

## 赤子爱胜蚓堆制处理秸秆和牛粪混合废弃物的研究

陈泽光,周颖,马雄,徐伟佳,宦霞娟

(西北农林科技大学动物科技学院,陕西杨凌 712100)

**摘要:**【目的】利用蚯蚓堆制处理碳氮比为20,25,30的小麦秸与牛粪、玉米秸与牛粪的组合,研究堆制过程中蚯蚓的生长繁殖及培养基的理化性状,以期合理的利用秸秆提供理论依据。【方法】将牛粪和小麦秸秆、玉米秸秆按照碳氮比20,25,30搭配,按8 ind/100g风干物质种蚯蚓后,在相同的条件下饲养,分别于15,30,45,60天时破坏性取样,测定蚯蚓的生长繁殖及培养基的理化性状。【结果】随着时间的增加,蚯蚓的均重、日增重、日繁殖倍数均降低,且不同时期、不同组合、不同碳氮比间均差异显著( $P < 0.05$ ),蚯蚓总数先升高后降低。不同碳氮比之间的日生殖倍数间差异显著( $P < 0.05$ ),以碳氮比25最佳,其次是20,30,但二者之间差异不显著( $P > 0.05$ )。有机碳含量和碳氮比随着时间的增加而降低,且不同时期、不同组合间差异显著( $P < 0.05$ );全氮含量随着时间的增加而增加,且不同时期和不同组合间差异显著( $P < 0.05$ )。【结论】时期和组合对蚯蚓的生长繁殖指标和培养基的理化性状指标都有显著的影响( $P < 0.05$ );以碳氮比20最有利于蚯蚓的生长,碳氮比25最有利于蚯蚓的繁殖;小麦与牛粪组合的生长繁殖均优于玉米与牛粪的组合。

**关键词:**赤子爱胜蚓;牛粪;秸秆;堆制处理

中图分类号:X713

文献标识码:A

论文编号:2009-1067

### Vermicomposting of Combination of Crop Stem and Cow Dung by *Eisenia foetida*

Chen Zeguang, Zhou Ying, Ma Xiong, Xu Weijia, Huan Xiajuan

(College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100)

**Abstract:**【Objective】In order to provide theoretical basis for making full use of crop stem (wheat stem and corn stem) and cow dung, a trail was conducted to estimate the *Eisenia foetida* growth and reproduction performance, physico-chemical index of the vermibed in the combinations of the residues. 【Methods】The crop stem and cow dung were combined by the C:N ratio of 20, 25, 30. Each pot include 100 g air-dried residue and 8 ind worm, which were sampled at 15, 30, 45, 60days. Growth, reproduction performance and physico-chemical index were determined. 【Result】The results indicated that individual weight, growth rate, reproduction rate declined with the growth. Growth index had difference among period, C:N ratio and combination ( $P < 0.05$ ). Total number of worms increased at first, then declined. Reproduction rate had difference among different C:N ratio ( $P < 0.05$ ). TOC and C:N ratio declined with the growth, but TKN increased with the growth, all of them had difference between period, combines and C:N ratio ( $P < 0.05$ ). 【Conclusion】Growth and reproduction performance and physico-chemical index had difference between period, combinations and C:N ratio ( $P < 0.05$ ). C:N ratio of 20 is beneficial to growth, C:N ratio of 25 is favorable to reproduction. As far as the growth and reproduction performance, the combination of wheat residues and cow dung is better than the combination of corn stem and cow dung.

**Key words:** *Eisenia foetida*, cow dung, residue, vermicomposting

基金项目:陕西重大科技创新专项“优质高产良种奶牛选育及标准化生产技术集成与示范”(2005ZKC(二)07-01)。

第一作者简介:陈泽光,男,1983年出生,甘肃兰州人,在读硕士,主要从事动物营养与饲料科学研究。通信地址:712100 陕西杨凌西北农林科技大学,北校区11#信箱, E-mail: czg13415@163.com

