

老化和风干处理对蚓粪微生物学性质和结构稳定性的影响

朱 玲, 李辉信, 刘 宾, 陈小云, 胡 锋*

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要: 蚓粪水稳性团聚体含量是结构稳定性表征之一, 蚓粪中水稳性团聚体含量与其微生物学性质是紧密联系的, 并且受到老化时间和有机质等因素的影响。国内将蚓粪水稳性团聚体含量与其微生物学性质联系, 并结合施用不同有机物处理的研究很少见报道。研究通过室内短期培养试验, 研究了在不同碳氮比有机物施用下蚓粪老化和风干处理对其微生物生物量、微生物活性和结构稳定性变化的影响。研究结果表明蚓粪经过老化处理后真菌数量、微生物生物量碳和微生物活性都显著降低。不同有机物的施用对蚓粪微生物学性质的影响主要表现在施用牛粪的处理中蚓粪细菌数量高于施用秸秆的处理, 真菌数量相反。新鲜蚓粪经过老化处理后总的水稳性团聚体含量 ($> 0.053\text{mm}$) 增加, 主要表现在水稳性大型大团聚体 ($> 2\text{mm}$) 含量增加, 且在施用牛粪的处理中达到显著, 可能是与牛粪比秸秆能分解产生更多的粘结物质有关。蚓粪的风干处理也显著增加各个处理中总水稳性团聚体含量, 且风干后蚓粪中水稳性团聚体主要以微团聚体 ($0.25 \sim 0.053\text{mm}$) 形式存在。施用秸秆的处理中, 新鲜蚓粪 $0.25 \sim 0.053\text{mm}$ 粒级的水稳性团聚体含量显著高于施用牛粪的处理。经风干后, 施用秸秆的处理 $0.25 \sim 0.053\text{mm}$ 的水稳性团聚体含量显著低于施用牛粪的处理, 而水稳性大型大团聚体含量显著高于施用牛粪的处理。蚓粪的不同粒级水稳性团聚体含量和蚓粪的生物学性质之间存在良好的相关性。

关键词: 蚓粪; 微生物生物量; 基础呼吸; 水稳性团聚体; 蚓粪老化; 有机物料

文章编号: 1000-0933(2007)01-0120-08 中图分类号: Q142, Q145, Q938 文献标识码: A

Effects of aging and drying of earthworm casts on their microbial properties and aggregates' stability

Zhu Ling, LiHuixin, Liu Bin, Chen Xiaoyun, Hu Feng*

College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27(1): 0120~0127

Abstract Contents of water stable aggregate in the casts were related to the microbial properties. The water stable aggregates and the microbial properties of earthworm casts were both changed with ageing time and the nature of organic matter. However, few studies were carried out in this area. This study reported some results from a short term laboratory experiment. The aims were to study the effects of aging, drying and different organic matter on microbial properties and the stability of structure in worm casts. Endogeic earthworms (*Metaphire guillelmi*), maize residues and cattle manure were used in the experiment. The four treatments were: (1) OM one day casts with maize residues; (2) AM aging casts with maize residues; (3) OC one day casts with cattle manure and 4) AC aging casts with cattle manure. Fresh and air dried

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30370286)

收稿日期: 2005-11-30 修订日期: 2006-04-05

作者简介: 朱玲 (1981~), 女, 江苏常州人, 硕士, 主要从事土壤生态学研究. E-mail: zhulingni@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fhjw@njau.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (Grant No. 30370286)

Received date: 2005-11-30 **Accepted date:** 2006-04-05

Biography: Zhu Ling, Master, mainly engaged in soil ecology. E-mail: zhulingni@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

casts were both analyzed also. Results showed that the aging process decreased the microbial biomass carbon, the number of fungi and the basic respiration rate in the treatments AM and AC. The number of bacteria in the treatments with cattle manure was greater than the treatments with maize residues, but the number of fungi was less than that. Ageing increased the content of the total water stable aggregates ($> 0.053\text{ mm}$), especially of the large macro aggregates ($> 2\text{ mm}$). Significant differences were observed between the treatment of OM and AM. Drying increased the total content of water stable aggregates and part of them concentrating to micro-aggregates having stronger stability. The organic matter application did not show effects on total water stable aggregates in fresh casts. The content of water stable aggregates ($0.25 - 0.053\text{ mm}$) in the treatments with maize residues was significant greater than the treatments with cattle manure, but was significant lower than the treatment with cattle manure after air drying treatment. In air dried casts, the number of fungi, the SMBC and the basic respiration rate were positively related to the content of large macro aggregates. However, in fresh casts only the number of bacteria was positively correlated with the content of large macro aggregates.

