

不同有机物料对黑土腐殖质结合形态影响差异性的研究

李建明, 吴景贵*, 王利辉

(吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118)

摘 要:通过盆栽试验,研究了施用不同有机物料后黑土腐殖质结合形态含量及特征变化。结果表明,草本处理松结态腐殖质总量始终高于 CK,并且在施用有机物料 1 a 后差异显著,而动物粪便在施用 5 a 后显著高于 CK。各处理松结态腐殖质胡敏酸/富里酸(H/F)只在施用 1 a 后表现出明显差异,光密度也只在施用 1 a 后有明显差异,而各处理联结态腐殖质含量表现为施用 1 a 后显著低于 CK,随时间延长显著高于 CK,施用 5 a 后则无明显差异;光密度在施用 5 a 后才表现出明显差异,草本残体、动物残体显著高于其他处理,木本残体、动物粪便、CK 之间则无明显差异。各处理对于稳结态腐殖质含量的影响无明显差异,但对其组成影响并不相同。与 CK 相比,施用有机物料 1 a 后,紧结态腐殖质含量显著提高,但有机物料之间差异不显著。各处理松/紧表现为,施用 1 a 后,草本残体显著高于其他处理,而木本处理、动物粪便处理显著低于 CK,随着时间的延长各处理则无明显差异。

关键词:有机物料;腐殖质;黑土;腐殖质结合形态

中图分类号:S153.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)08-1608-08

Effects of the Different Organic Materials on the Combined States of Humus in Black Soil

LI Jian-ming, WU Jing-gui*, WANG Li-hui

(College of Resources and Environmental Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: Humic substances (HS) are the most important components of soil organic matter and soil carbon sequestration, So it is one of the hot issues of international affairs and Low-carbon Society. Application of organic materials is an important practice for maintaining and/or improving the physical, chemical and biological performances of HS in soils. In this paper, the pot experiment was conducted to study the effect of the different organic materials on the combined states of humus in black soil. The results showed as follow: Compared with control treatment (CK), application of herb residues increased contents of loosely combined soil humus substances, and significantly higher than CK in the first year, after five years used of animal excrement increased the content of loosely combined markedly. The ratio of HA and FA of loosely combined was significantly difference in the first year. E4/E6 of every treatment was also significantly different in the first year. The content of unitedly combine humus of organic materials were all notable lower than CK in the first year, but significantly higher than CK three year later, E4/E6 indicated obvious difference until the fifth year, among them, herb residues, animal remnant significantly higher than others, and there were no significant difference among them. There were no difference in the content of the stably combined, but the composition was different. Compared to CK, the content of tightly was increased visible after application of organic materials a year later. The ratio of loosely and tightly showed herb residues dramatically enhanced the ratio, woody residues and animal excrement were observably lower than CK in the first year, and there was no obvious difference with the time going on.

Keywords: organic material; humic substance; black soil; combined state of humus

收稿日期:2011-01-08

基金项目:松辽平原区农牧结合循环生产技术集成研究与示范项目(2007BAD89B06);农业部现代农业产业技术体系建设项目(MATS2Beef Cattle system);吉林省科技厅资助项目“高效多功能环保型肥料研制”(20060212)

作者简介:李建明(1986—),男,吉林长春人,硕士研究生,主要从事土壤化学及有机培肥研究。E-mail:ljm1986@hotmail.com

* 通讯作者:吴景贵 E-mail:jgwu68@sohu.com

土壤有机质是土壤肥力和基础地力最重要的物质基础,也是决定生态系统生产力及其稳定性的土壤关键组分^[1-3];土壤腐殖质是土壤有机质的重要组成部分,对土壤肥力、结构和性质具有调节功能,在土壤养分循环和农业生态系统稳定平衡方面发挥着重要作用。土壤中的腐殖物质大多是与矿物部分相结合,形成有机无机复合体而存在,由于结合的方式和松紧程度不一,可分为松结态、联结态、稳结态和紧结态4种腐殖质^[4],它们在固碳和肥力特性上各不相同。不同结合形态腐殖质对土壤结构状况具有不同的影响,对土壤的肥沃状况也有很大的影响。有机物料是农业生产中重要的物质基础,是农业生产中的重要肥源。早在公元前403年至公元前227年的战国时期就有杂草肥田的记载^[5]。施用有机物料可以降低容重,同时增加土壤有机碳含量^[6],改善土壤理化性质,提高作物产量和品质^[7-9]。有机物料也可以给微生物活动创造一个良好的环境,使它能够顺利通过腐殖化阶段,形成保水保肥力高的腐殖质。利用有机物料进行农业生产既是农业自身物质和能量的循环,又是净化人类环境、进行资源再利用的有效途径。目前国内外研究主要集中在厩肥、作物秸秆施入土壤后对腐殖质的影响,而对不同种类有机物料对黑土腐殖质结合形态影响差异性的研究较少。本文通过长期盆栽试验研究施用不同来源有机物料1、3、5 a后黑土腐殖质结合形态的差异性,旨在为有机物料的高效利用、农业的持续发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验地选择在吉林农业大学试验站,试验始于2005年。供试土壤为黑土,采于吉林农业大学西南区。土壤基本性质为:有机碳 26.7 g·kg⁻¹、全氮 1.26 g·kg⁻¹、全磷 1.07 g·kg⁻¹、碱解氮 90.44 mg·kg⁻¹、速效磷 34.15 mg·kg⁻¹、速效钾 92.50 mg·kg⁻¹, pH 6.36。采样时间分别为试验开始后的第1、3、5 a。

