

高纪超,关松,许永华.不同畜禽粪肥对农田栽参土壤养分及腐殖物质组成的影响[J].江苏农业科学,2017,45(6):255-259.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.06.066

不同畜禽粪肥对农田栽参土壤养分及腐殖物质组成的影响

高纪超¹,关松¹,许永华²

(1.吉林农业大学资源与环境学院,吉林长春 130118; 2.吉林农业大学中药材学院,吉林长春 130118)

摘要:为提高农田人参产出量,通过田间定位施用畜禽粪肥,研究黑土增施猪粪、鹿粪、鸡粪、牛粪 180 d 后对农田栽参土壤养分和腐殖物质组成的影响。研究表明,黑土施入畜禽粪肥后,土壤全氮、全磷、速效钾含量分别较对照提高 114.47% ~ 185.53%、38.36% ~ 180.82%、28.30% ~ 347.35%;土壤有机碳、可提取腐殖物质分别增加 20.43% ~ 80.34%、20.06% ~ 80.32%;可提取腐殖物质的色调系数、 E_{465}/E_{665} 比值均较对照提高。与对照比较,牛粪处理土壤有机碳、胡敏酸、富里酸、胡敏素分别增加了 80.32%、46.23%、116.58%、113.95%,猪粪处理土壤中碱解氮、有效磷、速效钾分别增加了 100.34%、429.25%、347.35%。畜禽粪肥的添加为农田栽参土壤补充了养分,促进了腐殖物质的形成,增强了腐殖物质的活性和有效性,施入牛粪对于土壤有机碳增加和腐殖物质形成的贡献最大,而猪粪能全面为植物提供氮、磷、钾养分。

关键词:畜禽粪肥;养分;腐殖物质;人参;土壤

中图分类号:158.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)06-0255-04

我国的人参栽培以往一直采用伐林栽参的生产方式,由于人参不能连作,伐林面积不断扩大,20 世纪 80 年代初,我国人参栽培每年需要伐林 1 600 hm^2 以上^[1],造成水土流失与生态破坏。为解决参林矛盾,保护生态平衡,改山上栽参为农田栽参已成为我国参业发展的必然趋势。林地土壤与大田土壤的肥力和性质存在一定的差异,吉林省种植山参的林地土壤类型主要为暗棕色森林土和白浆土,土壤表层为枯枝落叶和腐殖质,有机质含量高达 8% ~ 17%,结构好,通气透水,被称为腐殖土,富含 Ca、Mg、Al、Fe^[2]。与林地土壤相比,农田土壤理化性质表现为:(1)有机质含量较低,林地腐殖土有机质含量比其高 6 ~ 10 倍;(2)农田土壤的容重明显高于林地腐殖土,而总孔隙度、毛管孔隙度则远低于腐殖土;(3)农田土壤营养成分含量低,除全钾含量基本一致外,全氮、全磷、有效磷、速效钾含量均远低于腐殖土,而土壤养分与人参生育及产量有直接关系。为了提高农田栽参的产量和质量,对农田栽参土壤改良技术的研究显得尤为重要,有机肥料的施用是改土培肥实现农田栽参的重要手段之一。

目前,国内外进行农田栽参土壤改良的措施已有报道,李春金等在农田栽参的地块施用绿肥、猪粪、鹿粪、炕土、过磷酸钙等有机肥料、无机肥料,施肥量绿肥、猪粪、鹿粪、炕土各 5.0 kg/m^2 ,过磷酸钙 0.1 kg/m^2 ,2 年生苗产量达 1.10 ~

1.13 kg/m^2 ,相当于山坡参地 6 年生商品参获得的产量^[3]。从长期的增产效应来看,有机肥料的增产效应绝不亚于化肥,甚至超过化肥^[4];增施有机肥料,不仅为人参生长提供营养物质,而且可以改善土壤理化性状,降低土壤容重,增加孔隙度,改变土壤板结现象^[5]。众所周知,腐殖物质可以促进团粒结构的形成,改变沙土分散无结构的状态和黏土的坚韧大块状结构,并且具有巨大的比表面积和亲水基团,吸水量是黏土矿物的 5 倍,使土壤的透水性、蓄水性、通气性以及根系的生长环境有所改善^[6]。关于人参栽植与腐殖物质间的关系研究已有报道,研究表明,腐殖物质对人参生长具有显著的促进作用^[7];以动物粪肥为主的有机肥可以增加土壤腐殖质的含量,提高土壤养分的有效性^[8]。而对不同种类畜禽粪肥施入农田栽参土壤后对土壤腐殖质组分产生的影响研究较少。因此,我们以农田栽参土壤为研究对象,通过田间小区试验,研究增施猪粪、鹿粪、鸡粪、牛粪后对农田栽参土壤养分和腐殖质组成的影响,为提高农田人参产出量、保护森林资源、加强水土资源保持和保护生态平衡提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与材料

