

张伟彬. 有机肥和化肥配施对小麦甘薯轮作土壤腐殖质结合形态及微生物群落结构的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(17): 247–252.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.17.040

# 有机肥和化肥配施对小麦甘薯轮作土壤腐殖质结合形态及微生物群落结构的影响

张伟彬

(商丘职业技术学院, 河南商丘 476000)

**摘要:**为了研究化肥与不同有机肥配施对麦薯田土壤腐殖质结合形态及微生物群落结构的影响,于 2018—2021 年进行田间定位试验,利用结合态腐殖质分组法以及土壤磷脂脂肪酸(PLFAs)法,设置不施肥(CK)、单施化肥(T1)、单施生物有机肥(T2)、50% 化肥与 50% 生物有机肥配施(T3)、单施牛粪(T4)、50% 化肥与 50% 牛粪配施(T5)6 个处理,研究不同施肥处理下土壤腐殖质结合形态及组分含量、土壤微生物群落组成的变化,并探究它们的关联性。结果表明,与 CK 相比,施肥处理腐殖质不同结合形态均有不同程度的提高,其中 T3 处理腐殖质不同结合形态含量均最高,显著高于 T2、T4、T5 处理的联结态腐殖质含量;T3 处理不同结合态腐殖质胡敏酸、富里酸含量均最高,松结态、稳结态腐殖质 H/F 比值均为  $T3 > T4 > T2 > T5 > T1 > CK$ ,联结态腐殖质 H/F 比值均为  $T3 > T4 > T2 = T5 > T1 > CK$ ;胡敏酸 E4/E6 比值为  $T1 > CK > T5 > T2 > T4 > T3$ ;T2、T3、T4、T5 处理的细菌、放线菌、总菌落生物量较 CK 处理分别提高 13.50% ~ 35.71%、18.91% ~ 46.00%、10.35% ~ 22.53%,除 T2 处理总菌落数无显著差异外,其他处理指标均显著提高,真菌生物量分别下降 5.63% ~ 22.14%,但均无显著差异;RDA 分析结果表明,土壤微生物群落结构的改变受土壤腐殖质结合形态及组分间的影响较大,其中稳结态腐殖质(65.4%)及胡敏酸(56.34%)为主要驱动因子。总体而言,化肥配施有机肥或单施有机肥较不施肥或单施化肥均能够显著提高土壤不同结合态腐殖质含量及组分含量,且能够明显改善土壤微生物群落的构成,其中 50% 化肥与 50% 生物有机肥配施处理表现更加突出。

**关键词:**化肥;有机肥;腐殖质;微生物

**中图分类号:**S182;S154.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)17-0247-06

腐殖质一般占土壤有机质的 70% ~ 90%,大部分与土壤矿物质颗粒结合形成复合体,能够通过改善土壤物理、化学及生物学特性而提高土壤的自我修复与吸附能力,在土壤养分供应以及土壤结构构建方面发挥重要作用<sup>[1-6]</sup>。按照与矿物质颗粒的结合方式和紧密程度不同,腐殖质划分为联结态、紧结态、稳结态、松结态 4 种结合形态,腐殖质结合形态比例的不同会影响土壤养分供应以及结构特征<sup>[7-9]</sup>。

农田土壤生态系统腐殖质组分的变化受自然因素和人为管理活动的影响较大<sup>[10]</sup>。研究土壤腐殖质结合形态及组分比例的变化是揭示不同施肥措施对土壤碳循环转化影响的重要途径。有研究表明,人为管理活动对土壤腐殖质结合形态及组分含量变化均有一定的影响<sup>[11]</sup>。长期过量单施化肥