Key Words earthworm cast; soil microbial biomass; basic respiration; water stable aggregate; ageing; organic matter

蚯蚓是土壤中最常见的大型土壤动物,它们通过取食对土壤的物理、化学和微生物学性质产生影响。蚯蚓取食大量土壤和地表残落物后,以蚓粪的形式排泄至地表。蚓粪中包含了大量水稳性大团聚体和微团聚体,这些水稳性团聚体的含量被作为蚓粪稳定性的一个重要指标^[1-2],并由于其对土壤碳的保护作用而受到越来越多研究者的重视^[3-5]。蚓粪的微生物学性质一直以来也都是研究的热点,且与团聚体的稳定性密切相关^[6-7]。

研究表明,蚓粪的老化、风干处理及土壤不同有机物的施用情况都会对蚓粪的生物学性质和水稳性团聚体含量产生很大的影响^[8-10]。蚓粪老化与否对蚓粪中微生物数量、活性的影响到目前为止还没有定论:有的研究表明随着蚯蚓作用时间的延长,蚓粪中微生物数量和活性有显著下降^[16];有的研究认为微生物数量和活性随蚯蚓作用时间的延长而增加^[17,19];也有结果表明蚓粪中细菌数量增加^[21],真菌和放线菌不变或减少^[18]。很多研究认为蚓粪的老化和风干处理,对其结构的影响主要表现在提高其中水稳性团聚体的含量^[7,20],但是结合不同性质的有机物的研究还很少涉及。牛粪和秸秆作为常用的有机肥料,由于其物质组成和转化过程中合成产物不同,对土壤有机碳、蚯蚓活动、土壤结构以及土壤中微生物性质的作用和贡献都不一样^[11-15]。本试验用室内培养的方法,结合不同碳氮比有机物的施用,研究老化和风干处理对蚓粪的微生物学性质、水稳性团聚体含量的影响,为进一步开展相关机理研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料(土壤、蚯蚓、玉米秸秆和牛粪)

供试土壤采自江苏省如皋县搬经镇,是长江冲积物形成的高沙土,质地为砂壤。施用的有机物有两种,分别是玉米秸秆和采自南京农业大学奶牛场的牛粪(供试材料基本性状见表1)。接种蚓种为在原采样地获得的优势种:威廉腔环蚓(*Metaphire guillehni*)。

1.2 方法

采集的新鲜土样去除可见植物残体和砾石,风干后过2mm筛。晒干的玉米秸秆和堆置7d后风干的牛粪分别粉碎过2mm筛,施用量均为50g/kg干土。将75g有机物与1500g风干土混匀,装钵,调节土壤含水量至60%的田间持水量,静置48h达平衡。选取大小一致的成熟蚓,蒸馏水中洗净,在铺有湿润滤纸的周转箱内于黑暗处培养24h排空其内容物后,洗净称重接种到盆钵

表 1 试验材料的基本理化性状

Table 1 Characteristics of experiment materials			
试验材料 Experiment materials	有机碳 Organic C (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	碳氮比 C/N
土壤 Soil	5.86	0.70	8.37
玉米秸秆 Maize residues	452.13	7.96	56.8
牛粪 Cattle manure	215.6	10.65	20.2

中, 每钵接种 5 条, 总重量 (11.70 ± 0.20) g 每个处理设置 3 个重复。

接种蚯蚓后用双层纱网将盆钵口封住, 防止蚯蚓逃逸。将盆钵置于 20℃ 黑暗通风条件下培养, 每天用称重法保持土壤湿度的恒定。接种蚯蚓 2 d 后每天收集各处理土表的新鲜蚓粪 (one day casts), 于 4℃ 冰箱保存, 连续收集 7 d 后将蚓粪混匀, 取出一半风干, 另一半进行鲜样项目的测定。盆钵中的土壤继续培养 8 周后, 收集土壤中被蚯蚓反复作用的蚓粪 (即老化后蚓粪, ageing casts), 同样取出一半风干, 另一半进行鲜样项目的测定。

