发酵添加鸡粪+尿素更利于保持棉秆高温发酵。

## 2.1.4 不同因素对棉秆发酵有效积温的影响

由表4可以看出C/N对棉秆发酵过程中的积温变化作用显著,秸秆长度和氮源这2个因素则为极显著(表5)。由F值大小可以判断(表5)3个因素对积温提高程度大小依次为:氮源>秸秆长度>C/N。在不同C/N处理中,C/N为25:1(1289.56℃)和35:1(1290.86℃)的处理无显著性差异,但两者却显著高于30:1,在不同秸秆长度和氮源的处理中各水平间均有显著性差异,以秸秆长度为1 cm、氮源为鸡粪+尿素的处理积温最高,分别达到1315.75和1354.41℃。

## 2.2 棉秆发酵后的浸提液对小白菜种子发芽指数的影响

农作物秸秆经过发酵后会产生一些具有植物毒性的物质,它们会抑制种子发芽和植物生长。因此,用基质萃取液中植物种子的发芽指数(GI)可以用来检测基质是否对植物有害。Zucconi等<sup>[12]</sup>认为,如果,GI>50%,则可认为基本腐熟,当GI达到80%~85%时,这种堆肥就可以认为已经完全腐熟,对植物没有毒性。由表4可以看出,各处理均大于85%说明其植物毒性消失。经正交试验方差分析,3种因素对种子发芽指数均无显著作用(表5)。以上结果说明不同处理的发酵棉秆的浸提液均不会对种子的发芽产生毒害作用。

## 2.3 不同因素对棉秆发酵前后C/N的影响

发酵过程中,C/N、秸秆长度、氮源均对棉秆C/N的降低没有显著性作用(表5)。由表4可以

看出，与发酵前相比，在不同 C/N 中，初始 C/N 为 25:1 和 30:1 的棉秆发酵后的 C/N 比较低为 17:1。在秸秆长度为 1 cm 和氮源为尿素或鸡粪+尿素的处

理分别下降 46%、43%。说明秸秆长度为 1 cm，添加尿素或鸡粪+尿素进行棉秆发酵有利于其 C/N 的降低。

表 4 不同因素处理对棉秆发酵有效积温、C/N 及发酵后浸提液对小白菜发芽指数的影响  
Table 4 Influence of different factors on C/N, GI and accumulated temperature of cotton after composting

因素 Factor	发酵前 Pre-composting	C/N			种子发芽指数 (GI) Germination index/%	积温 Accumulated temperature/°C
		发酵后 After composting	降低比例 Reduce ratio/%			
C/N	25:1	25:1	17:1a	32	118.2a	1289.56a
	30:1	30:1	17:1a	43	113.5a	1264.24b
	35:1	35:1	19:1a	45	112.0a	1290.86a
秸秆长度 Cotton straw size/cm	1	30:1	16:1a	46	118.6a	1315.75a
	2	30:1	18:1a	40	113.8a	1287.80b
	3	30:1	18:1a	40	111.3a	1240.24c
氮源 Nitrogen source	尿素	30:1	17:1a	43	121.9a	1259.01b
	鸡粪	30:1	18:1a	40	114.1a	1240.24c
	鸡粪+尿素	30:1	17:1a	43	107.7a	1354.41a

注：同一列字母相同表示  $P>0.05$  时 Dunken 多重比较法不显著。表中数据为相同因素的 3 个处理的平均值，下同。  
Note: The same letter in the same column was not significant when  $P>0.05$  by using Dunken multiple comparison method. The data in the table was the average of 3 treatments of the same factors, the same as below.