1.2 盆栽试验设计

试验用盆为高40 cm,平均直径30 cm的塑料盆。试验在吉林农业大学资源与环境学院培养试验场网室中进行。将准备好的土壤和有机物料风干,土壤过20目筛,有机物料粉碎过20目筛,然后测定土壤和有机肥料的含水量。每盆施入相当于烘干土14.5 kg的风干土。装盆时,施入有机物料量(性质见表1,按烘干重计)占烘干土重的1.5%(只在第1 a施用)。均

表1 有机物料性质(g·kg⁻¹)

Table 1 Property of organic materials(g·kg⁻¹)

有机物料	N	P	K	WOM	WLOM	WHA
草本残体	8.69	1.33	11.12	23.36	11.06	12.3
动物残体	23.15	4.6	12.9	15.76	7.38	8.57
木本残体	9.24	0.94	4.48	9.21	4.78	4.43
动物粪便	23.17	4.57	12.84	17.38	14.51	2.87

注:WOM:水溶性有机物总量 Total watersoluble organic material; WLOM:水溶性小分子有机物 Watersoluble litter-molecular organic material; WHA:水溶性胡敏酸 Watersoluble humic acid.

施入化肥,其中N素10 g·盆⁻¹,P素5 g·盆⁻¹,K素7 g·盆⁻¹。试验共设5个处理,每个处理设3次重复,共计15盆。即(1)对照CK;(2)草本残体;(3)动物残体;(4)木本残体;(5)动物粪便。

供试有机物料:草本残体选用玉米秸秆(包括叶片茎秆两部分);木本残体选用秋天落叶;动物粪便选用鹿粪,采自吉林农大鹿场;动物残体选用鱼残体。供试化学肥料:N肥选用尿素(含氮量45.8%),吉化公司产;P肥选用过磷酸钙(含P₂O₅ 14%),吉化公司产;K肥选用硫酸钾(K₂O 50%),吉化公司产。

1.3 分析方法

1.3.1 土壤腐殖质的分组

采用熊毅的方法,将土壤腐殖质分为4组,称取土样5 g(达1/100精度),放入100 mL离心管中,加入0.1 mol·L⁻¹ NaOH溶液50 mL,用玻璃棒搅匀,于30℃保温箱内放置过夜,次日离心(3 000 r·min⁻¹, 15 min)。如悬液混浊,加少量饱和Na₂SO₄溶液,搅匀后放置片刻再离心,所得的提取液先收集在250 mL塑料瓶中。剩余土壤再加0.1 mol·L⁻¹ NaOH溶液50 mL。如此反复处理(约4~5次),直至提取液接近无色。提取部分即松结态腐殖质(I组)。分离I组后剩余的土壤,加50 mL 0.1 mol·L⁻¹ NaOH和0.1 mol·L⁻¹ Na₄P₂O₇的混合液(pH约13),搅匀,于30℃保温箱内放置过夜,次日离心。如悬液混浊,可加少量饱和Na₂SO₄溶液,搅匀后再离心。如此反复处理(约4次),直至提取液接近无色。提取部分即结态腐殖质(II组)。I、II组腐殖质后剩余的土壤,加入50 mL 0.1 mol·L⁻¹ NaOH和0.1 mol·L⁻¹ Na₄P₂O₇的混合液(pH约13),超声波处理即得到稳结态腐殖质。残留的为紧结态腐殖质。

1.3.2 测定方法

各组分有机碳、胡敏酸含量用重铬酸钾容量(外加热)法测定、富里酸含量用差减法计算;可见光区吸光特性测定采用Kumada法(用723分光光度计测定

465、665 nm 的吸光值,并计算 E4/E6)。

1.4 数据处理

数据经 Excel2003 整理后,采用 DPSv7.05 统计软件进行相关分析和 Duncan 新复极差 5%水平的差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 黑土松结态腐殖质

2.1.1 黑土松结态腐殖质含量

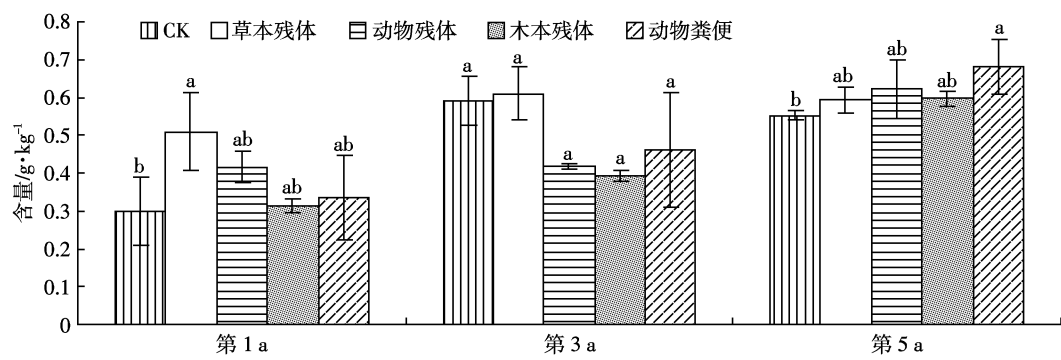
从图 1 可知,施用有机物料 1 a 后,与对照相比,各处理松结态腐殖质含量都增加,其中,草本残体处理增加了近 1 倍,显著高于 CK。动物残体处理,木本残体处理,动物粪便处理分别增加了 39%、4%、11%,且各有机物料之间没有显著差异。3 a 后,除草本处理外,其余各处理松结态含量均低于 CK,其中动物残体降低 32%,木本残体降低 37%,动物粪便降低 24%,但各处理均未达到差异显著水平。5 a 后,与对照相比,各处理松结态腐殖质含量都增加,并表现为动物粪便>动物残体>木本残体>草本残体>CK,其中动物残体与 CK 达到差异显著水平。