新鲜样品分别测定微生物生物量 C、N, 基础呼吸, 三大菌数和水稳性团聚体含量; 风干样品测定水稳性团聚体含量。微生物量 C、N 测定用氯仿熏蒸法; 呼吸用碱液吸收法; 三大菌计数用稀释平板法^[22]; 水稳性团聚体含量用湿筛法^[23]。数据统计分析在 Excel 和 SPSS 软件上进行。

2 结果与分析

2.1 不同有机物施用下蚓粪老化处理对蚓粪微生物学性质的影响

2.1.1 对蚓粪三大菌数量的影响

蚓粪的老化处理对蚓粪三大菌数量的影响各不相同。老化处理降低了蚓粪中真菌数目和施用牛粪处理的放线菌数目, 施用玉米秸秆的处理真菌数目降幅达到 63.67%。老化处理增加了施用牛粪处理的细菌数和施用秸秆处理的放线菌数, 但是除施用牛粪处理的细菌数外这些变化都没有达到显著性差异 (表 2)。

施用玉米秸秆处理的蚓粪中细菌数量低于施用牛粪的处理, 经过老化处理后达显著, 只有施用牛粪处理 (AC) 的 34.62%; 真菌数量在施用玉米秸秆的处理中高, 只有未经老化时达显著水平。不同有机物施用下, 蚓粪放线菌数量的变化受蚓粪老化处理的影响: 施用牛粪处理的蚓粪中放线菌数量老化前较施用秸秆处理的高, 老化后则低于施用秸秆的处理, 但是都没有达到显著水平。

2.1.2 对蚓粪微生物生物量的影响

蚓粪经过老化处理后其中微生物生物量碳 (SMBC) 的含量显著降低 ($p < 0.05$, 表 3), 微生物生物量氮 (SMBN) 在施用秸秆处理中降低 20.31%, 在施用牛粪处理中增加近 50%。施用秸秆处理蚓粪的 SMBC 和 SMBN 和施用牛粪处理相比在未经过老化时分别高 9.82% 和 20.54%, 在老化的蚓粪中分别低 7.25% 和 50.95%, 只有老化后 SMBN 的差异达到显著性。老化处理后蚓粪微生物量碳氮比均显著降低, 牛粪施用下降幅最大, 减少了近 50%, 达到显著差异 ($p < 0.05$)。

表 2 不同处理蚓粪的三大菌数量
Table 2 The numbers of bacteria, fungi and actinomycetes in earthworm casts in different treatments

处理 Treatments	细菌 Bacteria (10 ⁶ CFU/g)	放线菌 Actinomycetes (10 ⁵ CFU/g)	真菌 Fungi (10 ² CFU/g)
OM*	17.67 ± 2.02 b*	26.00 ± 5.24 a	14.67 ± 3.06 a
AM	16.80 ± 1.44 b	32.00 ± 6.77 a	5.33 ± 6.11 b
OC	30.67 ± 5.75 b	37.07 ± 7.61 a	4.00 ± 2.00 b
AC	48.53 ± 13.47 a	28.00 ± 3.46 a	2.00 ± 2.00 b

* : OM 施用玉米秸秆, 产生 1 d 的蚓粪 One day casts with maize residues; AM 施用玉米秸秆, 经过老化处理的蚓粪 Ageing casts with maize residues; OC 施用牛粪, 产生 1 d 的蚓粪 One day casts with cattle manure; AC 施用牛粪, 经过老化处理的蚓粪 Ageing casts with cattle manure * * : 表中同一列数据不同字母表示达到了 5% 的显著水平 Values in the same columns with different letters are significantly different at the 5% level 下同 the same below

表 3 不同处理蚓粪的微生物生物量碳、氮和微生物量碳氮比
Table 3 The SMBC, SMBN and SMBC / SMBN of earthworm casts in different treatments

处理 Treatments	微生物生物量碳 SMBC (mg/kg)	微生物生物量氮 SMBN (mg/kg)	微生物量碳氮比 SMBC/SMBN
OM	755.22 ± 54.67 a	34.95 ± 4.47 ab	21.84 ± 3.32 ab
AM	514.00 ± 109.23 b	27.85 ± 6.09 b	18.63 ± 3.22 b
OC	681.06 ± 17.53 a	27.77 ± 2.67 b	24.64 ± 1.76 a
AC	551.17 ± 30.99 b	42.09 ± 2.16 a	13.09 ± 0.16 c