表 5 正交试验方差分析表  
Table 5 Analysis of variance in orthogonal design method

因变量 Dependent variable	因素 Factor	III型平方和 III type sum of square	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F 值 F-test	显著性 Significance
持水孔隙度 Water holding capacity	C/N	0.001	2	0	0.385	0.722
	秸秆长度	0.050	2	0.025	28.288	0.034
	氮源	7.117E-5	2	3.558E-5	0.041	0.961
通气孔隙度 Air filled porosity	C/N	0.016	2	0.008	5.794	0.147
	秸秆长度	0.023	2	0.012	8.330	0.107
	氮源	0.007	2	0.003	2.337	0.300
总孔隙度 Total porosity	C/N	0.011	2	0.005	30.074	0.032
	秸秆长度	0.005	2	0.003	14.173	0.066
	氮源	0.006	2	0.003	16.932	0.056
C/N	C/N	7.130	2	3.565	2.596	0.278
	秸秆长度	9.199	2	4.599	3.350	0.230
	氮源	2.464	2	1.232	0.897	0.527
容重 Bulk density	C/N	0	2	0	1.054	0.487
	秸秆长度	0.010	2	0.005	28.719	0.034
	氮源	0	2	0	0.850	0.540
种子发芽指数 Germination index	C/N	0.006	2	0.003	0.238	0.808
	秸秆长度	0.008	2	0.004	0.315	0.761
	氮源	0.031	2	0.015	1.164	0.462
pH 值 Potential of hydrogen	C/N	0.113	2	0.056	1.140	0.467
	秸秆长度	0.012	2	0.006	0.122	0.891
	氮源	0.001	2	0.001	0.013	0.987
电导率 Electrical conductivity	C/N	0.955	2	0.478	0.198	0.835
	秸秆长度	2.883	2	1.441	0.597	0.626
	氮源	4.486	2	2.243	0.929	0.518
积温 Accumulated temperature	C/N	1351.402	2	675.701	24.686	0.039
	秸秆长度	8532.395	2	4266.198	155.858	0.006
	氮源	18876.150	2	9438.075	344.804	0.003

2.4 不同因素对棉秆发酵前后 EC、pH 值、容重的影响  
由表 6 可知，各处理棉秆经过发酵，其 EC、

pH 值、容重均有提高趋势。发酵过程中，3 因素对 EC 值和 pH 值提高的作用均不显著（表 5）。比较

各处理发酵前、后的 EC 变化发现 C/N 为 35:1, 秸秆长度为 1 cm, 氮源为鸡粪的处理提高较多, 分别达到 23.5%、25%、26.1%。发酵后, C/N 为 35:1, 秸秆长度为 3 cm, 氮源为鸡粪的处理的 pH 值较高并且发酵前后变化较大, 分别增长 21.7%、16.3%、

17.1%, 并且各处理的棉秆发酵后均呈碱性。秸秆长度对容重提高的作用显著(表 5), 其中以秸秆长度为 1 cm 处理的容重最大为  $0.3 \text{ g/cm}^3$ , 与秸秆长度为 2 cm 处理无显著性差异, 但是显著高于秸秆长度为 3 cm 处理约 36%。

表 6 不同因素对棉秆发酵前后 EC、pH 值、容重的影响

Table 6 Influence of different factors on EC、pH and bulk density of cotton after composting

因素 Factor	电导率 Electrical conductivity			pH 值 Potential of hydrogen			容重 Bulk density			
	发酵前 Pre-composting ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	发酵后 After composting ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	增长率 Increasing rate/%	发酵前 Pre-composting	发酵后 After composting	增长率 Increasing rate/%	发酵前 Pre-composting ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	发酵后 After composting ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	增长率 Increasing rate/%	
C/N	25:1	4.18a	5.00a	19.6	7.74a	7.96a	2.7	0.19a	0.26a	26.9
	30:1	3.69a	4.20a	12.1	6.86a	8.01a	16.7	0.18a	0.27a	50.0
	35:1	3.78a	4.67a	23.5	6.75a	8.22a	21.7	0.15a	0.26a	73.3
秸秆长度 Cotton straw size/cm	1	4.01a	5.35a	25.0	7.14a	8.03a	12.4	0.17a	0.30a	76.4
	2	3.81a	4.53a	15.8	6.93a	8.05a	15.5	0.18a	0.26ab	44.4
	3	3.91a	3.98a	1.7	6.98a	8.12a	16.3	0.16a	0.22b	37.5
氮源 Nitrogen source	尿素	3.26a	3.67a	12.5	6.90a	8.05a	14.2	0.18a	0.27a	50.0
	鸡粪	4.24a	5.35a	26.1	6.90a	8.08a	17.1	0.17a	0.26a	52.9
	鸡粪+尿素	4.13a	4.85a	17.4	7.21a	8.07a	11.9	0.17a	0.26a	52.9

## 2.5 不同因素对棉秆发酵前后的持水孔隙度和通气孔隙度的影响

基质的孔隙性直接作用水分和空气的含量, 是最重要的理化性质参数, 其中包括通气孔隙度和持水孔隙度。在发酵过程中持水孔隙度提高, 可增强基质的持水保水能力, 有利于蔬菜的生长。发酵前, 持水孔隙度无显著性差异。发酵过程中, 秸秆长度对持水孔隙度增大的作用显著(表 5), 以水平为 1 cm 的处理持水孔隙度最大, 发酵后持水孔隙度达到 52.9% 并且增长 111.1%。由表 7 可以看出, 发酵前, C/N 和氮源