供试土壤采自吉林农业大学药用植物试验田(43°48'11" N,125°24'28"E),土壤类型为发育于黄土母质上的中层黑土,相当于美国系统分类制中的黏化黑软土(argaltoll)。取样地所处气候条件为温带大陆性季风气候,年平均降水量 400 ~ 600 mm,年均温 2 ~ 6 °C。土壤基本性质如下:沙粒(2 000 ~ 20 μm)20.00%、粉粒(<20 ~ 2 μm)46.40%、黏粒(<2 μm)33.60%,土壤质地为黏壤土。容重 1.07 g/cm^3 ,孔隙度 60%,pH 值 6.82,含有机碳 16.89 g/kg 、全氮 0.76 g/kg 、全磷 0.72 g/kg 、碱解氮 20.35 mg/kg 、有效磷 10.29 mg/kg 、速效钾

收稿日期:2016-01-19

基金项目:吉林省科技支撑计划(重大)(编号:20126046)。

作者简介:高纪超(1989—),男,吉林磐石人,硕士研究生,主要从事土壤生物化学与土壤有机培肥研究。E-mail:2693673556@qq.com。

通信作者:关松,博士,副教授,主要从事土壤生物化学与土壤有机培肥研究。E-mail:guansong8888@163.com。

73.41 mg/kg。

供试肥料:分别将猪粪、牛粪、鹿粪、鸡粪分别混匀,在自然状态下堆腐 49 d,发酵后在阴凉处风干。发酵后粪肥主要养分含量见表 1。

表 1 供试粪肥养分含量

粪肥种类	养分含量(g/kg)				
	有机碳	全氮	全磷	类胡敏酸	类富里酸
猪粪	227.47	19.21	20.42	29.56	14.71
鸡粪	107.90	11.23	9.64	18.63	9.99
鹿粪	266.85	13.16	12.12	33.68	14.66
牛粪	239.65	14.64	10.47	34.98	19.56

1.2 试验设计

试验共设 5 个处理:(1)不施肥对照(CK);(2)牛粪;(3)猪粪;(4)鹿粪;(5)鸡粪。随机区组排列,重复 3 次,施肥量为 22.5 kg/m²。小区面积 200 m²。施肥时间为 2014 年 4 月,施肥深度 40 cm,采样时间为 2014 年 10 月,各试验小区于 0~20 cm 土层分别进行 5 个样点的随机采样,同种处理样本混合后,拣出碎石、沙砾和植物残体,风干,部分土样研磨、过筛,用于土壤基本性质测定,其他样品保存待用。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤腐殖物质组分的提取 土壤腐殖物质组分的提取采用腐殖质组成修改法^[9]:称取 5.00 g 风干土壤,过 0.25 mm 筛,于 100 mL 离心管中,加入 50 mL 0.1 mol/L NaOH、0.1 mol/L Na₄P₂O₇ 混合液,pH 值 13,搅拌均匀,在恒温水浴振荡器上(70±2)℃ 145 r/min 振荡提取 1 h,3 500 r/min 离心 15 min,过滤,上清液即为可提取腐殖物质(HE),沉淀为胡敏素(HM)。

土壤可提取腐殖质组分胡敏酸(HA)、富里酸(FA)的分离:吸取 HE 30 mL 于三角瓶中,加入 0.5 mol/L H₂SO₄,调节至 pH 值为 1.0~1.5。将溶液置于(70±2)℃水浴锅中保温 1~2 h,静置过夜,次日过滤,沉淀为 HA,上清液为 FA,沉淀继续用 0.5 mol/L H₂SO₄ 洗 3 次,弃去洗液,将沉淀溶解于 0.05 mol/L 的 NaOH 中,定容至 50 mL。