会造成土壤有机碳、腐殖质含量减少,加重土壤酸化,而化肥配施有机肥不仅有利于土壤有机碳与腐殖质含量的积累,还能促进土壤腐殖化,改善土壤微生态环境<sup>[5,12-14]</sup>。目前,有关有机物料还田对土壤腐殖质结合形态及组分含量影响的研究报道有很多。但土壤有机碳及腐殖质结合形态受土壤类型、气候等因素的影响较大,还与外源有机物的投入密切相关<sup>[15]</sup>,且不同植物根系分泌物及残留物均有所不同,对土壤微生物群落代谢活动、腐殖质结合形态的影响也不尽相同。本研究设置不施肥、单施化肥、单施生物有机肥、化肥配施有机肥、单施牛粪、化肥配施牛粪 6 个处理,研究化肥与不同有机肥配施条件下土壤腐殖质结合形态及土壤微生物群落结构的变化并探讨其关联性,旨在找到适宜的施肥模式,为麦薯田合理施肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2018 年 10 月至 2021 年 6 月在商丘职

收稿日期:2021-12-30

基金项目:河南省教育科学“十三五”规划项目(编号:2020YB0639)。

作者简介:张伟彬(1981—),女,安徽阜南人,硕士,讲师,主要从事农业微生物专业教学、科研及技术服务工作。E-mail:flysun09@126.com。

业技术学院试验示范基地附近(116°15'E,39°28'N)进行。试验所在地年降水量 650 mm,年平均气温 14.2 ℃,全年积温( $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )为 4 500~5 500 ℃·d,无霜期 210 d,年日照时长 2 200 h。供试土壤为黄潮土,质地为沙壤,基础土壤养分含量为:全氮 0.75 g/kg、全磷 0.62 g/kg、有机质 8.92 g/kg、碱解氮 58.31 mg/kg、速效磷 46.82 mg/kg、速效钾 128.22 mg/kg,pH 值 8.11。试验地常年轮作种植小麦、甘薯。

1.2 供试材料

小麦品种:周麦 18(周口市农业科学院);甘薯品种:商薯 19(商丘市农林科学院);牛粪,由牛粪与小麦秸秆等腐熟而成,含有机质 36.5%,含 N 2.35%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  1.26%、 $\text{K}_2\text{O}$  0.75%,购于农户;生物有机肥,含有机质 32.2%,含 N 3.85%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  2.12%、 $\text{K}_2\text{O}$  1.15%,有效活菌数 $\geq 0.2$  亿 CFU/g,河北中创丰农生物有效公司;化肥,含 N 46.3%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  24.2%、 $\text{K}_2\text{O}\geq 50\%$ ,市售。

1.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,于 2018 年小麦季开始,设不施肥(CK)、单施化肥(T1)、单施生物有机肥(T2)、50% 化肥与 50% 生物有机肥配施(T3)、单施牛粪(T4)、50% 化肥与 50% 牛粪配施(T5)6 个处理,重复 3 次,小区面积 40 m<sup>2</sup>。小麦生育期为 10 月 15 日至次年 6 月 8 日,播种量为 300 kg/hm<sup>2</sup>;甘薯生育期为 6 月 15 日至 10 月 10 日,种植密度为 52 500 株/hm<sup>2</sup>,株行距 27 cm×80 cm。单施化肥用量为纯 N 210 kg/hm<sup>2</sup>、 $\text{P}_2\text{O}_5$  150 kg/hm<sup>2</sup>、 $\text{K}_2\text{O}$  150 kg/hm<sup>2</sup>;单施牛粪用量为 22 500 kg/hm<sup>2</sup>;单施生物有机肥用量为 1 800 kg/hm<sup>2</sup>;小麦季与甘薯季施肥量相同,其中小麦季磷肥、钾肥、牛粪、生物有机肥作为基肥在旋地前施入,70% 氮肥作为基肥,30% 氮肥作为追肥在小麦拔节期至抽穗期施入,甘薯季均作为基肥一次性施入。其他田间管理措施均同当地种植习惯一致。试验设计见表 1。

1.4 土壤取样与分析方法

于 2021 年 6 月 1 日利用 5 点取样法采集耕作层(0~20 cm)土壤样品,然后通过低温储存盒带回实验室,拣出根系、碎石等杂物,过 2 mm 网筛后,分为 2 个部分。一部分保存在-40 ℃冰箱,用来测定土壤微生物结构;另一部分自然阴干,用来测定土壤腐殖质组成。