收稿日期:2009-05-21,修回日期:2009-06-10。

## 0 引言

养殖业是农业的重要组成部分,在促进农村经济增长,增加农民收入,加快新农村建设方面起着举足轻重的作用。2002年中国已成为世界第一大畜产品生产国,肉类在世界所占的份额达到27%,猪肉和禽蛋产量均居世界首位,其中猪肉占到47.2%,禽蛋产量占世界的39.5%<sup>[1]</sup>,与此同时大量的畜禽粪便,污水,臭气等已成为严重的污染源。中国是一个农业大国,年产秸秆资源6亿t左右,其中约有70%的秸秆作为生活能源、就地焚烧或直接还田等,这造成了严重的资源浪费和大气污染。传统的对有机废弃物的处理手段已越来越不适应资源可持续利用的要求。因此,利用生物对废弃物进行资源化处理已经成为当今可持续发展的一个重要思路。蚯蚓堆制处理(Vermicomposting)是利用蚯蚓食量大、消化有机物质能力强、食性广的优点,将有机废弃物进行蚯蚓堆制处理并以蚓粪的形式排除,达到废弃物资源化和无害化的过程。通过蚯蚓的堆制处理不仅能够去除或抑制堆制过程中的臭气,而且蚯蚓还能够产生大量的生物活性物质,提高堆制后物料—蚓粪(Vermicompost)的品质<sup>[2]</sup>。同时蚯蚓又是优质的饲料蛋白质和生物医药原材料。

已有很多学者就蚯蚓堆制处理废弃物展开研究,Edwards(1992)<sup>[3]</sup>详细的介绍了蚯蚓在废弃物堆制方面的应用。J. Domínguez<sup>[4]</sup>(1997)研究了在不同接种密度、不同湿度下 *Eisenia foetida* 的生长繁殖情况,认为85%的适度最适于蚯蚓的生长。Aira M<sup>[5]</sup>(1997)研究了不同碳氮比下蚯蚓的生长繁殖情况,得出碳氮比可以影响蚯蚓的生长繁殖,低碳氮比的组合中蚯蚓的

生长繁殖较好。J. Domínguez<sup>[6]</sup>(1997)研究了 *Eisenia andrei* (*Oligochaeta, Lumbricidae*) 在猪粪和秸秆、松针、松树皮、栎树皮按1:1搭配的混合废弃物中的生长繁殖情况,认为在秸秆和松针的猪粪混合废弃物中生长最好。Edwards<sup>[7]</sup>(1998)系统的研究了 *Perionyx excavatus* (Perr.) 在不同温度,不同畜禽粪便中的生长繁殖情况,认为 *Perionyx excavatus* (Perr.) 在猪粪、牛粪、污泥上均能生长,但在马粪和鸡粪中生长不佳,最适的温度是20~30℃。Suthar S.<sup>[8]</sup>(2008)研究了 *Perionyx excavatus* 和 *Perionyx sansibaricus* 在牛粪中的生长繁殖情况及堆制后物料的理化性状,得出, *Perionyx sansibaricus* 的生长繁殖和较对物料的降解和矿化程度均较 *Perionyx excavatus* 强。虽然已有大量有关蚯蚓堆制废弃物的研究,但有关不同物料组合、不同的碳氮比对蚯蚓的生长繁殖的研究报道较少,该试验旨在研究不同的碳氮比和物料组合中蚯蚓的生长繁殖情况,以及蚯蚓堆制后培养基(*Vermibed*)的理化性状,以期为合理利用秸秆及牛粪提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

牛粪,取自西北农林科技大学畜禽生态养殖场,新鲜牛粪在试验前预先堆置20天(2008年3月24日—2008年4月14日)。堆制完成后风干,剔除杂物,过5mm孔径的筛子。

秸秆,上一年收获且已经风干的玉米秸秆和小麦秸秆,为了便于混合和蚯蚓对秸秆的充分利用,将其剪成2~5cm的小段,混匀。

蚯蚓,赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)购于天津成功蚯蚓养殖场。

表1 不同组合中秸秆和牛粪的添加量及其碳氮含量

组合	碳氮比	秸秆添加量/g	牛粪添加量/g	有机碳含量/(mg/kg)	全氮含量/(mg/kg)
麦+牛 WS+CD	20	79.70	20.30	257.43	12.87
	25	63.62	36.38	292.55	11.70
	30	50.23	49.77	321.79	10.73
玉+牛 CS+CD	20	76.41	23.59	257.34	12.87
	25	57.63	42.27	292.16	11.68
	30	42.17	57.83	321.56	10.72