HM 中铁结合胡敏素(HMi)、黏粒结合胡敏素(HMc)提取:将离心管中 HM 用 0.5 mol/L H₂SO₄ 溶解铁、铝氧化物和氢氧化物,在恒温水浴(70±2)℃上加热 3 h 后离心弃去洗液,然后加入 0.2 mol/L 的 NaOH 溶液,25℃振荡 4 h 后离

心,上清液为 HMi,向残渣中加入 1 mol/L HF-HCl 混合液破坏黏土矿物与 HM 的紧密结合,振荡,离心,上清液为 HMc,剩余不溶的残渣为不溶性胡敏素(HMr)。

1.3.2 土壤养分的测定 土壤与粪肥中全氮的测定采用半微量凯氏法,全磷采用 HClO₄-H₂SO₄ 消解法,碱解氮采用 NaOH 扩散法,速效磷采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法,速效钾采用 CH₃COONH₄ 浸提-火焰光度法,土壤有机碳和腐殖物质各组分有机碳的测定采用重铬酸钾外加热法测定^[10],FA 有机碳含量采用差减法获得。

1.3.3 土壤腐殖物质光学性质的测定 分别取 5 mL 腐殖物质各组分溶液用蒸馏水定容至 50 mL,用 722E 型可见分光光度计分别测定 D_{400 nm}、D_{465 nm}、D_{600 nm}、D_{665 nm} 处的吸光值,并计算 E₄₆₅/E₆₆₅、色调系数(ΔlgK)值^[9]。E₄₆₅/E₆₆₅ 为腐殖物质在波长 D_{465 nm}、D_{665 nm} 的吸光值之比;ΔlgK 为腐殖物质在波长 D_{400 nm} 和 D_{600 nm} 处吸光值的对数之差。

1.4 数据处理

用 Excel 2007 软件进行数据整理,用 DPS 9.5 统计软件进行数据差异性分析。

2 结果与分析

2.1 施用不同畜禽粪肥土壤养分含量

从表 2 可以看出,土壤施用畜禽粪肥后,土壤养分含量显著增加。与 CK 相比,土壤施用猪粪、鸡粪、鹿粪、牛粪后,全氮含量分别提高 123.68%、114.47%、130.26%、185.53%;全磷含量分别提高 164.38%、38.36%、153.42%、180.82%;碱解氮含量分别提高 100.34%、71.11%、71.50%、100.10%;有效磷含量分别提高 429.25%、85.33%、233.14%、437.93%;速效钾含量分别提高 347.35%、131.73%、72.79%、28.30%,方差分析结果表明,不同处理间差异显著。与施用其他粪肥处理相比,施用牛粪处理后土壤全氮、全磷含量高于其他处理,碱解氮、有效磷含量高于鸡粪、鹿粪处理,施用猪粪更有利于土壤速效钾的提高。

不同畜禽粪肥处理后土壤中碱解氮占全氮比例从大到小依次为 CK、猪粪、鸡粪、鹿粪、牛粪,CK 比例最高,为 2.68%,与其他处理相比,差异显著。有效磷占全磷比例大小依次为猪粪、牛粪、鸡粪、鹿粪、CK,猪粪和牛粪比例较高,与其他处理相比差异显著。

表 2 施用不同畜禽粪肥土壤中养分含量比较

处理	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	碱解氮/全氮 (%)	有效磷/全磷 (%)
猪粪	1.70c	1.93b	40.77a	54.46a	362.58a	2.39b	2.82a
鸡粪	1.63d	1.01d	34.82b	19.07c	187.82b	2.13bc	1.89b
鹿粪	1.75b	1.85c	34.90b	34.28b	140.05c	1.99bc	1.85b
牛粪	2.17a	2.05a	40.72a	55.25a	104.00d	1.87c	2.70a
CK	0.76e	0.73e	20.35c	10.29d	81.05e	2.68a	1.35c

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05),表 3、表 4 同。

2.2 施用不同畜禽粪肥土壤有机碳及腐殖物质含量

从表 3 可以看出,土壤施入畜禽粪肥后,土壤有机碳(SOC)和腐殖物质含量显著增加。与 CK 相比,土壤施用猪粪、鸡粪、鹿粪、牛粪后,SOC 含量分别提高 33.63%、20.43%、32.68%、80.34%;可提取腐殖物质(HE)含量分别