2.1.2 黑土松结态腐殖质(HA)、(FA)含量及 H/F

不同处理对黑土松结态腐殖质 HA、FA 含量及 H/F 的影响列于表 2。从表中可知,施用有机物料 1 a 后,与对照相比,各处理均显著增加了松结态 HA 和 FA 含量。其中动物残体处理增加松结态 HA 含量最多,其次是动物粪便处理,木本残体增加幅度最小。草本残体处理明显增加松结态 FA 含量,其次是动物残体处理,木本残体和动物粪便增加幅度最小。除动物残体提高了松结态 H/F,其他各处理 H/F 均低于对照。第 3 a 时,与对照相比,除草本残体外,其余各处理均降低了松结态 HA 和 FA 含量,但各处理未达到差异显著水平。而 H/F 则呈相反趋势,即动物粪便>动物残体>木本残体>CK>草本残体。第 5 a 时,动物粪便、动物残体、草本残体处理 HA、FA 含量高于 CK,而木本处理使 HA 含量增加,FA 含量降低。对于 H/F,除动物残体外,各处理均增加了 H/F,表现为动物残体>木本残体>草本残体。

2.1.3 黑土松结态腐殖质 HA 的 E4/E6

由图 2 可知,第 1 a,各有机物料处理均能使松结态 HA 的 E4/E6 有所增加,其中木本残体>动物粪便>



不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05),下同。
Different small letters meant significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

图 1 不同来源有机物料对黑土松结态腐殖质含量的影响

Figure 1 Effect of the different organic materials on the content of loosely combined humus of phaeozem

表 2 不同来源有机物料对黑土松结态腐殖质组成的影响(g·kg⁻¹)

Table 2 Effect of the different organic materials on the composition of loosely combined humus of phaeozem(g·kg⁻¹)

处理	第 1 a			第 3 a			第 5 a		
	HA	FA	H/F	HA	FA	H/F	HA	FA	H/F
CK	0.047 8d	0.181 5d	0.263 4b	0.216 3a	0.447 3a	0.360 5a	0.366 3a	0.186 6a	2.09a
草本残体	0.059 5bc	0.385 6a	0.154 2c	0.153 6a	0.508 3a	0.303 8a	0.405 5a	0.187 6a	2.591 6a
动物残体	0.166 7a	0.325 6b	0.512 4a	0.133 8a	0.284 2a	0.474 3a	0.425 7a	0.196 2a	2.775 6a
木本残体	0.051 9c	0.260 9c	0.198 1c	0.123 3a	0.269 6a	0.457 2a	0.418 1a	0.179 2a	2.484 2a
动物粪便	0.069 1b	0.264 4c	0.260 6b	0.156 7a	0.305 1a	0.553 8a	0.363 8a	0.316 2a	1.220 6a

注:不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05),下同。
Note: Different small letters meant significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

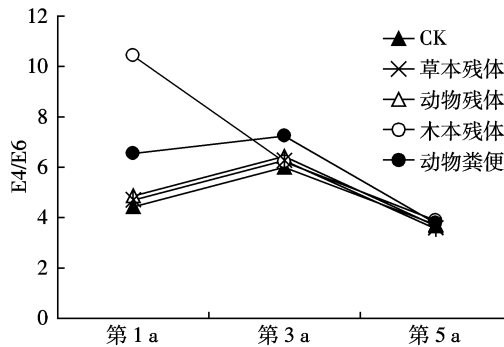


图 2 不同来源有机物料对黑土松结态腐殖质(HA)E4/E6 的影响
Figure 2 Effect of the different organic materials on the HA E4/E6 of loosely combined humus of phaeozem

动物残体>草本残体>CK。第 3 a 时各处理 E4/E6 依然高于 CK, 表现为动物粪便>动物残体>草本残体≈木本残体>CK。第 5 a 时各处理 E4/E6 大致相同。表明有机物料使松结态 HA 的光密度增大, 分子的复杂程度提高, 缩合度升高, 但随时间延长有机物料的影响逐渐降低, 施用 5 a 后各处理之间无明显差异。

2.2 黑土联结态腐殖质

2.2.1 黑土联结态腐殖质含量

图 3 为不同处理对黑土联结态腐殖质含量的影响。施用有机物料 1 a 后, 与 CK 相比各处理联结态腐殖质含量均显著降低, 草本残体降低了 54%, 动物残体

降低了 65%, 木本残体降低了 32%, 动物粪便降低了 29%。到了第 3 a, 各处理联结态腐殖质含量均显著高于 CK, 表现为木本残体>草本残体>动物粪便>动物残体>CK。第 5 a 时, 各处理联结态腐殖质含量仍均高于 CK, 表现为木本残体>草本残体>动物残体>动物粪便>CK, 但各处理之间差异不显著。