2.1.3 对蚓粪基础呼吸和呼吸商的影响

老化处理显著降低蚓粪的微生物基础呼吸 (表 4), 在两种有机物施用下降幅分别达到 46.72% 和

46.81%。施用牛粪处理的蚓粪基础呼吸低于施用秸秆的处理,但是没有达到显著性差异。呼吸商是基础呼吸与微生物生物量碳的比值,即单位微生物量的呼吸强度。老化处理显著降低了两种有机物处理下的蚓粪呼吸商,在施用牛粪的情况下更明显,降低 33.33%。未经老化处理的蚓粪中,不同有机物施入对呼吸商值没有影响。

2.2 不同有机物施用下蚓粪老化以及风干处理对蚓粪团聚体特性的影响

试验发现,新鲜蚓粪中水稳性团聚体主要以大型大团聚体 (large macro-aggregate > 2mm)和微团聚体 (micro-aggregate 0.25~0.053mm)的形式存在 (表5)。老化处理增加了新鲜蚓粪中总水稳性团聚体含量 (>0.053mm),主要表现在水稳性大型大团聚体 (>2mm)增加,在施用牛粪的处理中总水稳性团聚体和大型大团聚体分别增加 17.81%和 59.62%,均达显著水平。老化处理降低了新鲜蚓粪中 0.25~0.053mm 粒级的水稳性微团聚体含量,但两种有机物施用下都没有显著差异。

风干处理显著增加各个处理中总水稳性团聚体 (>0.053mm)含量,4个处理中分别增加 52.12%, 44.58%, 63.10%和 22.29%。蚓粪风干后水稳性团聚体向微团聚体 (0.25~0.053mm)部分集中,粘砂粒含量 (<0.053mm)显著降低。

施用秸秆处理的新鲜蚓粪中 0.25~0.053mm 粒级的水稳性团聚体含量显著高于施用牛粪的处理,老化之前和老化后分别高 25.12%和 62.99%。施用秸秆的处理风干蚓粪中水稳性大型大团聚体含量显著高于施用牛粪的处理,老化之前后分别是施用牛粪处理的 2.46倍和 2.14倍,0.25~0.053mm的水稳性团聚体含量低于施用牛粪的处理,老化之前后的降幅分别达 35.07%和 4.15%。

表 4 不同处理蚓粪的呼吸强度和呼吸商

Table 4 The respiration and qCO_2 of earthworm casts in different treatments

处理 Treatments	基础呼吸 Basic respiration rate ($mgCO_2/kg$)	呼吸商 qCO_2 ($mgCO_2/Cmb$)
OM	449.38±69.47 a	0.60±0.09 a
AM	239.42±24.24 b	0.48±0.09 ab
OC	410.43±40.33 a	0.60±0.06 a
AC	218.32±31.95 b	0.40±0.06 b

表 5 蚓粪用湿筛法分级后的团聚体分布

Table 5 Aggregates distribution of earthworm casts under wetting sieve

处理 Treatments	各粒级团聚体含量 Aggregates in total soil weight (%)							
	新鲜蚓粪 Fresh casts				风干蚓粪 Air-dried casts			
	> 2mm	2~0.25mm	0.25~0.053mm	<0.053mm	> 2mm	2~0.25mm	0.25~0.053mm	<0.053mm
OM	23.77±2.31b	2.46±0.20a	28.37±3.73a	45.40±1.58a	35.87±0.83a	4.26±1.18b	42.93±0.93c	16.94±0.80b
AM	26.92±4.54b	2.10±0.18ab	26.39±3.10a	44.59±2.93a	14.33±2.89b	12.68±2.02a	53.10±3.29b	19.89±3.81ab
OC	27.64±8.36b	1.43±0.67b	23.21±5.78ab	47.72±3.89a	14.58±4.51b	5.49±1.22b	65.19±1.54a	14.73±3.75b
AC	44.12±2.59a	1.37±0.39b	16.11±4.34b	38.41±2.67b	6.69±0.93c	12.13±1.21a	56.50±1.65b	24.68±1.92a

2.3 蚓粪中微生物学指标和水稳性团聚体含量间相关性

通过分析蚓粪生物学性质指标和不同粒级水稳性团聚体含量之间的相关性,真菌数量、呼吸强度以及微生物生物量 C 和风干蚓粪中 >2mm 粒级的水稳性大型大团聚体含量呈显著的正相关,而细菌数量则和新鲜蚓粪中水稳性大型大团聚体含量极显著正相关。微生物量 C/N 与风干蚓粪中水稳性大团聚体 (2~0.25mm) 含量,以及新鲜蚓粪中水稳性大型大团聚体 (>2mm) 含量都呈显著负相关关系 (见表 6)。