注: CD表示牛粪(cow dung), WS表示(wheat straw), CS表示(corn straw)。TOC表示有机碳(Total organic carbon), TKN表示全氮(Total Kjeldahl Nitrogen)。下表同。

### 1.2 试验设计

试验采用上口直径18cm、下底直径为10cm、高15cm、底部有透水孔的塑料钵,底部放有纱网防止蚯蚓逃逸。每钵放物料100g(风干重),接种密度采用8 ind/100g风干物料,接种蚓重为300mg/ind,总生物

量在2.5g左右,每个处理15个重复(每期3个),接种后在钵口蒙上细纱布防逃。试验期间每隔1~2天浇1次水,控制湿度在65%~70%。

分4次破坏性取样。即分别在接种蚯蚓后15、30、45和60天进行。取样时将钵中的样品缓慢倒出,手工

仔细挑出其中的成蚓、蚓茧和幼蚓,对成蚓进行计数和称重,对蚓茧和幼蚓进行计数,并对蚯蚓的生长和繁殖等指标进行计算和统计分析。将处理后的物料混匀,取一半装入透气的聚乙烯袋中密封,放入4℃的冰箱中保存备用。另一半装入档案袋中,于65℃烘干12h,测定含水率,烘干粉碎后备用。

### 1.3 生长繁殖的测定方法

1.3.1 日增重 日增重=(养殖一定时间后蚯蚓个体均重-初始蚓均重)/养殖时间

1.3.2 日增殖倍数 日增殖倍数=(养殖一定时间后蚯蚓总数-初始蚯蚓数)/(初始蚯蚓数养殖时间)

式中蚯蚓总条数包括成蚓数、幼蚓数和蚓茧数,每个蚓茧按1条蚯蚓计算,处理时间以天计,蚓重以mg计<sup>[9]</sup>。

### 1.4 样品分析方法

1.4.1 有机碳的测定(重铬酸钾氧化法<sup>[10]</sup>) 称取0.0100g过60目筛的风干样,放入硬质玻璃管中,K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>180℃油浴5min,FeSO<sub>4</sub>回滴,邻啡罗啉作指示剂。

1.4.2 全氮的测定 用半微量凯氏定氮法<sup>[11]</sup>,即称取0.5000g风干样,放入消煮管中,加15ml浓硫酸和6.4g混合催化剂(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:CuSO<sub>4</sub>=15:1),外源加热,消煮至蓝绿清亮后取出,凉后在强碱下蒸馏,硼酸吸收后,稀硫酸滴定,溴甲酚绿和甲基红的混合指示剂作指示剂,所用的仪器是荷兰产BUCHI凯氏定氮仪。

### 1.5 数据统计分析

数据在Excel下建库,用SPSS 16.0中的多因素法(GLM中的Univariate)进行三因素方差分析,采用Duncan法进行多重比较,结果以“mean±SD”表示。

## 2 结果分析

### 2.1 堆制过程中蚯蚓的生长繁殖特性分析

2.1.1 0~60天蚯蚓的生长情况 蚯蚓的个体均重呈现先升高后降低的变化趋势(表2),即蚯蚓在刚接种上的前15天先是体重快速增加,无论是哪种组合,蚯蚓的平均体重均由初始的300mg左右,增加到600mg左右(596~660mg/条)。随着饲养天数的增加,蚯蚓的平均体重越来越小,且各个时期间的平均蚓重间差异显著( $P < 0.05$ );不同物料组合的平均蚓重之间也存在显著的差异( $P < 0.05$ ),小麦秸秆和牛粪的组合中蚯蚓的平均蚓重大于玉米秸秆和牛粪组合的;不同碳氮比的平均蚓重间也存在差异显著( $P < 0.05$ ),其中以碳氮比20的组合中平均蚓重最大,其次是碳氮比为25的组合,最后是碳氮比为30的组合。蚯蚓的日增重变化趋势与平均蚓重的变化趋势一致。