提高 32.13%、20.06%、32.13%、80.32%;其中,胡敏酸(HA)含量分别提高 36.28%、13.50%、36.28%、46.23%;富里酸(FA)含量分别增加 27.80%、27.09%、27.80%、116.58%。SOC、HE、HA 含量大小依次为:牛粪>鹿粪、猪粪>鸡粪>CK。与其他施肥处理相比,施用牛粪更有利于土

壤有机碳及腐殖物质含量的提高。PQ 作为可提取腐殖物质中 HA 的比例,可以用来描述土壤腐殖化程度^[9],在牛粪处理中,PQ 小于其他处理,表明施用牛粪后土壤腐殖化程度低于其他施肥处理,与其他处理间差异显著。

表 3 施用不同畜禽粪肥处理土壤中有有机碳、腐殖物质含量

处理	含量(g/kg)				PQ 值
	SOC	HE	HA	FA	
猪粪	22.57b	16.20b	9.06b	7.14b	0.56a
鸡粪	20.34c	14.81c	7.71c	7.10b	0.52b
鹿粪	22.41b	16.20b	9.06b	7.14b	0.56a
牛粪	30.46a	21.75a	9.65a	12.10a	0.44c
CK	16.89d	12.50d	6.91d	5.59c	0.56a

Pallo 修改法将胡敏素分成铁结合胡敏素(HMi)、黏粒结合胡敏素(HMc)、不溶性胡敏素(HMr)3 个部分^[11]。从表 4 可以看出,HM 各组分中,不同畜禽粪肥处理土壤中均以 HMr 为主,各形态胡敏素的含量依次为 HMr > HMi > HMc,胡敏素组成的表征指标 HMi/HMc 比值均大于 1,不同施肥处理中,HMi/HMc 比值大小依次为鸡粪 > 猪粪、牛粪 > 鹿粪,而不同处理之间的(HMi + HMc)/HM 比值差异不显著,表明不同畜禽粪肥处理对溶性胡敏素在 HM 组成中所占的比例没有显著影响。

与 CK 相比,土壤施用猪粪、鸡粪、鹿粪、牛粪后,HMi 分别提高 24.14%、27.59%、48.28%、81.03%,HMc 含量分别提高 43.75%、34.38%、87.50%、115.63%,HMr 含量分别提高 25.25%、17.51%、68.69%、120.20%。施用不同有机粪肥在增加土壤 HM 的作用上,依次为牛粪 > 鹿粪 > 猪粪、鸡粪,牛粪提高效果最佳,为 113.95%,与其他处理间差异显著。

表 4 施用不同畜禽粪肥土壤胡敏素各组分含量

处理	含量(g/kg)			HMi/HMc (%)	(HMi + HMc)/HM (%)
	HMi	HMc	HMr		
猪粪	0.72c	0.46c	3.72c	1.57b	0.24a
鸡粪	0.74c	0.43c	3.49c	1.72a	0.25a
鹿粪	0.86b	0.60b	5.01b	1.43c	0.23a
牛粪	1.05a	0.69a	6.54a	1.52b	0.21a
CK	0.58d	0.32d	2.97d	1.81a	0.23a

2.3 施用不同畜禽粪肥土壤腐殖物质的光学性质

一般认为暗色是腐殖物质最重要的特征之一,腐殖物质形成在本质上就是一种颜色逐渐变暗的过程。这种色调的差别和腐殖化程度的差别是相对应的。而 E₄₆₅/E₆₆₅ 和色调系数(ΔlgK)是与颜色有关的指标,能反映腐殖质分子的复杂程度。一般来说,腐殖物质的 ΔlgK 或 E₄₆₅/E₆₆₅ 比值越高,说明它们的分子结构越简单,数均分子量越小^[12]。

图 1 中不同处理腐殖物质各组分的 ΔlgK 与图 2 的 E₄₆₅/E₆₆₅ 比值具有一致的变化规律,腐殖物质各组分之间相比,FA 的 ΔlgK 和 E₄₆₅/E₆₆₅ 比值最高,表明与 HA、HMi、HMc 相比,FA 的分子结构最简单。

与 CK 相比,土壤中畜禽粪肥的施用提高了 FA 和 HA 的 ΔlgK 和 E₄₆₅/E₆₆₅ 比值(鸡粪处理 FA 的 ΔlgK 与牛粪处理 HA 的 E₄₆₅/E₆₆₅ 比值除外),使 FA 和 HA 分子结构趋于简单。对于 HMc 而言,牛粪处理 HMc 的 ΔlgK 和 E₄₆₅/E₆₆₅ 比值显著提