2.2.2 黑土联结态腐殖质 HA、FA 含量及 H/F

由表 3 可知, 施有机物料 1 a 后, 与 CK 相比各处理联结态腐殖质 HA、FA 均降低, 而 H/F 表现为动物残体提高了 88%, 草本残体提高了 62%, 木本残体降低了 6%, 动物粪便降低了 7%。第 3 a 时, 木本残体、动物粪便使联结 HA 和 FA 含量均增加。而动物残体、草本残体增加了 HA 含量而降低了 FA 含量。与 CK 相比各处理均提高了 H/F, 但差异不同。第 5 a 时, 各处理影响与第 3 a 相同。

2.2.3 黑土联结态腐殖质 HA 的 E4/E6

图 4 为不同处理对联结态腐殖质 HA 的 E4/E6 影响。施有机物料 1 a 后, 动物残体、草本残体 E4/E6 低于 CK, 而木本残体、动物粪便处理则与 CK 大致相等。第 3 a 时除草本残体外其他处理 E4/E6 均高于 CK, 表现为动物粪便>木本残体>动物残体>CK, 但木本残体、动物残体增加幅度不明显。第 5 a 时, 除动物粪便外, 其他处理均高于 CK, 并且草本残体>动物残

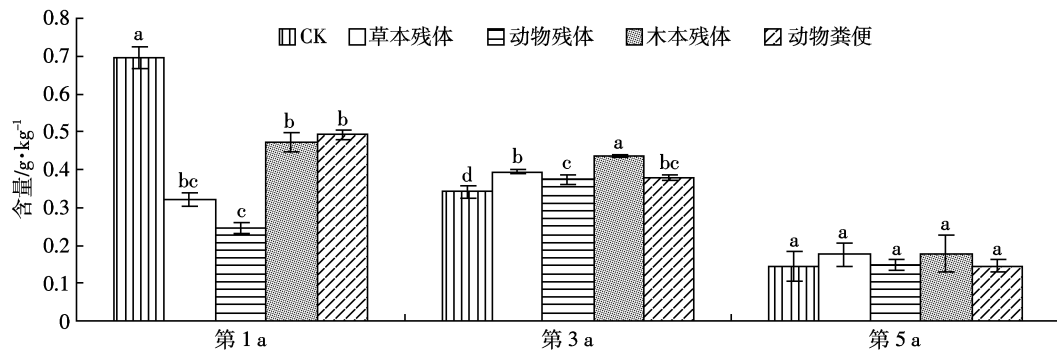


图 3 不同来源有机物料对黑土联结态腐殖质含量的影响

Figure 3 Effect of the different organic materials on the content of unitedly combined humus of phaeozem

表 3 不同来源有机物料对黑土联结态腐殖质组成的影响(g·kg⁻¹)

Table 3 Effect of the different organic materials on the composition of unitedly combined humus of phaeozem(g·kg⁻¹)

处理	第 1 a			第 3 a			第 5 a		
	HA	FA	H/F	HA	FA	H/F	HA	FA	H/F
CK	0.230 5a	0.464 5a	0.496b	0.155 2b	0.185 4ab	0.841a	0.032 9c	0.109 8a	0.381 7b
草本残体	0.158 3b	0.196 4c	0.804 5ab	0.219 9a	0.174 6b	1.382 7a	0.094 1a	0.082 4a	1.595 6a
动物残体	0.096 5c	0.116 1d	0.935 1a	0.194ab	0.181 1ab	1.076 9a	0.086 2ab	0.06a	1.814 1a
木本残体	0.149 8b	0.322 8b	0.463 7b	0.207a	0.230 7a	0.901 3a	0.059 2bc	0.119 1a	0.554 3b
动物粪便	0.138 3b	0.320 4b	0.431 3b	0.189 7ab	0.189 7ab	1.001 6a	0.034 1c	0.111 7a	0.325 9b

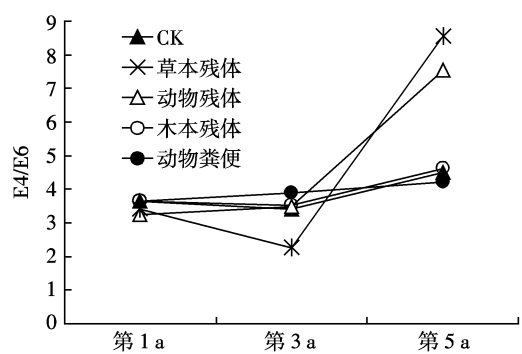


图 4 不同来源有机物料对黑土联结态腐殖质 HA E4/E6 的影响
Figure 4 Effect of the different organic materials on the HA E4/E6 of unitedly combined humus of phaeozem

体>木本残体≈CK。表明施用有机物料使联结态 HA 的芳化度变大,其光密度变化较小。施用 3 a 后除草本处理外,其他有机物料使联结态 HA 的光密度增大,分子的复杂程度提高。5 a 后,除动物粪便外,其他有机物料使联结态 HA 的光密度增大。

