

# 蜉金龟堆肥施入后土壤腐殖质表征及特性研究<sup>①</sup>

康 露<sup>1,2</sup>, 陈 贺<sup>2</sup>, 王富兰<sup>2</sup>, 吴景贵<sup>1\*</sup>

(1 吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118; 2 新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 乌鲁木齐 830091)

**摘 要:** 采用元素组成、红外光谱及差热分析对土壤施用蜉金龟堆肥后腐殖质结构特征的变化进行表征。元素分析结果表明, 与对照处理相比, 土壤施用蜉金龟堆肥后焦磷酸钠浸提胡敏酸(NaHA)、氢氧化钠浸提胡敏酸(PAHA)、焦磷酸钠浸提富里酸(NaFA)及氢氧化钠浸提富里酸(PAFA)的碳含量增加, H/C 减小, 表明施肥后土壤腐植酸(胡敏酸和富里酸)的芳香性增加。差热分析结果表明, 与 NaHA 相比, 对照处理和施蜉金龟堆肥 PAHA 的高温放热峰消失, 说明 PAHA 的热稳定性低于 NaHA; 而 NaFA 在两种处理中的中温反应热也均高于 PAFA, 进一步说明了氢氧化钠浸提腐植酸的热稳定性高于焦磷酸钠浸提的腐植酸。红外光谱结果表明, 两种提取剂提取的土壤腐植酸均含有大量的芳香化合物和碳水化合物。综上, 两种提取剂对土壤腐植酸在热性质及官能团的组成上存在着差异性。

**关键词:** 蜉金龟堆肥; 土壤; 腐殖质; 元素组成; 红外光谱; 差热分析

中图分类号: S153.622

胡敏酸分子的性质与其所用的提取剂类型有关, 不同提取剂提取出胡敏酸的性质有所差别, 因此, 提取剂类型对胡敏酸性质的影响是值得研究的<sup>[1]</sup>。有关不同有机物料培肥土壤的研究报道较多<sup>[2-3]</sup>, 土壤及矿物对蜉金龟堆肥中类胡敏酸的吸附解吸及其影响因素已在前文报道过<sup>[4]</sup>, 而对蜉金龟堆肥培肥土壤的研究还未见报道。许多试剂都能用来提取腐殖质, 而焦磷酸钠、氢氧化钠或是焦磷酸钠和氢氧化钠混合提取是目前应用较为广泛的提取方法<sup>[5]</sup>。为此, 蜉金龟堆肥作为有机肥施入土壤后, 分别用焦磷酸钠和氢氧化钠浸提土壤胡敏酸和富里酸, 从微观方面来揭示蜉金龟堆肥培肥土壤的机理及比较不同提取剂所提取出胡敏酸性质的差异。本研究采用元素分析、红外光谱及差热分析来表征蜉金龟堆肥施入后土壤腐殖质的结构特征变化, 旨在为蜉金龟堆肥培肥土壤的机理提供理论依据以及比较两种不同的提取剂所获得胡敏酸和富里酸的结构特征差异。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤及肥料

供试土壤为草甸黑土, 采自吉林农业大学试验

场。供试土壤的基本性质如下: 有机质 23.5 g/kg, 碱解氮 117 mg/kg, 速效磷 89.6 mg/kg, 速效钾 91.4 mg/kg, pH 7.05。氮肥、磷肥及钾肥分别采用尿素(总 N 46.4%), 山西阳煤丰喜肥业生产; 磷酸二铵 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%), 吉林省隆源农资生产; 氯化钾(K<sub>2</sub>O 60.0%), 烟台市嘉禾农业生产。供试蜉金龟堆肥取自自行堆制的有机肥, 具体堆肥过程参见文献[6], 在 50℃ 下于干燥箱中风干, 过 1 cm 筛备用, 其理化性质如下: 有机碳 259.84 g/kg, 全氮 24.27 g/kg, 碳氮比 10.71。