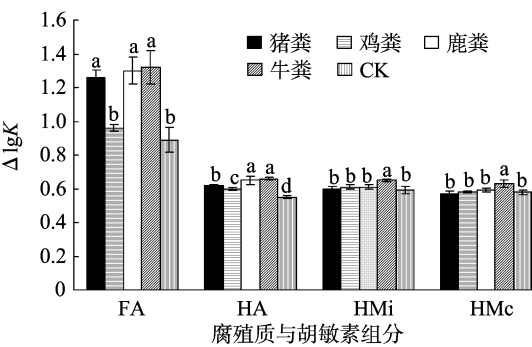


图 1 施用不同畜禽粪肥土壤腐殖物质的 ΔlgK 值

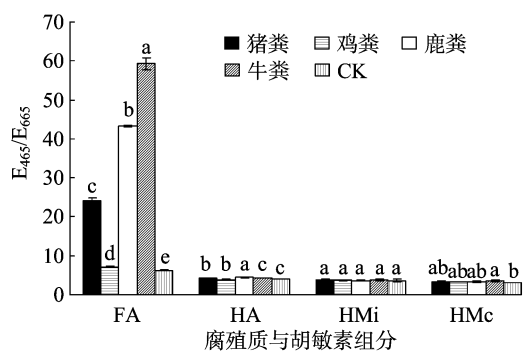


图 2 施用畜禽粪肥土壤腐殖物质的 E₄₆₅/E₆₆₅ 比值

高,表明施用牛粪使 HMc 的分子结构简单化。

3 讨论与结论

3.1 施用不同种类畜禽粪肥对土壤养分含量的影响

土壤全氮、全磷均由有机态和无机态组成,氮素中 98% 以上是有机态氮,无机氮较少,一般只占土壤全氮量的 1% ~ 2%,植物生长所需氮素主要来源于无机态氮^[6]。不同畜禽粪肥施入土壤后,土壤全氮、全磷、碱解氮、有效磷含量均高于对照,施用有机粪肥显著提高了土壤的氮、磷养分,与刘晓玲等研究结论^[13]一致。全氮、碱解氮含量对照显著低于其他粪肥处理,但矿质态氮占全氮的百分比却高于其他施肥处理,表明未施肥土壤中高比例的矿质态氮来源于原有有机态氮的长期矿化。不同粪肥处理间相比,矿质态氮占全氮的百分比由大至小依次为猪粪、鸡粪、鹿粪、牛粪,其中,猪粪处理碱解氮/全氮比值显著高于牛粪处理,归因于猪粪自身的 C/N 比值低于牛粪,低的 C/N 比值有利于有机态氮向矿质态氮转化。矿质态氮尽管占土壤中全氮含量的比例不高,却最易被植物吸收,具有重大的农学意义。牛粪与猪粪处理中有效磷占全磷的百分比高于其他处理,表明土壤施用牛粪、猪粪有利于全磷中有效磷含量的增加,为作物提供可吸收利用的磷素。

3.2 施用不同种类畜禽粪肥对土壤有机碳及腐殖物质含量的影响

土壤施用畜禽粪肥后,显著提高了 SOC 及其腐殖物质 HA、FA、HM 含量,供试畜禽粪肥的有机碳含量为 107.92 ~ 266.84 g/kg,当其腐解施入土壤后,直接或间接影响到了土壤有机质含量、腐殖物质组成及结合形态特征。腐殖物质是有机残体腐解过程中形成的一类复杂的高分子有机化合物,是土壤有机质的主要部分,对土壤肥力、结构和性质具有重要的调节功能^[6]。研究表明,人参土壤中添加腐殖酸能提高人

参的抗病能力和存苗率,使人参增产^[7]。土壤施用畜禽粪肥后,促进土壤有机碳的提高及腐殖物质的形成对于人参种植产业意义重大。本研究中土壤添加粪肥后可提取腐殖物质(HA与FA)含量占SOC的比例高达71.78%~74.01%,或许归因于畜禽粪肥施入土壤腐解时间较短(180 d)且供试粪肥自身含有较高的类似于土壤HA、FA的化学成分。随着粪肥施入土壤腐解时间的增加,SOC及可提取腐殖物质含量会有所变化,相关问题还有待进一步深入研究。