3 讨论

3.1 不同的有机物施用下蚓粪老化处理对蚓粪微生物活性的影响

试验结果表明,蚓粪经过老化后,所有处理中真菌数量都明显降低,这是由于蚯蚓对真菌的偏好取食^[24]。老化后细菌数量不变或升高,Daniel 和 Anderson 的研究也发现了这样的结果^[8],可能是由于细菌生长快,能

在蚯蚓消化道内迅速繁殖,从而个数急剧增加^[4]。施用牛粪处理蚓粪老化后细菌的增长比施用秸秆的处理更显著。可能是牛粪被蚯蚓反复取食后,经过蚯蚓肠道的分解消化,牛粪中的养分被分解释放,可以为细菌的增长提供更好的环境和更多的食源。放线菌数量在老化后蚓粪中都有变化,特别是在施用牛粪时数量有所下降,但都没有达到显著水平,和李辉信^[25]等对于蚯蚓堆制对牛粪的影响的相关研究也得到了相同结论。老化处理后,蚓粪中微生物生物量都降低了,很多研究都得出了类似结论^[26-27]。主要是由于真菌的菌丝通过蚯蚓的消化道后被大量破坏,有研究表明真菌的细胞壁主要组成成分为几丁质,而蚯蚓消化道内具有降解几丁质的消化酶^[24],而且蚯蚓消化道内为厌氧环境,在通过消化道的12~20h内,真菌菌丝在蚯蚓消化道内本身会发生自溶^[28]。施用不同有机质处理的蚓粪中微生物类群不同。施用牛粪处理的细菌和放线菌数量比施用秸秆处理的多,而在施用秸秆处理下真菌数量比较高。这是由于真菌细胞的C/N要高于细菌^[16-29],本试验中施用的玉米秸秆碳氮比远高于牛粪,更适宜真菌的生长。李贵桐等的研究也表明在加入秸秆后土壤表面存在大量真菌菌丝^[30]。

表 6 蚓粪微生物学指标和水稳性团聚体含量间的相关性

	新鲜蚓粪团聚体含量 (%)			风干蚓粪团聚体含量 (%)		
	Percentage of different aggregates in fresh casts			Percentage of different aggregates in air-dried casts		
	> 2mm	2~0.25mm	0.25~0.053mm	> 2mm	2~0.25mm	0.25~0.053mm
微生物量碳 SMBC	-0.407	0.311	0.374	0.694	-0.746*	-0.220
微生物量碳氮比 SMBC/SMBN	-0.734*	0.316	0.683*	0.454	-0.659	0.144
基础呼吸 Basic respiration	-0.641	0.342	0.554	0.750*	-0.855*	-0.191
细菌 Bacteria	0.737*	-0.510	-0.605	-0.597	0.308	0.450
真菌 Fungi	-0.568	0.624	0.496	0.833*	-0.464	-0.666*
放线菌 Actinomycetes	-0.374	-0.280	0.500	-0.226	0.042	0.511

***, ** 和 * 分别代表显著水平 $P \leq 0.001$, 0.01 , 0.05 Express significant different at $P \leq 0.001$, 0.01 , 0.05 respectively

施用牛粪处理的蚓粪的微生物生物量碳氮比施用秸秆处理小,虽然占微生物数量比例较大的细菌和放线菌数目在施用牛粪处理中比施用秸秆处理多,但由于细菌的个体比真菌小得多,其数目的变化对微生物总的生物量影响不大^[26]。真菌虽然数量少,但是其菌丝生物量很大,对微生物量碳氮有很大影响。在施用牛粪的处理中蚓粪的基础呼吸比施用秸秆的处理低,这也主要是受到真菌的影响。相关分析表明,真菌数量和微生物生物量碳、土壤基础呼吸间的相关性分别达到了0.777**和0.485。