### 1.2 试验设计

试验所用培养盆为直径 30 cm、高 40 cm 的塑料桶, 每桶装土 12.5 kg(以干土重计)。装盆时, 尿素、磷酸二胺、氯化钾分别施用 10、5、7 g; 蜉金龟堆肥施用 625 g, 占烘干土重的 5%(按干重计)。以施用化肥的处理作为对照, 3 次重复。化肥处理及蜉金龟处理皆放置于吉林农业大学资源与环境学院网室内, 定期用自来水将湿度调至田间最大持水量的 60% 左右。供试作物为大豆(九黑 1 号), 于 2012 年 5 月 24 日播种, 5 月 29 日出苗, 出苗后每盆定植为 4 株。培养自 5 月 29 日开始, 至 9 月 26 日结束, 在培养结束后进行取样测定。

基金项目: 国家十二五科技支持计划项目(2012BAD14B05)、东北与黄淮海粮食主产区适应气候变化技术研发与应用项目(2013BAC09B01)和农业部现代农业(肉牛)产业技术体系专项经费项目(CARS-38)资助。

\* 通讯作者(jgwu68@sohu.com)

作者简介: 康露(1987—), 男, 新疆石河子人, 硕士研究生, 研究方向为土壤环境化学与废弃物资源化研究。E-mail: 96208zx@163.com

### 1.3 土壤腐殖质的提取及测定方法

培养结束后的土壤样品自然风干后,过 0.25 mm 筛。分别用焦磷酸钠 (0.1 mol/L) 浸提胡敏酸 (NaHA)、富里酸(NaFA)以及氢氧化钠 (0.1mol/L) 浸提胡敏酸(PAHA)、富里酸(PAFA),具体提取步骤参见文献[7]。上述得到的粗胡敏酸和粗富里酸按照肖彦春<sup>[8]</sup>的方法将其纯化,将纯化后的胡敏酸、富里酸样品,经冷冻干燥机干燥后保存于密封的玻璃瓶中,置于干燥器内备用。

胡敏酸、富里酸的 C、H、N 和 O 元素含量采用德国产 VARIO EL 型元素分析仪 (vario analyzer) 进行测定,应用 CHN 模式,并用差热分析的灰分和含水量数据进行校正。用美国 NICOLET 产红外光谱仪在 4 000 ~ 400  $\text{cm}^{-1}$  范围内收集光谱,并以 KBr 作空白。应用仪器自带软件进行样品的差热分析(differential thermal analysis, DTA)和热重分析

(thermogravimetric analysis, TG 或 TGA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 蜉金龟堆肥施入后土壤胡敏酸的元素组成变化

蜉金龟堆肥施入后,分别采用焦磷酸钠和氢氧化钠浸提土壤胡敏酸的元素组成分析如表 1 所示。与对照处理 NaHA 相比,蜉金龟堆肥施入后土壤 NaHA 的 C、H 含量分别增加 7.56%、6.88%,而 O、N 含量分别降低 4.74%、11.80%。施蜉金龟堆肥 NaHA 的 H/C 原子个数比值均低于对照处理,表明蜉金龟堆肥施入土壤后,NaHA 的芳香性有所增加。与对照处理 PAHA 相比,蜉金龟堆肥施入后土壤 PAHA 的 C 含量增加 10.11%,H、O、N 含量分别降低 2.31%、7.97%、2.87%。施蜉金龟堆肥 PAHA 的 H/C 原子个数比值也低于对照处理,这与 NaHA 的结果一致,蜉金龟堆肥施入后能增加土壤 PAHA 的芳香性。

表 1 蜉金龟堆肥施入后土壤 NaHA 和 PAHA 的元素组成  
Table 1 Elemental composition of NaHA and PAHA extracted from soil applied with vermi-compost

胡敏酸	处理	元素组成(g/kg)				原子比		
		C	H	O	N	H/C	O/C	N/C
NaHA	对照	371.89	48.82	522.07	57.22	1.58	1.05	0.13
	施蜉金龟堆肥	400.02	52.18	497.33	50.47	1.57	0.93	0.11
PAHA	对照	410.35	45.82	486.42	57.41	1.34	0.89	0.12
	施蜉金龟堆肥	451.82	44.76	447.66	55.76	1.19	0.74	0.11