与其他粪肥处理相比,土壤施用牛粪后SOC、HA、FA含量高于其他处理,与史振鑫等研究结果^[14]一致,但PQ值低于其他施肥处理,表明施用牛粪的土壤腐殖化程度低于其他粪肥处理,归因于不同有机物料中化学组成存在差异,在土壤中分解与转化的过程也存在差异^[15],而牛粪含有许多未分解的秸秆,秸秆进入土壤后会增加土壤FA的含量,降低土壤腐殖化程度^[16]。

土壤施用猪粪、鸡粪、鹿粪、牛粪后,HMi、HMc、HMr含量显著增加,对于人参土壤结构的改善和养分保持与供给具有重要的作用。HM是与无机矿物成分(包括铁铝氧化物、钙离子、黏土矿物)牢固结合的有机质组分,不溶于任何pH值条件下水溶液,是土壤中的惰性物质,在碳截获、土壤结构、养分固持及有效性和生物地球化学循环等方面起着重要作用^[11]。与HA、FA相比,HM结合的氨基酸、氨基糖对微生物和植物具有更高的有效性^[17]。张晋京等研究表明,施用有机肥后HM有机碳含量增加,烷基化程度提高,疏水程度增强,分子结构趋于简单^[18],这对于增强土壤有机碳和团聚体稳定性是有利的,因为HM主要控制小粒级微团聚体的形成,因此,施用有机肥有利于提高小粒级微团聚体的稳定性,从而有利于土壤肥力的保持。

李凯等把HMi/HMc、(HMi+HMc)/HM比值作为HM组成的表征指标^[11]。应该提及的是, Al^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 等多价金属离子可以充当黏土矿物与腐殖物质之间的键桥,在土壤有机-无机复合体形成过程中起着重要作用,在我国北部中性或石灰性土壤中主要以钙键结合的腐殖物质为主,也有铁、铝键结合的腐殖物质,而在南方酸性土壤中,则主要是以铁、铝键结合的腐殖物质^[6]。归因于供试土壤为东北的黑土,且黑土黏粒矿物组成以伊利石和蒙脱石为主,其中蒙脱石矿物膨胀性大,腐殖物质甚至被吸附在硅酸盐矿物的晶层之间,可能会导致提取HMc的难度增加,降低HMc的提取含量,而可提取的HMi是钙、铁、铝键结合的HM,特别是 Ca^{2+} 是较弱的阳离子键桥,易被破坏,本研究不同处理中,HMi/HMc比值均大于1,与窦森等的研究结果^[19]一致。

土壤施用猪粪、鸡粪、鹿粪、牛粪后,与CK相比,HMi、HMc含量均显著增加,但HMi/HMc比值低于CK,表明与HMi相比,HMc在施肥处理后所占比例有所增加,更有利于黏粒之间相互富集成团粒结构,改善土壤结构性质。

3.3 施用畜禽粪肥对土壤腐殖物质光学性质的影响

$\Delta\lg K$ 和 E_{465}/E_{665} 能反映腐殖质分子的复杂程度。在不同处理中,与HA、HMi、HMc相比,FA的 $\Delta\lg K$ 和 E_{465}/E_{665} 值最高,差异显著,表明FA分子结构简单,相关研究表明,与HA相比,FA分子量较小,芳化度和缩合程度较低^[20]。与CK相比,土壤中畜禽粪肥的施用提高了FA和HA的 $\Delta\lg K$ 和

E_{465}/E_{665} 比值(鸡粪处理FA的 $\Delta\lg K$ 与牛粪处理HA的 E_{465}/E_{665} 比值除外),使FA和HA分子结构趋于简单。关松等研究表明,黑土中植物残体的添加使黑土FA分子的脂族性增强,芳香性减弱,缩合度和氧化度下降,FA分子结构趋于简单化^[21]。史振鑫等研究认为,黑土添加牛粪后HA和FA的缩合度和氧化度下降^[14]。对于HMc而言,牛粪处理HMc的 $\Delta\lg K$ 和 E_{465}/E_{665} 比值显著提高,表明施用牛粪使HMc分子结构简单化,窦森等研究结果表明,土壤添加植物残体后,HMi和HMc的脂族性增强,分子结构较简单^[19]。本研究归因于畜禽粪肥施入土壤腐解时间较短(180 d),不同粪肥处理之间HMi和HMc的光学性质没有表现出一定的差异性,有关施肥时间问题,还有待进一步深入研究。