各处理的通气孔隙度差异不大, 秸秆长度间的各处理差异显著, 秸秆越长通气孔隙度越大。发酵过程中, C/N、秸秆长度、氮源 3 个因素对通气孔隙度减小的作用并不显著(表 5)。各处理发酵后的通气孔隙度比发酵前均降低, 以 C/N 25:1, 秸秆长度为 1 cm, 氮源为鸡粪的处理减小程度最大, 分别达到 76.8%、74.7%、69.7%。发酵前除秸秆长度外其他各处理的总孔隙度差异不显著。发酵过程中, C/N 对总孔隙度减小的作用显著(表 5), 以 C/N 25:1 的总孔隙度最小为 66.0% 并且减小了 24.8%。

表 7 不同因素对棉秆发酵后的持水孔隙度和通气孔隙度的影响

Table 7 Influence of different factors on water holding capacity and air filled porosity of cotton straw after composting

因素 Factor	持水孔隙度 Water holding capacity/%			通气孔隙度 Air filled porosity/%			总孔隙度 Total porosity/%			
	发酵前 Pre-composting	发酵后 After composting	增长率 Increasing rate	发酵前 Pre-composting	发酵后 After composting	减少率 Reduce ratio	发酵前 Pre-composting	发酵后 After composting	减少率 Reduce ratio	
C/N	25:1	28.0a	50.0a	78.5	59.7a	16.1a	76.8	87.8a	66.0b	24.8
	30:1	28.4a	48.2a	69.7	58.9a	26.3a	55.3	86.6a	74.5a	13.9
	35:1	28.0a	48.1a	71.7	60.0a	22.6a	62.3	89.0a	70.7ab	20.5
秸秆长度 Cotton straw size/cm	1	28.0a	59.2a	111.1	57.9a	14.6a	74.7	88.9b	73.8a	16.9
	2	28.7a	44.4b	54.7	60.9b	24.2a	60.2	86.7b	68.6b	20.8
	3	27.8a	42.7b	53.5	65.0c	26.3a	59.5	92.9a	68.9b	25.8
氮源 Nitrogen source	尿素	28.6a	49.0a	71.3	60.5a	23.9a	60.4	89.2a	72.9a	18.2
	鸡粪	28.8a	49.0a	70.1	59.1a	17.9a	69.7	88.0a	66.8b	24.0
	鸡粪+尿素	28.6a	48.4a	69.2	60.3a	23.2a	61.5	88.9a	71.6a	19.4

## 3 讨论

1) 棉秆发酵基质化的腐熟度指标。在秸秆基质化生产中, 通常秸秆经过发酵过程无害化以后, 不

需要完全腐熟即可用作栽培基质。温度是秸秆发酵过程中非常重要的指标, 温度控制对于杀灭致病菌、去除水分和稳定发酵终产物至关重要。发酵温度的高低决定秸秆发酵进程的快慢, 并且在适合的温度

范围内有机物降解最快<sup>[14]</sup>。不同因素对棉秆发酵的温度作用而言, 秸秆长度、氮源均对积温的作用极显著, C/N 对积温的作用显著。同样汪季涛<sup>[2]</sup>研究发现秸秆长度和氮源对油菜秸秆发酵的积温影响显著。秸秆长度为 1cm 的处理可能为微生物提供了合适的氧气含量并且附着秸秆上面的微生物相对量比另外两个处理多, 所以此处理可以在发酵过程中的温度变化及积温方面优于另外 2 个水平。鸡粪+尿素作为氮源添加到棉秆中有利于堆体温度的迅速提升和维持较长时间的高温, 其原因可能是尿素可以迅速被微生物利用, 鸡粪中的有机氮逐渐转化成无机氮可以有利于微生物持续活动从而维持较长时间的高温并且鸡粪本身携带了大量多种微生物, 增加了微生物的数量, 有利于秸秆发酵。最佳的发酵温度在 40~65℃<sup>[15]</sup>, 温度超过 55℃可以杀死病原微生物。但是如果温度超过了嗜热微生物能忍受的温度, 则会对发酵产生副作用。当温度高于 63℃, 嗜热微生物活力迅速下降, 当达到 72℃时, 活力最低。因此通过翻堆可以有效控制堆体的温度。在本试验中各处理在第 2 天迅速达到最高温度后很快降到前者所说的适宜发酵的温度范围内, 有利于微生物对棉秆进一步降解。