### 2.2 蜉金龟堆肥施入后土壤胡敏酸红外光谱的变化

图 1 为施蜉金龟堆肥及对照处理 NaHA 的红外光谱。由图 1 可知,施蜉金龟堆肥和对照处理 NaHA 的红外光谱有着一定的差异。与对照处理 NaHA 相比,施蜉金龟堆肥 NaHA 在 3 420、1 642、1 031  $\text{cm}^{-1}$  处吸收强度减弱,说明蜉金龟堆肥施入后,土壤 NaHA 的-COOH 苯酚及醇中的-OH 伸缩振动和 N-H 伸缩振动、醛酮中-C=O 的伸缩振动或芳香基上的 C=C 伸缩振动减弱。

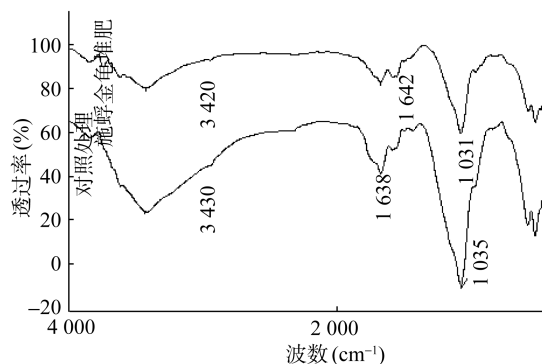


图 1 蜉金龟堆肥施入后土壤 NaHA 红外光谱的变化  
Fig. 1 Changes in FTIR spectra of NaHA extracted from soil applied with vermi-compost

图 2 为施蜉金龟堆肥及对照处理 PAHA 的红外光谱。施蜉金龟堆肥和对照处理 NaHA 的红外光谱差异表现为:与对照处理 PAHA 相比,施蜉金龟堆肥 PAHA 在 3 623、1 387  $\text{cm}^{-1}$  处的特征吸收峰消失,在 3 421、1 645、1 024  $\text{cm}^{-1}$  处吸收强度减弱,说明土壤施用蜉金龟堆肥后,土壤 PAHA 羟基、结构水及层间水的振动收缩、吸附水羟基的振动消失,-COOH 苯酚及醇中 -OH 伸缩振动和 N-H 的伸缩振动、醛酮中 -C=O 的伸缩振动或芳香基上的 C=C 伸

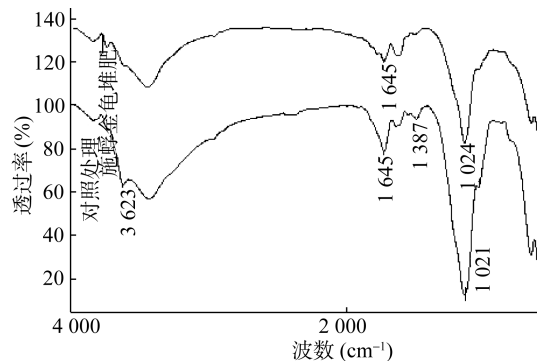


图 2 蜉金龟堆肥施入后土壤 PAHA 红外光谱的变化  
Fig. 2 Changes in FTIR spectra of PAHA extracted from soil applied with vermi-compost

缩振动、S=O 的振动峰减弱。对照处理和施蜉金龟堆肥采用两种提取剂提取胡敏酸在  $1\ 638$ 、 $1\ 035\ \text{cm}^{-1}$  处有较宽的谱带吸收,说明两种胡敏酸均含有大量的芳香化合物和碳水化合物。

### 2.3 蜉金龟堆肥施入后土壤胡敏酸热性质的变化

图 3 为施蜉金龟堆肥和对照处理焦磷酸钠浸提土壤胡敏酸的 DTA。由图 3 可知,中温放热峰温为施蜉金龟堆肥>对照处理,施蜉金龟堆肥 NaHA 的中温反应热为  $0.62\ \text{KJ/g}$ ,也高于对照处理的  $0.43\ \text{KJ/g}$ 。而高温放热峰温则相反,表现为对照处理>施蜉金龟堆肥,但施蜉金龟堆肥 NaHA 的高温反应热  $0.20\ \text{KJ/g}$  高于对照处理的  $0.13\ \text{KJ/g}$ 。对照处理和施用蜉金龟堆肥 NaHA 的高温放热量与中温放热量的比值较为接近,分别为  $0.30$ 、 $0.32$ 。