土壤基础呼吸主要是用于反映土壤微生物总体活性的一个较好的指标。老化后蚓粪的基础呼吸在两种有机物的施用处理下都降低了。一般认为蚯蚓作用的土壤呼吸活性的提高与蚯蚓消化道内和蚯蚓粪中较高浓度的水溶性碳水化合物有关^[19],蚓粪老化后,蚓粪中可利用的水溶性化合物被微生物分解吸收,可利用的碳减少,呼吸值降低。呼吸商降低说明在蚯蚓的反复取食消化下活性微生物的数量降低了^[19]。老化降低了微生物的数量,同时改变了微生物类群组成,老化后的蚓粪中微生物生物量C/N也都发生了变化,这从另一方面说明群落类群发生了变化。

3.2 不同的有机物施用下蚓粪老化处理以及风干对蚓粪结构稳定性的影响

团粒结构是比较好的土壤结构,蚓粪一直被认为是结构最好的团聚体,土壤水稳性团聚体数量是评价土壤结构优劣的重要指标之一。团聚体的稳定性是指团聚体的抗外力作用或外部环境变化而保持原有形态的能力,包括水稳定性、力学稳定性、化学稳定性、酸碱稳定性和生物稳定性。水分是导致团聚体破碎的主要因素,因此,团聚体稳定性的研究内容主要是水稳定性团聚体。现行的水稳性团聚体测定方法采用纯水分散的湿筛法^[23]。根据粒径将团聚体划分为>0.25mm的水稳性大团聚体和0.25~0.053mm的水稳性微团聚体,

其中 $> 2\text{mm}$ 的大团聚体又称为大型大团聚体 (large macro-aggregate)^[11]。水稳性团聚体含量高,则团聚体的稳定高。团聚体的稳定性受到人为活动、环境、有机质含量和组成、土壤微生物和植物根系等多种因素的影响^[31~33]。

试验研究表明经过老化处理后,新鲜蚓粪的水稳性团聚体含量都有提高。因为土壤在被蚯蚓吞食后在其肠道中被反复作用,通过挤压,破坏土壤原有结构,重新形成良好结构,这一过程能增加土壤的黏结,因而能提高蚓粪的稳定性。R. P. Hindell^[34]的研究也得出了相似的结论。老化后蚓粪中的细菌数量增加,其分泌的一些碳水化合物类物质也有利于提高蚓粪的稳定性。相关性分析表明细菌数量和蚓粪基础呼吸与新鲜蚓粪的大型大团聚体含量之间有 0.737^{**} 显著相关和 0.641 的显著负相关,新鲜蚓粪中水稳性团聚体主要以大型大团聚体和微团聚体的形式存在,说明细菌在促进蚓粪的团聚体稳定性中起着重要的作用。在蚓粪老化的过程中,微生物的活性下降,可能在可利用的能源物质减少的情况下微生物自身会分泌更多的物质来适应环境的变化。

干燥是土壤团聚体稳定的一个重要因素^[35],风干土壤的团聚体稳定的主要原因是颗粒之间的粘结。在风干的过程中,对于团聚作用起重要作用的一些碳水化合物随着水分在土壤颗粒之间运移^[36],从大团聚体孔隙进入了微团聚体的表层和孔隙,因而稳定的大团聚体含量降低,水稳性团聚体向稳定性更高的微团聚体部分转移。经过老化处理的蚓粪再进行风干处理,水稳性微团聚体含量的增加更加显著,可能是因为老化的过程中,有机物料被蚯蚓反复的作用,分解得更为彻底。风干处理有助于提高蚓粪的稳定性。经过风干处理,水稳性大型大团聚体 ($> 2\text{mm}$) 的含量减少,但是总的水稳性团聚体 ($> 0.053\text{mm}$) 含量增加。

施用牛粪处理的新鲜蚓粪中 $> 2\text{mm}$ 水稳性大团聚体含量比施用秸秆的处理高, $0.25 \sim 0.053\text{mm}$ 的水稳性微团聚体低于施用秸秆的处理,主要是由于大团聚体和微团聚体的稳定作用有着不同的机制^[11]。大团聚体中是碳水化合物类的胶结剂起作用^[37],微团聚体中可能是来自植物和微生物的多糖在其稳定性中起关键作用^[38],有研究发现在潮土中施用稻草处理的活性有机质含量高于施用猪粪的处理^[39]。施用秸秆处理的蚓粪风干后 $> 2\text{mm}$ 水稳性大团聚体含量比施用牛粪的处理显著提高,主要是因为风干后活性的黏结物质量减少,在风干的蚓粪中真菌菌丝体的扩展比黏结物质更有益于大团聚体的形成^[40~42],本试验中施用秸秆的处理真菌的生长远大于施用牛粪的处理。真菌数量和风干后蚓粪中大团聚体之间 0.833^{**} 的高相关性也说明这一点。