C/N、秸秆长度、氮源对发酵后的 EC、pH 值、通气孔隙度、GI 均无显著性影响, 而秸秆长度对持水孔隙度、容重提高影响显著, 秸秆长度为 1cm 的处理均有利于提高发酵棉秆持水孔隙度和容重, 从而增加基质的水分含量以及固定根系的能力。棉秆基质化不同于堆肥, 前者要求棉秆发酵后的理化性质适合植物根系生长, 而后者对堆肥后的腐熟度要求较高, 要求发酵秸秆成为含有丰富营养物质并且肥效长而稳定的有机肥料。综上, 可以利用持水孔隙度, 容重、积温这 3 个指标来确定适合棉秆发酵的条件。

2) 棉秆发酵后对改善作物根际环境十分有利, 在保证作物根系通气空间的情况下, 增加水分、养分的保持和供应, 有利于作物根系的生长及增强抗(耐)旱性。刘宁等<sup>[16]</sup>研究表明棉秆颗粒的理化性质在发酵前后有明显变化, 持水孔隙度所占比例明显增加。在本试验中各处理的发酵棉秆的持水孔隙度和容重均提高与前者研究结果相一致。一般认为基质容重在 0.2~0.8 g/cm<sup>3</sup> 效果较好, 基质的总孔隙度在 55%~96% 范围内为宜<sup>[17-18]</sup>, 在本试验中各处理棉秆经过 30 d 发酵容重均大于 0.2 g/cm<sup>3</sup>, 其中以秸秆长度为 1 cm 处理容重最大为 0.3 g/cm<sup>3</sup>。各处理发酵棉秆总孔隙度均在上述范围内, 其中以秸秆长度为 1 cm 处理的持水孔隙度显著高于其他处理, 有利于基质水分的保持。曹云娥等<sup>[19]</sup>以玉米秸秆、菇渣、鸡粪、苜蓿、牛粪、稻壳等农业废弃物

为有机栽培基质的主要发酵原料, 在发酵中期及发酵结束后的 pH 值处于弱碱环境, 相对有利于微生物的生存。在本试验中, pH 值随发酵呈现偏碱的趋势, 是否会随着发酵时间、栽培使用年限的延长碱性持续增强, 需要进一步研究其变化规律及相应调控技术。EC 是基质分析的一项指标, 它反映基质中原来带有的可溶盐分的多少<sup>[8,20]</sup>。棉秆在发酵过程中, 添加鸡粪及尿素等物质调整 C/N, 使棉秆腐熟基质具有较高的养分, 可能是导致其略偏碱性和较高电导率值的主要原因<sup>[21]</sup>。本试验中, 发酵后的棉秆 EC 相对于发酵前都有所提高, 说明随着发酵的进行, 棉秆中可溶性盐分随之增加。发酵后以 C/N 为 25:1、秸秆长度为 1 cm、氮源为鸡粪的 EC 值较大。添加鸡粪的处理 EC 高于尿素, 鸡粪+尿素则处于中间, 说明可能有机氮源利于 EC 提高。通常认为理想基质 pH 值为 6~8, 电导率 (EC) < 2.50 mS/cm, 但是也有人认为 EC 在 0.5~3 mS/cm 均适合植物生长<sup>[22-23]</sup>。本试验中发酵棉秆 EC 值普遍大于 3mS/cm, pH 值在 8 左右, 在栽培过程中可以与 EC 值较低的基质进行混配已达到适合植物生长的合适的 EC 值范围内。崔金霞等<sup>[21]</sup>的试验研究表明棉秆复合基质略偏碱性未影响植物的正常生长和发育。

## 4 结 论

1) 通过正交试验的方差分析表明, 影响棉秆发酵的主要因素 C/N 比、秸秆长度、氮源中: C/N 显著影响总孔隙度, 显著性为 0.032。秸秆长度显著影响持水孔隙度和容重, 显著性均为 0.034。C/N 显著影响积温, 显著性为 0.039, 秸秆长度和氮源均极显著影响积温, 显著性分别为 0.006、0.003。