2.3 黑土稳结态腐殖质

2.3.1 黑土稳结态腐殖质含量

不同处理对黑土稳结态腐殖质含量的影响见图 5。第 1 a 时,草本残体处理、动物粪便处理均增加了稳结态腐殖质含量,动物残体处理与木本残体处理降低了稳结态腐殖质含量。第 3 a 时,各处理稳结态腐殖质含量均高于 CK,表现为草本残体>动物残体>动物粪

便>木本残体>CK,但各处理差异不显著。第 5 a 时,与 CK 相比,草本残体处理稳结态腐殖质含量提高了 43%,动物残体提高了 15%,木本残体降低了 19%,动物粪便降低了 33%。但各处理间差异不显著。

2.3.2 黑土稳结态腐殖质 HA、FA 含量及 H/F

表 4 为不同处理对黑土稳结态腐殖质 HA、FA 含量及 H/F 的影响。施用 1 a 后草本残体增加 51%,动物残体处理增加 67%,木本残体、动物粪便没有变化。草本残体增加了稳结态 FA 含量,而其他处理则使其含量显著降低。各处理均使稳结态 H/F 提高,并且动物残体>草本残体>木本残体>动物粪便。第 3 a 时,与 CK 相比草本残体、动物残体、木本残体处理提高了稳结态腐殖质 FA 含量,而降低了 HA 含量。动物粪便处理则相反。同时动物粪便处理提高了 H/F,而其他处理降低了 H/F。第 5 a 时,与 CK 相比,各处理稳结态腐殖质 HA、FA 含量均降低。与 CK 相比,动物残体、草本残体提高了 H/F,动物粪便、木本残体处理均使 H/F 降低。

2.3.3 黑土稳结态腐殖质 HA 的 E4/E6

图 6 为不同处理对稳结态腐殖质 HA 的 E4/E6 影响。施用 1 a 后,与 CK 相比,动物残体处理和木本残体处理以及动物粪便处理均提高了 E4/E6,草本处理则与 CK 大致相同。第 3 a 时,各处理 E4/E6 依然高于 CK,表现为动物残体>动物粪便>草本残体>木本残体。到

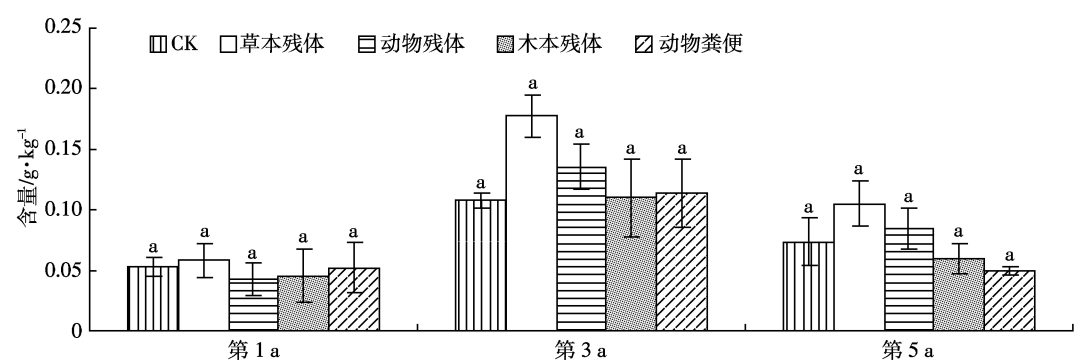


图 5 不同来源有机物料对黑土稳结态腐殖质含量的影响
Figure 5 Effect of the different organic materials on the content of unitedly combined humus of phaeozem

表 4 不同来源有机物料对黑土稳结态腐殖质组成的影响(g·kg⁻¹)

Table 4 Effect of the different organic materials on the composition of stably combined humus of phaeozem(g·kg⁻¹)

处理	第 1 a			第 3 a			第 5 a		
	HA	FA	H/F	HA	FA	H/F	HA	FA	H/F
CK	0.009 2b	0.042 6a	0.216 2c	0.054 9b	0.052 8a	1.266 7a	0.087 9a	0.102 1a	0.076 4b
草本残体	0.013 9a	0.044 5a	0.318 1b	0.050 7b	0.084 5a	0.404a	0.059 8a	0.098a	0.478 4b
动物残体	0.015 4a	0.027 2b	0.565 7a	0.041 2b	0.060 2a	0.688 9a	0.054 3a	0.100 7a	1.516 9a
木本残体	0.009 2b	0.032 5b	0.282 6bc	0.044 4b	0.084 5a	0.466 7a	0.005 1a	0.084 2a	0.06b
动物粪便	0.009 2b	0.040 8a	0.226c	0.101 4a	0.031 7a	2.740 5a	0.004a	0.045 5a	0.06b

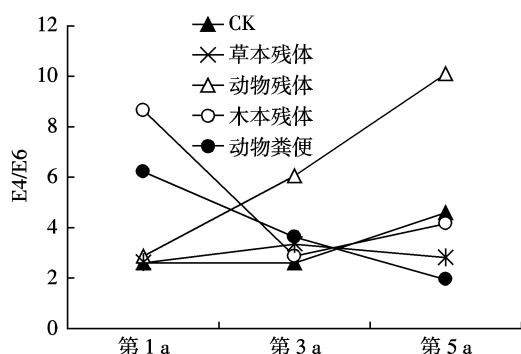


图6 不同来源有机物料对黑土稳结态腐殖质 HA E4/E6 的影响
Figure 6 Effect of the different organic materials on the HA E4/E6 of stably combined humus of phaeozem