2.1.2 0~60天蚯蚓的繁殖情况 随着饲养时间的增加,蚯蚓的总数先升高后降低(表2)。30天的蚯蚓总数最多(37.8条),依次为45天(35.2)、60天(32.4)、15天(27.3)。其中30天与45天、45天与60天之间差异不显著( $P > 0.05$ ),但30天与15天,60天之间、15天与60

表2 0~60天蚯蚓的生长繁殖情况

时期	物料组合	碳氮比	平均蚓重/mg	日增重/(mg/(worm·d))	蚯蚓总数/ind	繁殖倍数
1	麦秸+牛粪 WR+CD	20	660.1±21.8	22.4±1.2	27.7±1.2	0.1639±0.0096
		25	630.6±35.0	22.2±1.4	32.3±11.7	0.2028±0.0973
		30	612.1±27.2	20.8±1.9	25.3±11.8	0.1444±0.0987
	玉米秸+牛粪 CS+CD	20	639.3±44.7	21.3±2.0	30.3±5.0	0.1861±0.0419
		25	615.8±34.0	19.8±2.2	27.7±6.5	0.1639±0.0542
		30	569.4±47.8	17.1±3.7	20.3±4.0	0.1028±0.0337
2	麦秸+牛粪 WR+CD	20	592.0±30.6	9.7±1.0	35.7±2.5	0.1153±0.0105
		25	545.5±42.7	8.1±1.4	49.7±4.0	0.1736±0.0168
		30	526.9±94.2	7.4±2.9	45.0±4.4	0.1542±0.0182
	玉米秸+牛粪 CS+CD	20	569.7±84.5	8.4±2.6	30.7±1.5	0.0944±0.0064
		25	455.6±23.2	5.1±0.9	38.0±1.0	0.1250±0.0042
		30	433.6±17.6	3.9±0.6	27.7±0.6	0.0819±0.0024
3	麦秸+牛粪 WR+CD	20	501.1±21.4	4.0±0.2	35.0±2.6	0.0750±0.0073
		25	454.2±27.4	3.2±0.6	40.3±1.5	0.0898±0.0042
		30	392.5±56.9	2.1±1.2	36.0±2.6	0.0778±0.0073
	玉米秸+牛粪 CS+CD	20	473.8±46.1	3.6±1.1	31.7±2.1	0.0657±0.0058
		25	453.4±44.0	3.1±1.1	38.3±2.9	0.0843±0.0080
		30	419.6±18.7	2.0±0.4	30.3±3.2	0.0620±0.0089

(续表 2)

时期	物料组合	碳氮比	平均蚓重/mg	日增重/(mg/(worm·d))	蚯蚓总数/ind	繁殖倍数
4	麦秸+牛粪 WR+CD	20	297.6±33.2	2.0±0.2	35.7±9.1	0.0576±0.0189
		25	262.4±23.9	1.2±0.4	33.3±2.1	0.0528±0.0043
		30	241.9±39.8	0.7±0.4	32.3±2.9	0.0507±0.0060
	玉米秸+牛粪 CS+CD	20	301.4±17.3	2.6±0.2	33.7±2.1	0.0535±0.0043
		25	301.9±41.2	1.6±0.3	32.1±1.7	0.0500±0.0036
		30	240.3±21.4	1.1±0.1	27.6±4.0	0.0410±0.0084
标准误	SEM		16.23	0.93	0.87	0.06
主要效应						
1			621.2 <sup>a</sup>	20.6 <sup>a</sup>	27.3 <sup>c</sup>	0.16 <sup>a</sup>
2			520.6 <sup>b</sup>	7.1 <sup>b</sup>	37.8 <sup>a</sup>	0.12 <sup>b</sup>
3			449.1 <sup>c</sup>	3.1 <sup>c</sup>	35.3 <sup>ab</sup>	0.49 <sup>c</sup>
4			274.2 <sup>d</sup>	1.3 <sup>d</sup>	32.4 <sup>b</sup>	0.5 <sup>c</sup>
	麦+牛 WR+CD		476.4 <sup>m</sup>	8.6 <sup>m</sup>	35.7 <sup>m</sup>	0.10 <sup>m</sup>
	玉+牛 CS+CD		456.1 <sup>n</sup>	7.5 <sup>n</sup>	30.7 <sup>n</sup>	0.09 <sup>n</sup>
		20	504.4 <sup>x</sup>	9.2 <sup>x</sup>	32.5 <sup>y</sup>	0.95 <sup>xy</sup>
		25	464.9 <sup>y</sup>	8.0 <sup>y</sup>	36.5 <sup>x</sup>	0.11 <sup>x</sup>
		30	429.6 <sup>z</sup>	6.9 <sup>z</sup>	30.6 <sup>y</sup>	0.82 <sup>y</sup>