2) 棉秆发酵初始条件可以为 C/N25:1, 秸秆长度 1 cm, 氮肥鸡粪+尿素。利用此条件进行棉秆发酵得到的材料作为基质进行蔬菜栽培的效果需进一步研究。

### [参 考 文 献]

- [1] 李海云, 孟凡珍, 张复君, 等. 不同秸秆基质的腐熟[J]. 北方园艺, 2005(6): 49.  
Li Haiyun, Meng Fanzhen, Zhang Fujun, et al. Composting of different straw[J]. Northern Horticulture, 2005(6): 49. (in Chinese with English abstract)
- [2] 汪季涛, 朱世东, 胡克玲, 等. 油菜秸秆适宜发酵条件研究[J]. 中国农学通报, 2006, 12(22): 373-376.  
Wang Jitao, Zhu Shidong, Hu Keling, et al. Studies on the favorable condition of cole stalk fermentation[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 12(22): 373-376. (in Chinese with English abstract)

- [3] 崔元珩, 张升, 孙晓军, 等. 棉花秸秆为蔬菜栽培基质的可行性研究[J]. 北方园艺, 2012(19): 37—38.  
Cui Yuanyu, Zhang Sheng, Sun Xiaojun, et al. Study on vegetable cultivation matrix made by cotton stalk[J]. Northern Horticulture, 2012(19): 37—38. (in Chinese with English abstract)
- [4] Arja H V, Maritta H S. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1997, 66(1): 23—32.
- [5] Golueke C G. Principles of Composting[M]. Emmaus: PA: J.G. Press, 1991, 873.
- [6] HandK A, Black N D. Growing media for Ornamental Plants and Turf[M]. Sydney: New South Wales University Press: 1994. 111.
- [7] 万小春, 张玉华, 高新星, 等. 农村有机生活垃圾和秸秆快速好氧发酵技术参数研究[J]. 农业工程学报 2008, 24(4): 214—217.  
Wan Xiaochun, Zhang Yuhua, Gao Xinxing, et al. Optimization of aerobic fermentation parameters for rural organic living waste and stalk[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(4): 214—217. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张鸣, 高天鹏, 刘玲玲, 等. 麦秆和羊粪混合高温堆肥腐熟进程研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 566—569.  
Zhang Ming, Gao Tianpeng, Liu Lingling, et al. Process of high-temperature compost of sheep manure with addition of wheat straw[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(3): 566—569. (in Chinese with English abstract)
- [9] 江胜德. 现代园艺栽培介质[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 210.
- [10] 连兆煌. 无土栽培原理与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 153.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 19—65.
- [12] Zucconi F, Monaao A, Forte M, et al. Phytotoxins during the stabilization of organiematter[M]. London: Elsevier Applied Science Publication, 1985(4): 73—85.
- [13] 朱凤香, 王卫平, 杨友坤, 等. 固体废弃物堆肥的腐熟度评价指标[J]. 浙江农业科学, 2010(1): 159—163.  
Zhu Fengxiang, Wang Weiping, Yang Youkun, et al. Evaluation index of maturity of solid waste composting[J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2010(1): 159—163. (in Chinese with English abstract)
- [14] 秦莉, 沈玉君, 李国学, 等. 不同 C/N 比对堆肥腐熟度和含氮气体排放变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2668—2673.  
Qin Li, Shen Yujun, Li Guoxue, et al. The impact of composting with different C/N maturity variation and emission of gas concluding N[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2009, 28(12): 2668—2673. (in Chinese with English abstract)
- [15] de Bertoldi M, Vallini G, Pera A. The biology of composting[J]. Waste Manage. Res. 1983, (1): 157—176.
- [16] 刘宁, 边洋, 王威, 等. 发酵棉秆屑的重组理化性质研究及配比筛选[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(4): 702—706.  
Liu Ning, Bian Yang, Wang Wei, et al. Study on recombinat physico-chemical properties of fermented cotton straw crumbs and combination screening[J]. Xinjiang Agricultural Sciences[J]. 2011, 48(4): 702—706. (in Chinese with English abstract)
- [17] 任俐, 周丹. 花卉无土栽培营养液和基质的研究[J]. 东北农业大学学报, 1991, 19(1): 105—106.  
Ren Li, Zhou Dan. Study on nutrient solution and substrate of flower soilless culture[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1991, 19(1): 105—106. (in Chinese with English abstract)
- [18] 郑光华. 花卉蔬菜无土栽培技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [19] 崔金霞, 樊新民, 刘慧英, 等. 棉秆基质进行生菜无土栽培的研究[J]. 石河子大学学报, 2007, 25(5): 558—560.  
Cui Jinxia, Fan Xinmin, Liu Huiying, et al. Research of cotton stalk as the raw material of soilless in lettuce[J]. Journal of Shihezi University, 2007, 25(5): 558—560. (in Chinese with English abstract)
- [20] 曹云娥, 马双燕, 黄学春. 农业有机废料发酵对有机栽培基质的效果研究[J]. 北方园艺, 2011(21): 121—131.  
Cao Yune, Ma Shuangyan, Huang Xuechun. The effect of different organic wasted as eco-organic soilless culture substrate[J]. Northern Horticulture, 2011(21): 121—131. (in Chinese with English abstract)
- [21] 李天林, 沈冰. 无土栽培中基质培选料的参考因素与发展趋势[J]. 石河子大学学报, 1999, 3(3): 251—258.  
Li Tianlin, Shen Bing. The reference factors and development trend of soilless culture substrate culture sorting[J]. Journal of Shihezi University, 1999, 3(3): 251—258. (in Chinese with English abstract)
- [22] 吴继红. 几种固形栽培基质物料的理化性状比较[J]. 吉林农业科学, 2006, 31(4): 17—20.  
Wu Jihong. Comparing of physical and chemical characteristics of solid organic medium[J]. Jilin