第5a时,除动物残体处理 E4/E6 显著高于 CK 外,其他各处理均低于 CK。这表明有机物料使稳结态 HA 的光密度增大,分子的复杂程度提高,缩合度升高,但施用5a后除动物残体外其他有机物料均使稳结态 HA 芳化度变大,其光密度变化较小。

2.4 黑土紧结态腐殖质含量

从图7可知,施用1a后,与CK相比,各处理均显著增加紧结态腐殖质含量,其中木本残体处理和动物粪便处理均增加了95%,草本残体处理和动物残体处理均增加了75%,但各有机物料处理之间差异不显著。第3a时,各处理紧结态腐殖质含量仍高于CK,其中动物残体、木本残体处理与CK差异达到显著水平。第5a时,除木本残体处理比CK高30%,其余处理均低于CK,其中草本残体、动物残体和动物粪便处理分别降低9%、19%和9%,但各处理之间差异不显著。

2.5 黑土腐殖质松/紧

图8反映了施用有机物料对黑土腐殖质松/紧的影响。第1a时,各处理松/紧表现为草本残体>CK>动物残体>动物粪便≈木本残体。第3a时,各处理松/紧均低于CK,表现为CK>草本残体>动物粪便>动物

残体>木本残体。第5a时,与CK相比,除木本残体松/紧降低外,其他处理均使松/紧升高,其中动物残体≈动物粪便>草本残体。表明与CK相比,有机物料施用1a后只有草本残体处理使腐殖质活性提高,随时间延长,3a后各有机物料处理腐殖质活性均低于CK,5a后除木本处理外有机物料可以提高腐殖质活性。

3 讨论

土壤腐殖质结合形态不同,对土壤结构状况、土壤的肥沃状况影响也不同。松结态腐殖质结构简单,易被微生物分解利用,有利于植物养分的供应。通常随着土壤肥力的提高,松结态腐殖质增多^[10]。张鸿龄等^[11]的研究表明,有机肥与无机肥配施可以使松结态腐殖质含量高于单施无机肥的相应处理。本试验结果也表明,各有机物料施用1a后其松结态腐殖质含量均显著高于CK,但各处理之间差异不显著。第3a时,除草本处理外,其他处理松结态腐殖质含量则低于CK,但各处理之间差异不显著。到第5a时,各处理松结态腐殖质含量均高于CK。其中动物粪便处理与CK达到差异显著水平。这可能由于不同有机物料组成性质不同,在土壤中腐解率、腐解产物也不同。G. Brunetti 等^[12]研究也表明有机肥对腐殖质的影响受其组成及施用量的影响。而CK松结态腐殖质含量并未随时间推移而降低,这可能是作物根茬腐解残留产物参与了松结态腐殖质的形成。

试验还表明,有机物料对腐殖质组成影响也不相同。第1a时,除动物残体处理 H/F 高于CK外,其余处理都低于CK,而第3a时各处理都高于CK,第5a时除动物粪便外都高于CK。其中动物残体处理 H/F 始终高于CK,说明虽然有机物料均可以使松结态总量提高,但对其腐殖质组成影响并不相同。有研究表明^[13]

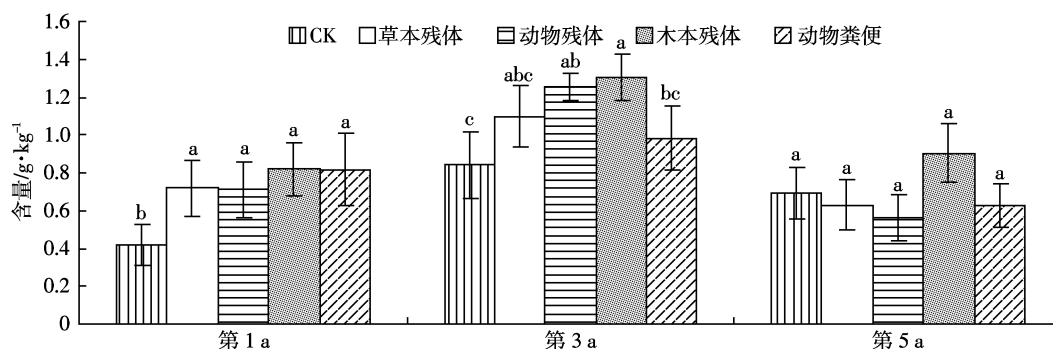


图7 不同来源有机物料对黑土紧结态腐殖质含量的影响

Figure 7 Effect of the different organic materials on the content of tightly combined humus of phaeozem

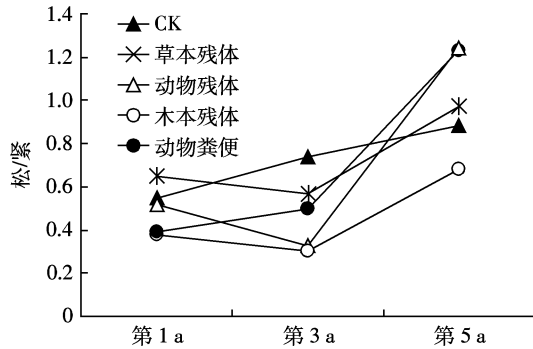


图8 不同来源有机物料对黑土松/紧结态腐殖质含量的影响
Figure 8 Effect of the different organic materials on the ratio of loosely and tightly of phaeozem