黑土施入畜禽粪肥后,显著提高了土壤全氮、全磷、碱解氮、有效磷和速效钾含量。不同粪肥处理之间相比,全氮含量依次为牛粪>鹿粪>猪粪>鸡粪;全磷含量依次为牛粪>猪粪>鹿粪>鸡粪;碱解氮含量依次为牛粪、猪粪>鹿粪、鸡粪;有效磷含量依次为牛粪、猪粪>鹿粪>鸡粪;速效钾含量依次为猪粪>鸡粪>鹿粪>牛粪。猪粪处理能全面、充足地为植物提供氮磷钾养分。

黑土施入畜禽粪肥后,SOC和腐殖物质(HA、FA、HE)含量显著增加。不同粪肥处理之间相比,SOC和HA为牛粪>鹿粪、猪粪>鸡粪;FA为牛粪>鹿粪、猪粪、鸡粪;HE为牛粪>鹿粪、猪粪>鸡粪。土壤施入牛粪更有利于腐殖物质的形成,其次是鹿粪。

黑土施入畜禽粪肥使HA和FA的分子结构趋于简单,增强了腐殖物质的活性。

参考文献:

- [1]王韵秋,郝绍卿,于得荣.老参地土壤理化性状的变化[J].人参研究,2002(1):2-7.
- [2]孙宏法,李军,朱平,等.山参适宜生态环境的调查研究[J].特产研究,1993(1):26-30.
- [3]李春金,陈洪斌,郎家庆,等.辽宁地区人参栽培技术[J].沈阳农业大学学报,2000,31(2):224-225.
- [4]宇万太,姜子绍,马强,等.施用有机肥对土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1057-1064.
- [5]许永华,金慧,庞立杰,等.老参地土壤改良及人参栽培技术[J].北方园艺,2010,14(5):195-196.
- [6]黄昌勇,徐建明.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000:39.
- [7]许永华,王二欢,张国荣,等.腐殖酸液肥在农田栽参上的应用研究[J].现代农业科技,2014(3):85.
- [8]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(6): 1355-1365.
- [9]窦森.土壤有机质[M].北京:科学出版社,2010.
- [10]鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [11]李凯,窦森.不同类型土壤胡敏素组成的研究[J].水土保持学报,2008,22(3):116-119,157.
- [12]窦森,陈恩凤,须湘成,等.施用有机肥料对土壤胡敏酸结构特征的影响——胡敏酸的光学性质[J].土壤学报,1995,32(1):41-49.
- [13]刘晓玲,宋照亮,单胜道,等.畜禽粪肥施加对嘉兴水稻土总磷、

周东兴,王 兵,邓 杰,等. 蚯蚓与细菌协同作用对土壤中聚丙烯酰胺的降解效果[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):259-262.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.06.067

蚯蚓与细菌协同作用对土壤中聚丙烯酰胺的降解效果

周东兴,王 兵,邓 杰,宁玉翠,斯琴毕力格,王广栋,李胜男

(东北农业大学资源与环境学院,黑龙江哈尔滨 150030)

摘要:从含有聚丙烯酰胺(PAM)的污泥中分离得到 2 株 PAM 降解菌 PAM1 和 PAM5,通过 16S rDNA 序列分析,初步鉴定 PAM1 为 *Comamonas kerstersii*,PAM5 为 *Comamonas terrigena*。通过 24 d 室内培养试验,研究细菌与蚯蚓协同作用对土壤中 PAM 降解的影响。试验共设置 4 个处理,分别为空白试验(CK)、接种细菌(B)、加入蚯蚓(E)以及同时接入细菌和蚯蚓(BE),28 ℃ 恒温培养。结果表明,在同一 PAM 污染浓度下,各处理 PAM 降解率均随时间的增加而升高,培养 24 d 后各处理的降解率差异显著,其降解率的大小顺序为 BE > B > E > CK。说明单独加入蚯蚓、细菌以及同时接入蚯蚓和细菌都能显著促进土壤中 PAM 的降解,且以蚯蚓与细菌协同作用对土壤中 PAM 的降解效果最好;在不同 PAM 浓度下,处理 B、BE、CK 对 PAM 的降解随着 PAM 浓度的增加而降低;E 处理对 PAM 的降解率随 PAM 浓度的增加仅产生轻微波动。