Agricultural Sciences, 2006, 31(4): 17—20. (in Chinese with English abstract)

[23] 沈兵. 蔬菜有机生态型基质及其栽培技术的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 1997.

Shen Bing. Study on Vegetable Eco-organic Soilless Culture Substrate and Its Cultivation Techniques[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 1997. (in Chinese with English abstract)

## Favorable conditions of cotton straw composting using as soilless culture substrate

Zhang Ye, Yu Hongjun, Yang Xueyong, Jiang Weijie<sup>\*</sup>

(*Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing100081, China*)

**Abstract:** The aim of this study was to find the optimal conditions for cotton straw composting as a Soilless Culture Substrate. Cotton straw size, carbon-nitrogen ratio, and nitrogen source were investigated to determine their effects on the process of cotton straw composting by using an orthogonal design method. Each factor was set at three levels: C/N ratios were 25:1, 30:1, 35:1, cotton straw sizes were 1, 2, and 3 cm, and nitrogen sources were chicken manure, urea, and a mixture of chicken manure and urea. Cotton straw applied in this trial was bought from the farmers in a Beijing suburb and was broken into 1-3cm particles by machine. The C/N ratio of cotton straw was 38:1. The dry chicken manure and urea as the nitrogen resource were used to adjust the C/N ratio. The cotton straw weight of each treatment was 5 kg, and the water content of each treatment was adjusted to 60%-70%. Plastic weaving bags of 70-liter capacity were used as composting containers and were placed in three layers with a randomized design. Each treatment had one bag and three replications. The bags were turned over every 10 days during the maturation phase in order to improve the O<sub>2</sub> level inside the bags. The trial lasted 30days.

The parameters included composting temperature, C/N ratio, bulk density, pH, EC, accumulated temperature, water holding capacity, and air filled porosity. A temperature meter recorded the temperature in each bag every day. Bulk density and porosity were determined following the Byrne method and conventional method, respectively. The pH and electrical conductivity (EC) were determined by IQ150 Portable pH/mV/thermometer measurement.

The results from the study indicated that during the composting period, C/N ratio of 25:1, 1 cm straw particle size, the mixture of chicken manure and urea as an added nitrogen source were the optimal conditions to sustain high temperature (> 50°C) in the composting pile of cotton straw, and the days keeping high temperature in the three conditions was 9, 10, 8 days respectively. The C/N ratio had a significant influence on total porosity reduction, with the highest value (66.0%) in a C/N of 25:1, and that in pre-composting decreased by 24.8% compared with after composting. Cotton straw size had a significant influence on water-holding capacity, accumulated temperature and bulk density increase, and the highest values (59.2%, 1 315.75°C, 0.30 g/cm<sup>3</sup>) occurred with a cotton straw size of 1cm. Compared with pre-composting, the water holding capacity after composting increased by 111.1%, and the bulk density increased by 76.4%. Nitrogen source (chicken manure and urea) had a significant influence on accumulated temperature, and the highest measured value (1 354.41°C) occurred with the mixture of chicken manure and urea as the nitrogen source. Recommended values are a C/N ratio of 25:1, 1cm cotton straw particle size, and a mixture of chicken manure and urea as an added nitrogen source for cotton straw composting.

**Key words:** straw, composting, nitrogen, orthogonal design method, maturity index, soilless culture substrate