E4/E6 越大,分子量越小,HA 的光密度愈大,则分子的复杂程度愈高,芳香核原子团多,缩合度较高;相反,较为简单的胡敏酸则芳化度大,脂肪侧键多,其光密度也较小。本试验表明,与 CK 相比,施用有机物料第 1、3 a E4/E6 均提高,而第 5 a 表现为木本残体、动物粪便处理高于 CK,而草本残体、动物残体低于 CK。这也表明了不同物料本身的差异会对土壤性质产生不同影响。

本试验结果表明,有机物料在第 1 a 时联结态腐殖质含量显著低于 CK,第 3 a 时,有机物料的联结态腐殖质含量显著高于 CK,其中以木本处理最高,并与其他有机物料处理差异显著。第 5 a 时,有机处理仍高于 CK,但差异不显著。HA 变化与联结态腐殖质的变化相似。H/F 表现为动物残体处理、草本残体处理始终高于 CK,说明其有利于联结态腐殖质品质的积累^[14]。而姜岩等^[4]研究施用非腐解有机物对草甸黑土型水稻土影响的结果表明,3 种有机物料施入水田土壤后,在淹水后的 45 d 内,土壤的联结态腐殖质含量均较对照显著提高。其后,施用稻草的处理同对照相比无显著差异,而施用玉米秸秆和马粪处理的联结态腐殖质的含量仍显著高于对照处理。对于联结态腐殖质中的胡敏酸含量的动态变化则与联结态腐殖质的变化相似,富里酸的变化在前期无明显的规律性,在后期,施用稻草和马粪处理,富里酸的含量远高于对照,但施用玉米秸秆处理富里酸的含量与对照则无差别。这可能是由于土壤类型、物料种类、分解时间不同等因素造成的。

从试验中还可以发现,各处理对稳结态腐殖质总量影响并无显著差异,但对腐殖质组成影响并不相同。表现为第 1 a 时,草本残体、动物残体 H/F 高于 CK 和另两种处理,第 3 a 时各处理之间无明显差异,

而第 5 a 时,动物残体处理 H/F 又高于其他处理。各处理 E4/E6 也表现出差异,即动物残体 E4/E6 始终高于 CK,其他处理则是第 1、3 a 高于 CK,第 5 a 时降低。这也表明了有机物料种类不同,对腐殖质影响也不同。Nicola Senesi 等^[15]研究也证明了这一点。

紧结态腐殖质稳定性强,对腐殖质的累积、养分的贮蓄和土壤结构的保持有重要作用^[16]。本试验表明,与 CK 相比,施用有机物料 1 a 后,紧结态腐殖质含量显著提高,但有机物料之间差异不显著。第 3 a 有机物料处理的紧结态腐殖质含量仍高于 CK,其中木本残体、动物残体显著高于其他处理,第 5 a 时各处理之间无明显差异。而张电学等^[17]通过 8 a 定位试验,研究了不同施肥制度下褐土结合态腐殖质动态变化规律,结果表明,不同施肥制度对紧结态腐殖质的影响较小。这可能是与土壤及有机物料种类有关。

松/紧比是衡量腐殖质活性和品质的又一重要指标,比值大标志着腐殖质活性较高,相反则较低。刘树庆等^[18]认为,随着肥力的提高,熟化度的增强,松结态腐殖质增多,紧结态减少,松/紧比值增大,故可用松/紧比值鉴别土壤的肥力特征。本试验第 1 a 时,草本残体松/紧高于其他处理,而木本处理、动物粪便处理低于 CK,第 3 a 时各有机处理均低于 CK,第 5 a 时各处理则无明显差异。这可能是由于不同物料组成不同造成分解过程中形成产物也不同,进而对腐殖质结合形态产生不同的影响,而 CK 松/紧大于有机物料可能是残留的作物根系分解造成的。

4 结论

本文通过长期盆栽试验研究施用不同来源有机物料后黑土腐殖质结合形态的差异性,结果显示,有机物料种类不同对黑土腐殖质结合的影响也不同。

(1)对于松结态腐殖质来说,草本处理可提高其含量,并且在施入 1 a 后表现出显著差异。而动物粪便在第 5 a 时显著提高松结态腐殖质含量。与 CK 相比动物残体可提高 HA 所占比例,而木本残体、草本残体处理则相反。木本残体、动物粪便处理使 HA 结构变复杂。

(2)各处理联结态腐殖质含量表现为施入 1 a 后显著低于 CK,随时间延长则显著高于 CK,施用 5 a 后则无明显差异。光密度在第 5 a 时才表现出明显差异,草本残体、动物残体显著高于其他处理,木本残体、动物粪便、CK 之间则无明显差异。

(3)各处理对于稳结态腐殖质含量的影响无明显

差异,但对其组成影响并不相同。表现为施入1a后动物残体HA所占比例显著高于其他处理,而草本处理又显著高于木本残体、动物粪便和CK。随时间延长各处理无明显差异,到第5a时动物残体处理HA所占比例显著高于其他处理。木本处理、动物粪便处理可在施入1a后使HA结构变复杂。

(4)与CK相比,施用有机物料1a后,紧结态腐殖质含量显著提高,但有机物料之间差异不显著。随时间延长有机物料处理的紧结态腐殖质含量仍高于CK,其中木本残体、动物残体显著高于其他处理。