注:同一列数据肩标,不同小写字母者表示差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P < 0.01$ );a、b、c表示不同时期间的差异显著性,m、n表示不同物料组合间的差异显著性,x、y、z表示不同碳氮比间的差异显著性。下表同。

天间差异显著( $P < 0.05$ )。不同的物料组合间蚯蚓的总数和日增殖倍数均差异显著( $P < 0.05$ ),以小麦秸与牛粪的组合较佳。不同碳氮比的蚯蚓总数间差异显著( $P < 0.05$ ),以碳氮比为 25 的组合最优(36.5 ind),其次是碳氮比为 20(32.5 ind) 和 30(30.6 ind) 的组合,但是二者之间差异不显著( $P > 0.05$ )。日增殖的变化趋势与蚯蚓总数的变化趋势基本一致,不同的是碳氮比 25 与 20 之间差异不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.2 蚯蚓堆制过程中培养基的理化性状分析

随着堆制时间的增加,培养基的有机碳含量在逐渐的降低(表 3),虽然各期之间的有机碳含量的差值在逐渐的减小,但仍差异显著( $P < 0.05$ );小麦秸秆与牛粪组与玉米秸秆之间差异显著( $P < 0.05$ ),即小麦秸秆与牛粪的组合优于玉米秸秆与牛粪的组合。全氮含量的变化与有机碳含量的变化正好相反,即随着饲养时间的增加,全氮含量逐渐增加。小麦秸与牛粪组合的全氮含量高于玉米秸秆和牛粪组,且二者之间差异显著( $P < 0.05$ );碳氮比的变化趋势与有机碳的变化趋势一致。

## 3 讨论

### 3.1 蚯蚓的生长繁殖情况

Reinecke(1990), Suthar(2003)<sup>[12]</sup>等在限饲的条件

下得出,随着饲养时间的增加,蚯蚓的均重、日增重、日增殖倍数均下降,即食物的可利用性不仅可以显著的影响蚯蚓的总生物量,而且还可以显著的影响蚯蚓的繁殖。该试验结果与上述结果一致。1期结束时由于培养基能提供充足的食物,所以平均蚓重达到一个较高的值;2期时日增重减少是因为1期时蚯蚓体重已经趋向稳定,这符合生物的生长曲线,而且此时蚯蚓采食已经不是主要用于生长,而是生殖;到第3、第4期时,由于培养基不能提供充足的食物,而且蚯蚓在生长的过程中产生的废弃物和分泌物会对蚯蚓的生长繁殖有不利的影 响,所以所有组合中的生长和繁殖均显著下降。

Hendriksen(1990)<sup>[13]</sup>研究发现木质素和多酚类含量之间和蚯蚓的生长之间存在着显著的负相关。笔者试验的结果与上述结果一致,随着碳氮比的升高(秸秆添加量的增加),蚯蚓的平均蚓重和日增重降低,二者之间存在着负相关,但是差异不显著。蚯蚓在碳氮比 25 的组合中的总数和日繁殖倍数比较高,这与 Ndegwa(2000)<sup>[14]</sup>的结果一致,蚯蚓在 25 中的繁殖比较好的原因是因为 25 中的 pH 更有利于蚯蚓的生殖。