表 1 试验处理及肥料用量					kg/hm <sup>2</sup>
处理	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	生物有机肥	牛粪
CK	0	0	0	0	0
T1	210	150	150	0	0
T2	0	0	0	1 800	0
T3	105	75	75	900	0
T4	0	0	0	0	22 500
T5	105	75	75	0	11 250

腐殖质测定采用结合态腐殖质分组法<sup>[16]</sup>,具体操作步骤参照李建明等的方法<sup>[8]</sup>;微生物结构采用磷脂脂肪酸法,按照 Bardgett 等的提取方法<sup>[17]</sup>,将提取的样品通过气相色谱仪利用脂肪酸鉴定系统<sup>[18]</sup>来分析。

1.5 数据分析

利用 Microsoft Office WPS 软件进行数据处理与计算,利用 SPSS 17.0 进行不同处理间多重比较(LSD 法),利用 Canoco 5.0 作图。

2 结果与分析

2.2 不同施肥措施对土壤腐殖质结合形态的影响

由表 2 可知,不同施肥措施条件下,各处理土壤腐殖质结合形态发生较大的变化。与 CK 处理相比,不同施肥处理的腐殖质含量均有不同程度的提高,其中除 T1 处理腐殖质结合形态含量与 CK 处理相比均无显著差异外,其他处理均显著提高。与 CK 处理相比,配施有机肥处理的松结态含量显著提高 0.62~1.33 倍,其中 T3 处理含量最高,且显著高于 T2 处理;配施有机肥处理的联结态含量显著提高 0.68~1.25 倍,其中 T3 处理含量显著高于 T2、T4、T5 处理;配施有机肥处理的稳结态含量显著提高 1.06~2.06 倍,其中 T3 处理含量显著高于 T2、T5 处理;配施有机肥处理的紧结态含量显著提高 0.03~0.19 倍,其中 T3 处理含量显著高于 T2、T5 处理。

2.2 不同施肥措施对土壤松结态腐殖质组成的影响

由表 3 可知,不同施肥措施条件下土壤松结态腐殖质的胡敏酸、富里酸含量以及胡富比(H/F)表现出不同的变化。与 CK 处理相比,不同施肥处理土壤松结态腐殖质的胡敏酸、富里酸含量以及胡富比均有不同程度的提高,其中胡敏酸含量分别提高 20.83%~175.00%,富里酸含量分别提高 7.14%~96.43%,除 T1 处理不显著外,其他处理胡敏酸、富

表 2 不同处理土壤腐殖质结合形态含量

处理	腐殖质含量(g/kg)			
	松结态	联结态	稳结态	紧结态
CK	0.52 ± 0.06d	0.60 ± 0.04c	0.31 ± 0.08d	6.15 ± 0.15d
T1	0.59 ± 0.08d	0.68 ± 0.11c	0.42 ± 0.06d	6.31 ± 0.24cd
T2	0.84 ± 0.12c	1.01 ± 0.06b	0.64 ± 0.06c	6.73 ± 0.30bc
T3	1.21 ± 0.16a	1.35 ± 0.12a	0.95 ± 0.04a	7.34 ± 0.25a
T4	1.10 ± 0.10ab	1.15 ± 0.13b	0.82 ± 0.14ab	7.07 ± 0.14ab
T5	0.91 ± 0.10bc	1.04 ± 0.11b	0.70 ± 0.04bc	6.91 ± 0.16b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。表 3 至表 6 同。

里酸含量均显著提高。而配施有机肥处理的胡敏酸、富里酸含量也存在较大的差异,其中 T3 处理胡敏酸含量较 T2、T5 处理分别显著提高 53.49%、43.48%,T3 处理富里酸含量较 T2、T5 处理分别显著提高 34.15%、25.00%,与 T4 处理均无显著差异。H/F 比值总体表现为 T3 处理 > T4 处理 > T2 处理 > T5 处理 > T1 处理 > CK 处理,T3 处理显著高于除 T4 处理外的其他处理。