图 4 分别为施蜉金龟堆肥和对照处理氢氧化钠浸提土壤胡敏酸的 DTA,由图 4 可知,PAHA 的中

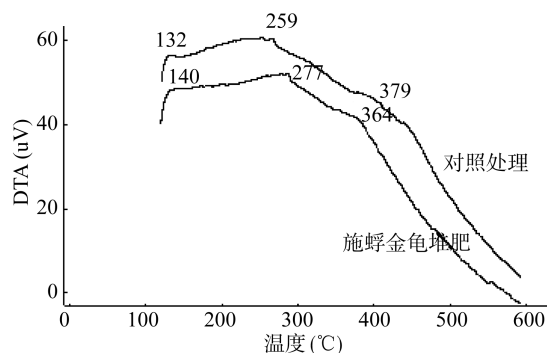


图 3 蜉金龟堆肥施入后土壤 NaHA 中 DTA 的变化  
Fig. 3 Changes in DTA of NaHA extracted from soil applied with vermi-compost

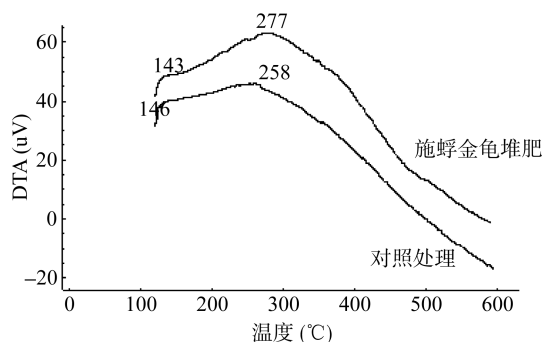


图 4 蜉金龟堆肥施入后土壤 PAHA 中 DTA 的变化  
Fig. 4 Changes in DTA of PAHA extracted from soil applied with vermi-compost

温放热峰温由大到小的顺序为施蜉金龟堆肥>对照处理,中温反应热也呈施蜉金龟堆肥的  $0.20\ \text{KJ/g}$  略高于对照处理的  $0.18\ \text{KJ/g}$ 。施蜉金龟堆肥和对照处理 PAHA 的高温放热峰均消失,这可能与所用的提取剂为氢氧化钠有关。与 NaHA 相比,对照处理和施蜉金龟堆肥 PAHA 的高温放热峰消失,说明氢氧化钠浸提土壤胡敏酸的热稳定性低于焦磷酸钠提取的胡敏酸。

蜉金龟堆肥施入后分别用焦磷酸钠和氢氧化钠浸提土壤胡敏酸的热重分析如表 2 所示。施蜉金龟堆肥和对照处理 NaHA 在中温及高温处失重的顺序均为对照处理>施蜉金龟堆肥,NaHA 高温放热量与中温放热量的比值及  $W_3/W_2$  也表明对照处理 NaHA 的芳香性小于施蜉金龟堆肥。PAHA 在中温处的失重顺序为施蜉金龟堆肥>对照处理。与 NaHA 相比,施蜉金龟堆肥和对照处理 PAHA 的高温放热峰温均消失。

表 2 蜉金龟堆肥施入后土壤 NaHA 和 PAHA 的热重分析

Table 2 Thermogravimetric analysis of NaHA and PAHA extracted from soil applied with vermi-compost

胡敏酸	处理	低温失重率(%) ( $W_1$ , $0 \sim 110^\circ\text{C}$ )	中温失重率(%) ( $W_2$ , $110 \sim 320^\circ\text{C}$ )	高温失重率(%) ( $W_3$ , $320 \sim 600^\circ\text{C}$ )	$W_3/W_2$
NaHA	对照	2.57	1.51	4.33	2.87
	施蜉金龟堆肥	0.14	0.95	3.82	4.02
PAHA	对照	1.20	0.73	—	—
	施蜉金龟堆肥	1.01	1.95	—	—