关键词:蚯蚓;细菌;协同作用;聚丙烯酰胺降解;PAM1;PAM5

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)06-0259-04

聚丙烯酰胺(PAM)由丙烯酰胺均聚或与其他单体共聚而成,是一种线性水溶性有机高分子聚合物,能以任何比例溶于水,几乎不溶于乙醚、苯、酯类、丙酮等一般有机溶剂,兼具絮凝性、增稠性、耐剪切性、降阻性、分散性等性能^[1-2]。由于其良好的絮凝性能,PAM 开始在水处理领域得到广泛应用,包括原水处理、污水处理、工业水处理、城市生活污水处理等,目前仍然是国内外水处理领域使用量最大的水处理剂^[3]。此外 PAM 也被广泛应用于造纸、石油开采、纺织、农业等领域,有“百业助剂”之称^[4]。但在 PAM 被广泛应用的同时,由于受到技术和工艺等水平的限制,PAM 被排放到环境中,逐渐累积,造成环境中有大量的 PAM 残留,最终进入土壤,长此以往会对土壤环境产生一定的影响^[5]。虽然少量的 PAM 施加到土壤中会对土壤起到一定的改良作用,但是过量的 PAM 会引起土壤板结,使土壤透气性变弱,从而影响作物的生

长^[6]。此外,PAM 在环境中受各种理化及生物因素的影响会发生缓慢的降解,产生丙烯酰胺单体(AM),AM 具有较强的神经毒性、致癌性及遗传性毒性等,对环境造成污染的同时也会对人体产生直接或间接的危害^[7-8]。

处理 PAM 最核心的问题便是 PAM 的降解。相比于利用物理或化学方法降解 PAM,生物降解过程不产生剧毒的 AM,无二次污染,具有经济、环保等优点^[9]。然而,在利用微生物修复受污染土壤的过程中,土壤受污染导致含氧量过低往往会限制土壤污染物的降解^[10]。蚯蚓作为土壤生态环境中的重要组成部分,在修复污染土壤方面具有重要作用,研究发现蚯蚓能通过自身的生命活动,如运动、取食、挖掘等行为,改善土壤的通气,促进外源添加到土壤中的微生物传播^[11-13]。但关于蚯蚓与微生物协同作用降解土壤中 PAM 效果的研究还未见报道。本试验通过蚯蚓和细菌的单独和混合培养,研究蚯蚓和细菌及其相互作用对土壤中 PAM 降解效果的影响,旨在探究蚯蚓与微生物联合修复 PAM 污染土壤的可行性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

PAM 购自天津致远化学试剂有限公司,水解度 30%。用

有机磷和有效磷分布的影响[J]. 浙江农林大学学报,2011,28(1):33-39.

[14]史振鑫,孟安华,吴景贵,等. 牛粪处理方式对黑土胡敏酸和富里酸的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(3):145-151.

[15]Lyimo H F,Pratt R C,Mnyuku R W. Composted cattle and poultry manures provide excellent fertility and improved management of gray leaf spot in maize[J]. Field Crops Research,2012,126:97-103.

[16]刘永欣. 秸秆深还对土壤腐殖质垂直分布及其结构特征的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2014.

[17]Johnsson L,Berggren D,Kårén O. Content and bioavailability of

organic forms of nitrogen in the O horizon of a podzol[J]. European Journal of Soil Science,1999,50(4):591-600.

[18]张晋京,窦 森,朱 平,等. 长期施用有机肥对黑土胡敏素结构特征的影响——固态 ¹³C 核磁共振研究[J]. 中国农业科学,2009,42(6):2223-2228.

[19]窦 森,肖彦春,张晋京. 土壤胡敏素各组分数量及结构特征初步研究[J]. 土壤学报,2006,43(6):934-940.

[20]卓苏能,文启孝. 核磁共振技术在土壤有机质研究中的应用的新进展(上)[J]. 土壤学进展,1994,22(5):46-52.

[21]关 松,窦 森. 添加玉米秸秆对黑土团聚体富里酸结构特征的影响[J]. 农业环境科学学报,2015,34(7):1333-1340.