表 3 不同处理土壤松结态腐殖质组成

处理	胡敏酸(g/kg)	富里酸(g/kg)	H/F 比值
CK	0.24 ± 0.03d	0.28 ± 0.03d	0.85 ± 0.01d
T1	0.29 ± 0.04d	0.30 ± 0.05d	0.99 ± 0.04c
T2	0.43 ± 0.06c	0.41 ± 0.06c	1.06 ± 0.02bc
T3	0.66 ± 0.10a	0.55 ± 0.06a	1.18 ± 0.07a
T4	0.58 ± 0.06ab	0.52 ± 0.05ab	1.12 ± 0.01ab
T5	0.46 ± 0.07bc	0.44 ± 0.03bc	1.04 ± 0.09bc

2.3 不同施肥措施对土壤联结态腐殖质组成的影响

由表 4 可知,不同施肥处理联结态的胡敏酸、富里酸含量较 CK 处理分别提高 25.93% ~ 174.07%、45.45% ~ 84.85%,T1 处理的胡敏酸、富里酸含量与 CK 处理相比均无显著差异,T2、T3、T4、T5 处理均显著提高。而在所有配施有机肥处理中,T3 处理的胡敏酸含量较 T2、T4、T5 处理分别显著提高 42.31%、19.35%、37.04%,T2、T4、T5 处理之间均无显著差异;T3 处理的富里酸含量较 T2、T4、T5 处理分别提高 27.08%、15.09%、21.57%,显著高于 T2、T5 处理,T2、T4、T5 处理之间均无显著差异。H/F 比值总体表现为 T3 处理 > T4 处理 > T2 处理 = T5 处理 > T1 处理 > CK 处理,T3 处理显著高于 T1、CK 处理,T2、T4、T5 处理也显著高于 CK 处理,但与 T1 处理均无显著差异。

表 4 不同处理土壤联结态腐殖质组成

处理	胡敏酸(g/kg)	富里酸(g/kg)	H/F 比值
CK	0.27 ± 0.02c	0.33 ± 0.02c	0.84 ± 0.03c
T1	0.34 ± 0.07c	0.33 ± 0.04c	1.02 ± 0.11b
T2	0.52 ± 0.03b	0.48 ± 0.03b	1.08 ± 0.06ab
T3	0.74 ± 0.05a	0.61 ± 0.07a	1.21 ± 0.08a
T4	0.62 ± 0.06b	0.53 ± 0.08ab	1.17 ± 0.11ab
T5	0.54 ± 0.05b	0.50 ± 0.06b	1.08 ± 0.03ab

2.4 不同施肥措施对土壤稳结态腐殖质组成的影响

由表 5 可知,不同施肥处理稳结态的胡敏酸、富里酸含量及 H/F 比值差异显著。胡敏酸含量总体表现为 T3 > T4 > T5 > T2 > T1 > CK,其中 T3 处理较其他处理显著提高 18.18% ~ 271.43%,CK、T1 处理显著最低,T4 处理显著高于 T2、T5 处理;富里酸含量总体表现为 T3 > T4 > T5 > T2 > T1 > CK,其中 T3 处理较其他处理显著提高 13.51% ~ 162.50%,CK、T1 处理最低,T2、T4、T5 处理之间均无显著差异;H/F 比值总体表现为 T3 > T4 > T2 > T5 > T1 > CK,其中 T3 较其他处理显著提高 0.81% ~ 42.53%,T3、T4 处理显著高于 CK 处理,其他处理间均无显著差异。

表 5 不同处理土壤稳结态腐殖质组成

处理	胡敏酸(g/kg)	富里酸(g/kg)	H/F 比值
CK	0.14 ± 0.04d	0.16 ± 0.04c	0.87 ± 0.11b
T1	0.21 ± 0.02d	0.21 ± 0.05c	1.05 ± 0.21ab
T2	0.34 ± 0.04c	0.30 ± 0.05b	1.13 ± 0.23ab
T3	0.52 ± 0.04a	0.42 ± 0.03a	1.24 ± 0.13a
T4	0.44 ± 0.05b	0.37 ± 0.10ab	1.23 ± 0.24a
T5	0.37 ± 0.01c	0.33 ± 0.03ab	1.11 ± 0.09ab