### 3.2 堆制处理后物料理化性状的变化

研究表明,随着饲养时间的增加,培养基的有



表3 1~4期培养基的理化性状

时期	物料组合	碳氮比	有机碳含量/(g/kg)	全氮含量/(g/kg)	碳氮比
1	麦+牛 WR + CM	20	238.33±5.23	15.38±0.43	15.51±0.41
		25	275.81±9.76	14.02±0.69	19.70±0.86
		30	309.53±7.16	12.64±0.82	24.55±1.16
	玉+牛 CS + CM	20	240.90±7.42	15.06±0.92	16.05±1.18
		25	285.20±10.33	13.53±0.97	21.16±1.68
		30	316.07±14.59	12.26±0.60	25.82±1.66
2	麦+牛 WR + CM	20	216.23±10.03	18.40±0.32	11.40±0.60
		25	255.10±14.50	16.88±0.54	13.98±0.63
		30	292.35±9.18	15.17±0.37	17.35±0.46
	玉+牛 CS + CM	20	219.88±15.68	17.75±0.37	12.63±0.86
		25	267.32±19.49	15.71±0.42	15.67±1.32
		30	302.34±9.98	14.18±0.32	20.27±1.05
3	麦+牛 WR + CM	20	198.49±3.58	20.95±0.15	9.47±0.23
		25	242.12±7.09	19.01±0.23	12.74±0.46
		30	279.78±15.66	17.11±0.32	16.35±0.79
	玉+牛 CS + CM	20	202.99±2.91	20.09±0.46	10.11±0.34
		25	251.67±9.50	17.74±0.26	14.19±0.63
		30	289.60±6.80	15.94±0.28	18.17±0.60
4	麦+牛 WR + CM	20	186.69±3.00	22.32±0.51	8.37±0.27
		25	235.11±10.52	19.40±0.25	12.12±0.60
		30	272.92±4.01	17.38±0.23	15.71±0.28
	玉+牛 CS + CM	20	192.47±4.44	21.23±0.30	9.06±0.22
		25	243.72±15.65	18.87±0.69	13.05±0.82
		30	283.71±18.11	16.88±0.32	17.00±1.37
标准误			3.22	0.22	0.38
主要效应					
1			277.64 <sup>a</sup>	13.82 <sup>d</sup>	20.46 <sup>a</sup>
2			258.87 <sup>b</sup>	17.24 <sup>c</sup>	15.22 <sup>b</sup>
3			244.11 <sup>c</sup>	18.47 <sup>b</sup>	13.51 <sup>c</sup>
4			235.77 <sup>d</sup>	19.28 <sup>a</sup>	12.55 <sup>d</sup>
	麦+牛 WR + CM		250.20 <sup>a</sup>	17.69 <sup>m</sup>	14.77 <sup>n</sup>
	玉+牛 CS + CM		257.99 <sup>m</sup>	16.72 <sup>n</sup>	16.01 <sup>m</sup>

机碳含量逐渐降低,全氮含量和碳氮比逐渐上升,这与 Suthar<sup>[15-17]</sup> (2007a、2008b、2008c) 等的研究结果一致。有机碳含量下降是蚯蚓采食有机质,除了少部分用于体组织的合成以外,很大一部分以 CO<sub>2</sub> 的形式释放,即蚯蚓加速了有机碳的矿化,最终导致有机碳含量的下降和全氮含量的上升<sup>[18]</sup>。全氮含量的上升主要是由于:(1)有机质以 CO<sub>2</sub> 的形式释放;(2)在堆制过程中蚯蚓与微生物的互作加速了 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 向 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的转化;(3)蚯蚓分泌的粘液和代谢产物会导致培养基中全氮含量的上升<sup>[19-20]</sup>。由于有机碳含量的减少和全氮

含量的增加,最终导致了碳氮比的下降。碳氮比是更好的一个反应物料堆制腐熟的指标。在碳氮比为 20 的组合中,各期的有机碳含量减少的均 25 和 30 的多,这可能是由于碳氮比中牛粪的含量比较多,微生物群落和蚯蚓之间的互作,可以加速有机质的矿化。虽然各期之间的有机碳,全氮含量及碳氮比之间存在着显著的差异,但是差值越来越小。这一现象表明,随着堆制时间的增加,可利用的食物越来越少,蚯蚓的生长繁殖也越来越差,培养基趋向腐熟(碳氮比含量的降低),对培养基的改变能力也越来越弱。这与传统