References

- [1] Bossuyt H, Six J, Hendrix P F. Rapid incorporation of carbon from fresh residues into newly formed stable micro-aggregates within earthworm casts. *European Journal of Soil Science*, 2004, 55: 393—399.
- [2] Bossuyt H, Six J, Hendrix P F. Interactive effects of functionally different earthworm species on aggregation and incorporation and decomposition of newly added residue carbon. *Geoderma*, 2006, 130: 14—25.
- [3] Bossuyt H, Six J, Hendrix P F. Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37: 251—258.
- [4] Michael M, Declan J L, Thomas B. Effect of earthworm cast formation on the stabilization of organic matter in fine soil fractions. *European Journal of Soil Biology*, 2001, 37: 251—254.
- [5] Jongmans A G, Pulleman M M, Marinissen J C Y. Soil structure and earthworm activity in a marine silt loam under pasture versus arable land. *Biology and Fertility of Soils*, 2001, 33: 279—285.
- [6] Swaby R J. The influence of earthworm on soil aggregation. *Journal of Soil Science*, 1949, 1: 195—197.
- [7] Marinissen J C Y, Dexter A R. Mechanisms of stabilization of earthworm casts and artificial casts. *Biology and Fertility of Soils*, 1990, 6: 163—167.
- [8] Aira M, Monroy F, Domínguez J. Ageing effects on nitrogen dynamics and enzyme activities in casts of *Aporrecta caliginosa* (Lumbricidae). *Pedobiologia*, 2005, 49: 467—473.
- [9] Scullion J, Malik A. Earthworm activity affecting organic matter aggregation and microbial activity in soils restored after opencast mining for coal. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32: 119—126.
- [10] Buck C, Langmaack M, Schrader S. Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. *Applied Soil Ecology*, 2000, 14: 223.

— 229

- [11] Tisdall JM, Oades JM. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 1982, 33: 141—163.
- [12] Kong W D, Liu K X, Liao ZW. Effects of different organic materials and the decomposing levels on soil microbial community. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3): 487—492.
- [13] Wu Z G, Zhang H J, Xu G S, *et al*. Effect of returning corn straw into soil on soil fertility. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5): 539—542.
- [14] Yan L S, Yang H J, *et al*. Effects of Maize Stems Returning Back to the Field on the Yield of Plants and Soil Fertility. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2): 143—148.
- [15] Gao Y C, Zhu W S, Chen W X. Bacterial Community Structure in Straw Mulch No tillage Soils. *Ecologic Science*, 2000, 19(3): 27—32.
- [16] Timov A V, Scheu S. Microbial biomass, biovolume and respiration in *Lumbricus terrestris* L. cast material of different age. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32: 265—275.
- [17] Chao H I, Ohno T. Effect of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, 35: 295—302.
- [18] Zhang B G. Interaction between earthworms and microorganisms. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(5): 556—560.
- [19] Timov A V, Scheu S. Microfungal communities in soil litter and casts of *Lumbricus terrestris* L. (*Lumbricidae*): a laboratory experiment. *Applied Soil Ecology*, 2000a, 14: 17—26.
- [20] Hindell R P, McKenzie B M, Tisdall JM. Influence of drying and ageing on the stabilization of earthworm (*Lumbricidae*) casts. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, 25: 27—35.
- [21] Clegg C D, Anderson JM, Lappin-scott H M, *et al*. Interaction of a genetically modified *Pseudomonas fluorescens* with the soil-feeding earthworm *Octolasion cyaneum* (*Lumbricidae*). *Soil Biology & Biochemistry*, 1995, 27: 1423—1429.
- [22] Lu R K. Method of analysis in soil and agro chemistry. Beijing: Chinese Agricultural Science & Technology Press, 2000.
- [23] ISSAS. Soil Physical and Chemical Analysis. Shanghai: Science and Technology Press, 1978: 55—78.
- [24] Edwards C A, Fletcher K E. Interactions between earthworms and microorganisms in matter breakdown. *Agricultural Ecosystems Environment*, 1988, 24: 235—247.
- [25] Li H X, Hu F, Cang L, *et al*. Effect of vermicomposting on characteristics of cattle manure. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(3): 588—593.
- [26] Devliegher W, Verstraete W. *Lumbricus terrestris* soil core experiment. Nutrient enrichment processes (N) and gut-associated processes (GAP) and their effect on microbial biomass and microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry*, 1995, 27: 1573—1580.
- [27] Bohlen P J, Edwards C A. Earthworm effects on N dynamics and soil respiration in microcosms receiving organic and inorganic nutrients. *Soil Biology & Biochemistry*, 1995, 27: 341—348.
- [28] Daniel O, Anderson JM. Microbial biomass and activity in contrasting soil material after passage through the earthworm of *Lumbricus rubellus Hoffmeister*. *Soil Biology & Biochemistry*, 1992, 24: 465—470.
- [29] Paul E A, Clark F E. Soil microbiology and biochemistry. New York: Academic Press, 1996: 184.
- [30] Li G T, Zhang B G, Li B G. Effect of straw pretreatment on soil microbial biomass and respiration activity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12): 2225—2228.
- [31] Changey K, Swift R S. Stability of soil aggregates in relation organic constituents and soilwater content. *Journal of Soil Science*, 1990, 41: 73—83.
- [32] Chantigny M H, Angers P, Prevost D, *et al*. Soil aggregation and fungal bacterial biomass under annual and perennial cropping system. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61: 262—267.
- [33] Haynes R J, Beare M H. Influence of six crop species on aggregates stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biology & Biochemistry*, 1997, 29: 1647—1653.
- [34] Hindell R P, Tisdall JM. Influence of drying and aging on the stabilization of earthworm (*Lumbricidae*) casts. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, 25: 27—35.
- [35] Shipitalo M J, Protz R. Factors influencing the dispersability of clay in worm casts. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52: 764—769.
- [36] Peng X H, Zhang B, Zhao Q G. Effect of soil organic carbon on aggregate stability after vegetative restoration on severely eroded red soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2177—2183.
- [37] Beare M H, Hendrix P F, Coleman D C. Water stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58: 777—786.
- [38] Wang J R, Wei Q F, Qu D, *et al*. Significance of soil polysaccharide in fertility (two). *Chinese Journal of Soil Science*, 1995, 26(6): 274.