### 2.4 蜉金龟堆肥施入后土壤富里酸元素组成的变化

蜉金龟堆肥施入后,分别采用焦磷酸钠和氢氧化钠浸提土壤富里酸的元素组成如表 3 所示。与对照处理 NaFA 相比,蜉金龟堆肥施入后土壤 NaFA 的 C、H、N 含量分别增加  $9.41\%$ 、 $6.25\%$ 、 $7.61\%$ ,O 含量降低  $7.90\%$ 。施蜉金龟堆肥 NaFA 的 H/C 原子个数比值低于对照处理,表明蜉金龟堆肥施入后土壤 NaFA 的芳香性有所增加。与对照处理 PAFA 相比,蜉金龟堆肥施入后土壤 PAFA 的 C、N 含量分别增

加  $8.92\%$ 、 $1.74\%$ ,H、O 含量分别降低  $1.05\%$ 、 $6.63\%$ 。施蜉金龟堆肥 PAFA 的 H/C 原子个数比值低于对照处理,表明蜉金龟堆肥施入后能增加土壤 PAFA 的芳香性。

### 2.5 蜉金龟堆肥施入后土壤富里酸红外光谱的变化

图 5 为施蜉金龟堆肥及对照处理 NaFA 的红外光谱。由图 5 可知,施蜉金龟堆肥和对照处理 NaFA 的红外光谱存在着较大的差异性。与对照处理 NaFA 相比,施蜉金龟堆肥在  $1\ 284\ \text{cm}^{-1}$  处特征吸收峰消失,在

表 3 蜉金龟堆肥施入后土壤 NaFA 和 PAFA 的元素组成  
Table 3 Elemental analysis of NaHA and PAHA extracted from soil applied with vermi-compost

富里酸	处理	元素组成(g/kg)				原子比		
		C	H	O	N	H/C	O/C	N/C
NaFA	对照	365.43	50.37	528.73	55.47	1.65	1.09	0.13
	施蜉金龟堆肥	399.83	53.52	486.96	59.69	1.61	0.91	0.13
PAFA	对照	370.87	59.16	506.68	63.29	1.91	1.02	0.15
	施蜉金龟堆肥	403.96	58.54	473.11	64.39	1.74	0.88	0.14

1 081 cm<sup>-1</sup> 处出现特征吸收峰, 在 3 612、1 736 cm<sup>-1</sup> 处吸收强度减弱, 说明施用蜉金龟堆肥后土壤 NaFA 羧基上的 C-O 不对称伸缩振动消失, 出现 Si-O 或 Vsi=O 和 Si-O-Si 的吸收峰, 羟基、结构水及层间水的振动收缩、醛酮中 C=O 的伸缩振动或芳香基上的 C=C 伸缩振动减弱。图 6 为施蜉金龟堆肥及对照处理 PAFA 的红外光谱。与对照处理相比, 施蜉金龟堆肥 PAFA 在 3 404、1 649、1 086 cm<sup>-1</sup> 处吸收强度明显增加, 这说明土壤施用蜉金龟堆肥后, 土壤 PAFA 的 -COOH 苯酚及醇中的 -OH 伸缩振动和 N-H 伸缩振动、醛酮中 C=O 的伸缩振动或芳香基上的 C=C 伸缩振动、酚类或醇类上的 C-O 不对称伸缩振动明显加强。说明 NaFA 和 PAFA 两种富里酸中含有大量的芳香化合物和碳水化合物。

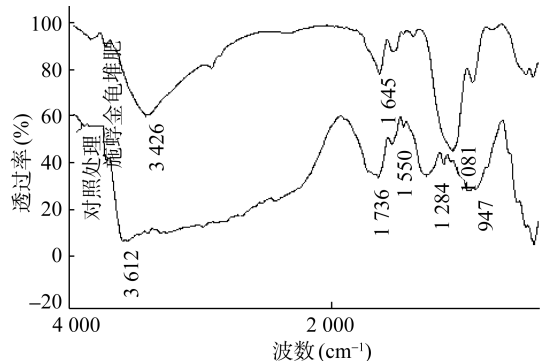


图 5 蜉金龟堆肥施入后土壤 NaFA 红外光谱的变化  
Fig. 5 Changes in FTIR spectra of NaFA extracted from soil applied with vermi-compost