的堆肥比较蚯蚓堆制处理可以显著的缩短堆制的时间,而且堆制后的产物—蚯蚓和蚓粪还是非常好的蛋白质资源和优质的有机肥。

#### 4 结论

堆制时期、物料组合和碳氮比对蚯蚓的生长和繁殖都有显著的影响。随着饲养时间的增加,蚯蚓平均蚓重、日增重、日增殖倍数均显著下降;就蚯蚓的生长繁殖而言,麦秸秆和牛粪的组合较玉米秸和牛粪的组合佳;碳氮比 20 有利于蚯蚓的生长,25 有利于蚯蚓的繁殖。

#### 参考文献

- [1] 江传杰,王岩,张玉霞. 畜禽养殖业环境污染问题研究[J]. 河南畜牧兽医, 2004, 25(12): 33-35.
- [2] 邱江平. 蚯蚓及其在环境保护上的应用 III. 蚯蚓在处理有机废弃物和生活污水上的应用[J]. 上海农学院学报, 2000, 18(1): 53-58.
- [3] Edwards, C.A., J.E. Bate. The use of earthworm in environment management. *Soil Biology & Biochemistry*[J] 1992, 24: 1683-1689.
- [4] Domínguez, J., C.A. Edwards. Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (*Oligochaeta*) in pig manure. *Soil*[J]. *Biology and Biochemistry*, 1997, 29 (3-4): 743-746.
- [5] Aira, M., F. Monroy, J. Domínguez. C to N ratio strongly affects population structure of *Eisenia fetida* in vermicomposting systems. in 14th International Colloquium on Soil Zoology-Soil Animals and Ecosystems Services. Mt St Aignan, FRANCE: Elsevier France-Editions Scientifiques Medicales Elsevier. 2004.
- [6] Domínguez, J., M.J.I. Briones, S. Mato. Effect of the diet on growth and reproduction of *Eisenia andrei* (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) [J]. *Pedobiologia*, 1997, 41: 566-577.
- [7] Edwards, C.A., J. Domínguez, E.F. Neuhauser. Growth and reproduction of *Perionyx excavatus* (Perr.) (Megascolecidae) as factors in organic waste management[J]. *Biol Fertil Soils*, 1998, 27: 155-161.
- [8] Suthar, S., S. Singh. Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*)[J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2008, 5(1): 99-106.
- [9] 杨文霞,郑金伟,李志鹏,等. 果皮、菜叶混合垃圾的蚯蚓堆制处理[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(2): 49-53.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2005: 25-38.
- [11] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 2版. 北京: 中国农业大学出版社, 2003. 56-62.
- [12] Suthar, S. Influence of different food substrate on growth and reproduction performance of composting epigeics: *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*[J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2003, 5(2): 79-92.
- [13] Hendriksen, G.M., F. Marino, S. Mato. Leaf litter selection by detritivore and geophagous earthworms[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1990, 10: 17-21.
- [14] Ndegwa, P.M., S.A. Thompson. Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids[J]. *Bioresource Technology*, 2000, 75(1): 7-12.
- [15] Suthar, S. Nutrient changes and biodynamics of epigeic earthworm *Perionyx excavatus* (Perrier) during recycling of some agriculture wastes[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(8): 1608-1614.
- [16] Suthar, S. Bioremediation of aerobically treated distillery sludge mixed with cow dung by using an epigeic earthworm *Eisenia fetida* [J]. *Environmentalist*, 2008, 28(2): 76-84.
- [17] Suthar, S. Bioconversion of post harvest crop residues and cattle shed manure into value-added products using earthworm *Eudrilus eugeniae* Kinberg[J]. *Ecological Engineering*, 2008, 32(3): 206-214.
- [18] Loh, T.C., Y.C. Lee, J.B. Liang, et al. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance[J]. *Bioresource Technology*, 2005, 96(1): 111-114.
- [19] Atiyeh, R.M., J. Domínguez, S. Sublerc, et al. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouch) and the effects on seedling growth[J]. *Pedobiologia*, 2000, 44(6): 709-724.
- [20] Kalinina, O.Y., O.G. Chertov, A.I. Popova. Changes in the composition and agroecological properties of livestock waste during vermicomposting with *Eisenia foetida*[J]. *Pochvovedenie*, 2002, 9: 1072-1080.