— 275

- [39] Ni J Z, Xu J M, Xie Z M. Dynamic of active organic matter fractions in fluvio-aquic soil after application of organic fertilizers. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(4): 416—419
- [40] Puget P, Chenu C, Balesdent J. Total young organic matter distributions in aggregate of silty cultivated soils. *European Journal of Soil Science*, 1995, 46: 449—459
- [41] Benae M H, Hendrix P F, Coleman D C. Aggregate protected and unprotected organic matter pools in conventional and no tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58: 787—795
- [42] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic matter across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56: 779—783

参考文献:

- [12] 孔维栋, 刘可星, 廖宗文. 有机物料种类及腐熟水平对土壤微生物群落的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 487—492
- [13] 武志杰, 张海军, 许广山, 等. 玉米秸秆还田培肥土壤的效果. *应用生态学报*, 2002, 13(5): 539—542
- [14] 颜丽, 宋杨, 贺靖, 等. 玉米秸秆还田时间和还田方式对土壤肥力和作物产量的影响. *土壤通报*, 2004, 35(2): 143—148
- [15] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 秸秆覆盖免耕对土壤细菌群落区系的影响. *生态科学*, 2000, 19(3): 27—32
- [18] 张宝贵, 蚯蚓与微生物的相互作用. *生态学报*, 1997, 17(5): 556—560
- [22] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法, 中国土壤学会编. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [23] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤物理性质测定方法. 北京: 科学出版社, 1978, 78—55
- [25] 李辉信, 胡锋, 仓龙, 等. 蚯蚓堆置处理对牛粪性状的影响. *农业环境科学学报*, 2004, 23(3): 588—593
- [30] 李贵桐, 张宝贵, 李保国. 秸秆预处理对土壤微生物量及呼吸活性的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(12): 2225—2228
- [36] 彭新华, 张斌, 赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响. *生态学报*, 2003, 23(10): 2177—2183
- [38] 王俊儒, 尉庆丰, 曲东, 等. 土壤多糖在肥力上的意义 (二). *土壤通报*, 1995, 26(6): 274—275
- [39] 倪进治, 徐建民, 谢正苗. 有机肥料施用后潮土中活性有机质组分的动态变化. *农业环境科学学报*, 2003, 22(4): 416—419