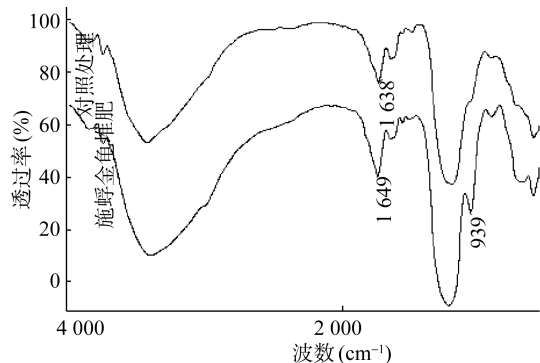


图 6 蜉金龟堆肥施入后土壤 PAFA 红外光谱的变化  
Fig. 6 Changes in FTIR spectra of PAFA extracted from soil applied with vermi-compost

## 2.6 蜉金龟堆肥施入后土壤富里酸热性质的变化

图 7 为施蜉金龟堆肥和对照处理 NaFA 的 DTA。由图 7 可知, NaFA 中温放热峰温由大到小的顺序为对照处理>施蜉金龟堆肥, 而中温反应热的顺序也与之相同, 表现为对照处理 NaFA 的中温反应热 2.07 KJ/g 高于施蜉金龟堆肥的 1.44 KJ/g。而对照处理和施蜉金龟堆肥 NaFA 的高温放热峰均消失。图 8 为施蜉金龟堆肥和对照处理 PAFA 的 DTA。由图 8 可知, PAFA 中温放热峰温由大到小的顺序为对照处理>施蜉金龟堆肥, 但中温反应热却略有不同, 表现为施蜉金龟堆肥 PAFA 的中温反应热 1.07 KJ/g 略高于对照处理的 0.72 KJ/g。施蜉金龟堆肥和对照处理 PAFA 的高温放热峰均消失, 这与 NaFA 的变化相同。

蜉金龟堆肥施入后分别用焦磷酸钠和氢氧化钠浸提土壤富里酸的热重分析如表 4 所示。由表 4 可知,

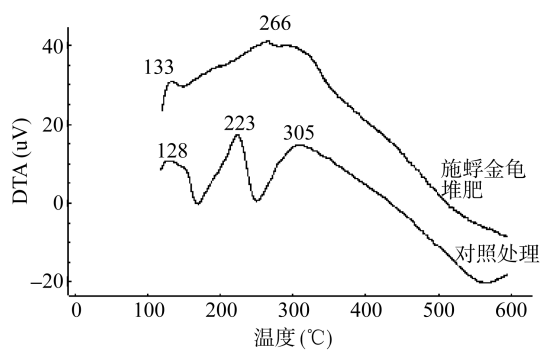


图 7 蜉金龟堆肥施入后土壤 NaFA 的 DTA 变化  
Fig. 7 Changes in DTA of NaFA extracted from soil applied with vermi-compost

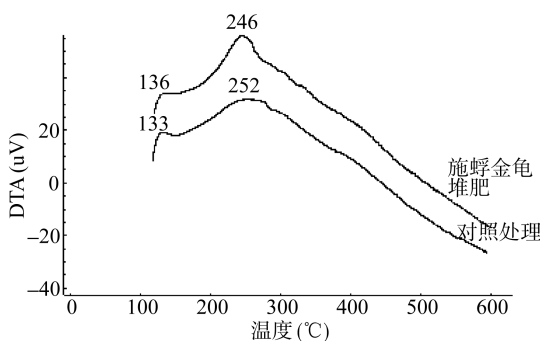


图 8 蜉金龟堆肥施入后土壤 PAFA 中 DTA 的变化  
Fig. 8 Changes in DTA of PAFA extracted from soil applied with vermi-compost

表 4 蜉金龟堆肥施入后土壤 NaFA 和 PAFA 的热重分析  
Table 4 Thermogravimetric analysis of NaFA and PAFA extracted from soil applied with vermi-compost