(5)松/紧表现为:施用有机物料1a后,与CK相比,草本残体处理提高了腐殖质活性,而木本处理、动物粪便处理使腐殖质活性降低。随时间延长各处理则无明显差异。

参考文献:

- [1] 潘根兴,赵其国.我国农田土壤碳库演变研究:全球变化和国家安全[J].地球科学进展,2005,20(4):385-393.
PAN Geng-xing, ZHAO Qi-guo. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: Facing the challenge of global change and food security[J]. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(4): 385-393.
- [2] Nader P, Feilbach D, et al. Soil fertility and biodiversity in organic farming[J]. *Science*, 2002(293): 1694-1697.
- [3] Wardle D A, Bardgett R D, Klirmons, J N, et al. Ecological linkages between aboveground and belowground biota[J]. *Science*, 2004, 304(5677): 1629-1633.
- [4] 姜岩,吴景贵,王明辉,等.非腐解有机物培肥对草甸黑土型水稻土腐殖质结构形态的影响[J].土壤通报,1995,29(5):203-205.
JIANG Yan, WU Jing-gui, WANG Ming-hui, et al. Effect of undecomposed organic materials on structure of humus of meadow black soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1998, 29(5): 203-205.
- [5] 王洪英,于丽莹,张亚东,等.有机肥料的作用及施用技术[J].吉林农业,2005(3):25-26.
WANG Hong-ying, YU Li-ying, ZHANG Ya-dong, et al. Application and technology of organic fertilizers[J]. *Jilin Agricultural*, 2005(3): 25-26.
- [6] Rasool R, Kukal S S, Hira G S. Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize-wheat system[J]. *Soil Till Res*, 2008, 10:31-36.
- [7] Ikpe F N, Powel J M. Nutrient cycling practices and changes in soil properties in the crop-livestock farming systems of western niger republic of west Africa[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 2002, 62: 37-45.
- [8] Powel J M, Ikpe F N, Somala Z C, et al. Urine effects on soil chemical properties and the impact of urine and dung on pearl millet yield[J]. *Experimental Agriculture*, 1998, 34: 250-276.
- [9] 张国荣,李菊梅,徐明岗,等.长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2009,42(2):543-551.
ZHANG Guo-rong, LI Ju-mei, XU Ming-gang, et al. Effects of chemical fertilizer and organic manure on rice yield and soil fertility[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(2): 543-551.
- [10] 陈丽荣,姜亦梅,牟金明,等.作物根茬对土壤腐殖质结合形态的影响[J].吉林农业大学学报,1998,20(1):55-58.
CHEN Li-rong, JIANG Yi-mei, MOU Jin-ming, et al. Effects of crop stubbles on soil humus combining[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1998, 20(1): 55-58.
- [11] 张鸿龄,梁成华,杜立宇,等.长期定位施肥对保护地土壤腐殖质结合形态的影响[J].应用生态学报,2006,17(5):831-834.
ZHANG Hong-ling, LIANG Cheng-hua, DU Li-yu, et al. Effects of long-term localized fertilization on soil humus combining form in sheltered vegetable field[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(5): 831-834.
- [12] Brunetti G, Plaza C, Clapp C E, et al. Compositional and functional features of humic acids from organic amendments and amended soils in Minnesota, USA[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007(39): 1355-1365.
- [13] 史吉平,张夫道,林葆.长期定位施肥对土壤腐殖质结合形态的影响[J].土壤肥料,2002(6):8-11.
SHI Ji-ping, ZHANG Fu-dao, LIN Bao, et al. Effects of long-term located fertilization on contents of soil humus[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2002(6): 8-11.
- [14] 刘小虎,贾庆宇,安婷婷,等.不同施肥处理对棕壤腐殖酸组成和性质的影响[J].土壤通报,2005,36(3):328-332.
LIU Xiao-hu, JIA Qing-yu, AN Ting-ting, et al. Effect of fertilization on soil humus components and brown soil properties [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(3): 328-332.
- [15] Nicola Senesi, Cesar Plaza, Gennaro Brunetti, et al. A comparative survey of recent results on humic-like fractions in organic amendments and effects on native soil humic substances[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007(39): 1244-1262.
- [16] 黄运湘,王改兰,冯跃华,等.长期定位试验条件下红壤性水稻土有机质的变化[J].土壤通报,2005,36(2):181-184.
HUANG Yun-xiang, WANG Gai-lan, FENG Yue-hua, et al. Changes of organic matter in paddy soil derived from red soil in a long-term located experiment[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(2): 181-184.
- [17] 张电学,韩志卿,王秋兵,等.不同施肥制度下褐土结合态腐殖质动态变化[J].沈阳农业大学学报,2006,37(4):597-601.
ZHANG Dian-xue, HAN Zhi-qing, WANG Qiu-bing, et al. Dynamic change of soil combined humus in cinnamon soil under different fertilizer regimes [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2006, 37(4): 597-601.
- [18] 刘树庆,杜孟庸,周健学,等.不同肥力土壤有机无机复合度及腐殖质结合形态及其与肥力关系研究[J].土壤通报,1989,20(5):267-270.
LIU Shu-qing, DU Meng-yong, ZHOU Jian-xue, et al. Research on organo-mineral complexation and soil combined humus of different fertility soils and relationship with fertility [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1989, 20(5): 267-270.