处理	NaFA		PAFA	
	低温失重率(%) (W <sub>1</sub> , 0 ~ 110°C)	中温失重率(%) (W <sub>2</sub> , 110 ~ 320°C)	低温失重率(%) (W <sub>1</sub> , 0 ~ 110°C)	中温失重率(%) (W <sub>2</sub> , 110 ~ 320°C)
对照	—	28.69	3.99	5.05
施蜉金龟堆肥	3.22	7.45	2.42	7.81

NaFA 在中温处由大到小的失重顺序为对照处理>施蜉金龟堆肥,且对照处理 NaFA 的中温失重远高于施蜉金龟堆肥。而对照处理和施蜉金龟堆肥 PAFA 在中温处失重顺序则相反,表现为施蜉金龟堆肥>对照处理。由此可知,所用提取剂的类型将对提取土壤富里酸的热性质有着较大的影响,与 NaFA 相比,对照处理和施蜉金龟堆肥的 PAFA 中温反应热均有所降低。

### 3 讨论

腐植酸中胡敏酸和富里酸在元素组成上存在着一定的差异性,胡敏酸的 C 含量略高于富里酸, O 含量略低于富里酸,其他元素的组成无明显差别<sup>[9]</sup>。Li 等<sup>[10]</sup>对蚯蚓堆肥中类胡敏酸进行了定量分析和结构表征,采用蚯蚓进行堆肥后,其总有机碳含量和碳氮比有所降低,而可提取总碳和胡敏酸碳含量增加;在类胡敏酸组分中, C、H 元素的含量、C/N、C/O 及脂肪族结构,蛋白质和碳水化合物降低,而 O、N 元素和酸性功能基含量以及 C/H、芳香性是增加的。

胡敏酸的性质可能与所用提取剂的类型有关,这是因为 NaOH 能水解较难溶解的胡敏酸组分,如脂肪酸等大分子物质与土壤键合,而 Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 则不能<sup>[11]</sup>。研究表明<sup>[12-13]</sup>用氢氧化钠(0.1 ~ 0.5 mol/L)提取胡敏酸的含量高于焦磷酸钠(0.1 ~ 0.15 mol/L)。Liang 等<sup>[14]</sup>研究了 3 种土壤用 0.5 mol/L 的 NaOH 和 0.1 mol/L Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 提取胡敏酸,结果表明对同一种土壤用 Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 提取的胡敏酸总量比用 NaOH 提取的少 13.7% ~ 22.6%。尽管焦磷酸钠对化学键的改变和中性盐影响较小,实际上提取有机质的过程是通过与 Ca、Fe、Al 以及其他多价离子与土壤有机质键合形成不溶性沉淀和可溶性化合物<sup>[15]</sup>。

元素分析结果表明,与对照处理相比,蜉金龟堆肥施入后分别采用两种提取剂浸提土壤腐植酸 H/C 原子个数比值降低,说明其芳香性有所增加。与 PAHA 相比,NaHA 有着更高的 O/C 原子比,这与肖彦春和窦森<sup>[8]</sup>的研究结果相符,肖彦春和窦森研究表明黑土中用 NaOH 提取 HA 和 FA 的脂族性强于 Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 提取 HA 和 FA 的脂族性。两种提取剂所提取出胡敏酸的热性质也存在着差异,与 NaHA 相比,

施蜉金龟堆肥和对照处理 PAHA 的高温放热峰温也均消失。

### 4 结论

元素分析结果表明,与对照处理相比,土壤施用蜉金龟堆肥后焦磷酸钠浸提胡敏酸(NaHA)、氢氧化钠浸提胡敏酸(PAHA)、焦磷酸钠浸提富里酸(NaFA)及氢氧化钠浸提富里酸(PAFA)的碳含量增加, H/C 减小,表明施肥后土壤腐植酸(胡敏酸和富里酸)的芳香性增加。差热分析结果表明,与 NaHA 相比,对照处理和施蜉金龟堆肥 PAHA 的高温放热峰消失,说明 PAHA 的热稳定性低于 NaHA,而 NaFA 在两种处理中的中温反应热也均高于 PAFA,进一步说明了氢氧化钠浸提腐植酸的热稳定性高于焦磷酸钠浸提的腐植酸。红外光谱结果表明,两种提取剂提取的土壤腐植酸均含有大量的芳香化合物和碳水化合物。

### 参考文献:

- [1] Zaccone C, Soler P, Plazab C, Coccozza C, Miano TM. Variability in As, Ca, Cr, K, Mn, Sr and Ti concentrations among humic acids isolated from peat using NaOH, Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and NaOH+Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> solutions[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 167: 987-994
- [2] 魏自民,周连仁,谷思玉. 有机物料培肥对风沙土结合态腐殖质中富里酸与胡敏酸的影响[J]. 东北农业大学学报, 2003, 34(2): 179-183
- [3] 卫婷,韩丽娜,韩清芳,贾志宽,张睿,聂俊峰,杨宝平. 有机培肥对旱地土壤养分有效性和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 611-620
- [4] 康露,吴景贵,张晋京,赵欣宇,史振鑫,燕存岳,张志莹,杨天悦. 土壤及土壤矿物对类胡敏酸的吸附解吸及其影响因素研究[J]. 环境科学学报, 2013(5): 1 332-1 340
- [5] Senesi N, Loffredo E. The chemistry of soil organic matter[A] // Sparks DL. Soil Physical Chemistry[M]. New York, USA: CRC Press, 1999: 239-370
- [6] 康露,吴景贵,温善菊,赵欣宇. 添加腐熟粪及蜉金龟堆肥过程中碳氮转化与腐殖质的变化[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1): 258-262
- [7] 张振都,吴景贵,石峰,李建明,刘艳伟,丁华,姚越. 不同绿肥与牛粪混合堆腐过程中有机组分的动态变化[J]. 土壤通报, 2012, 43(1): 87-92

- [8] 肖彦春, 奚森. 土壤腐殖质各组红外光谱研究[J]. 分析化学研究报告, 2007, 35(11): 1 596-1 600
- [9] 李学恒. 土壤化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 26
- [10] Li XW, Xing MY, Yang J, Huang ZD. Compositional and functional features of humic acid-like fractions from vermicomposting of sewage sludge and cow dung[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 185: 740-748
- [11] 梁重山, 党志, 刘丛强. 胡敏酸的结构特征及其吸附行为[J]. 分析化学, 2006, 34(3): 288-292
- [12] Stevenson FJ. Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions[M]. 2nd ed. New York: Wiley & Sons, 1994
- [13] Schnitzer M, Khan SU. Soil Organic Matter[M]. New York: Elsevier Science Publishers, 1978
- [14] Liang CS, Dang Z, Xiao BH, Huang WL, Liu CQ. Equilibrium sorption of phenanthrene by soil humic acids[J]. Chemosphere, 2006, 63: 1 961-1 968
- [15] Stevenson FJ. Humus Chemistry: Genesis, Composition Reactions[M]. New York: Wiley Interscience, 1982

## Characteristics of Humic Substances of Soil Applied with *Aphodius*-processed Cow-manure

KANG Lu<sup>1,2</sup>, CHEN He<sup>2</sup>, WANG Fu-lan<sup>2</sup>, WU Jing-gui<sup>1\*</sup>

(1 College of Resources and Environment Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2 Institute of Quality Standards and Testing Technology for Agro-products, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

**Abstract:** The structural features of humic substances were characterized using elemental analysis, infrared spectrometry and thermal analysis techniques. Elemental analysis showed that it was lower and higher aromaticity that carbon content of Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-extracted humic acid (NaHA), NaOH-extracted humic acid (PAHA), Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-extracted fulvic acid (NaFA) and NaOH-extracted fulvic acid (PAFA) in application vermi-compost compared with control treatment. Thermal analysis suggested that high temperature exothermic peak of PAHA disappeared in application vermi-compost and control treatment compared with NaHA. NaHA had larger thermal stability and mid-temperature exotherm than PAHA. Infrared spectrometry suggested that soil humus from Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-extracted and NaOH-extracted humus included a large number of aromatic compounds and aliphatic compounds. In summary, some differences between Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-extracted humus and NaOH-extracted humus existed in thermal properties and composition of functional groups.

**Key words:** *Aphodius*-processed cow-manure, Soil, Humic substances, Elemental analysis, Infrared spectrometry, Differential thermal analysis