2.5 不同施肥措施对土壤腐殖质胡敏酸 E4/E6 的影响

由图 1 可知,不同施肥措施条件下土壤腐殖质胡敏酸 E4/E6 的光密度比值差异较大。与 CK 处理相比,不同施肥处理的 E4/E6 比值表现出不同的变化,其中 T1 处理 E4/E6 比值提高,较 CK 处理提高 0.49%,其他施肥处理的 E4/E6 比值均降低,T3 处理 E4/E6 比值最低,较 CK 处理降低 4.16%,但均无显著差异。而所有配施有机肥处理的土壤腐殖质 E4/E6 比值较 T1 处理均有不同程度的降低,但均无显著差异。胡敏酸 E4/E6 比值总体表现为

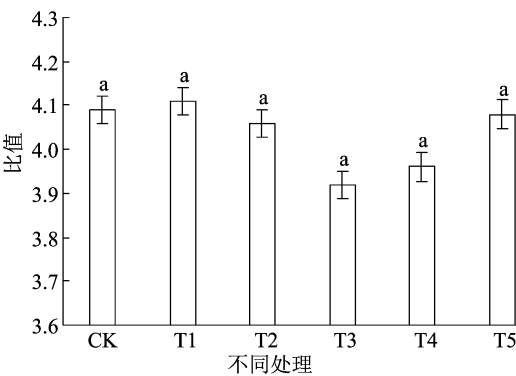


图1 不同施肥处理对土壤腐殖质胡敏酸 E4/E6 的影响

T1 > CK > T5 > T2 > T4 > T3。

2.6 不同施肥措施对土壤微生物群落磷脂脂肪酸的影响

由表 6 可知,不同施肥措施条件下以磷脂脂肪酸含量为表征的土壤微生物主要类群结构发生较大的变化。与 CK 处理相比,T2、T3、T4、T5 处理的

细菌、放线菌、总菌落生物量均有不同程度的提高,真菌生物量下降,其中细菌、放线菌、总菌落生物量较 CK 处理分别提高 13.50% ~ 35.71%、18.91% ~ 46.00%、10.35% ~ 22.53%。除 T2 处理总菌落数无显著差异外,其他处理指标均显著提高,真菌生物量分别下降 5.63% ~ 22.14%,但均无显著差异。T1 处理的细菌、真菌、放线菌、总菌落生物量与 CK 处理相比均无显著差异。而在所有配施有机肥处理中,T3 处理的细菌、放线菌、总菌落生物量以及革兰氏阳性菌/革兰氏阴性菌比值、细菌/真菌比值均最高,真菌生物量最低,其中细菌、总菌落生物量、革兰氏阳性菌/阴性菌比值较 T2 处理显著提高 17.50%、11.03%、25.00%,放线菌生物量和细菌/真菌比值较 T2、T5 处理分别显著提高 22.78%、14.88% 和 38.69%、33.98%,其他处理指标均无显著差异,真菌生物量也无显著差异。

表 6 不同处理土壤微生物磷脂脂肪酸含量

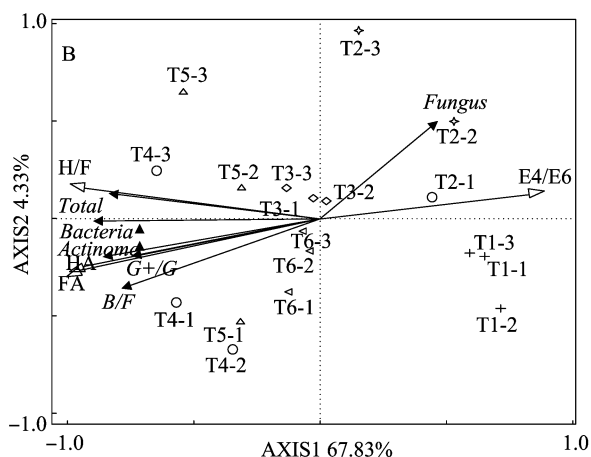
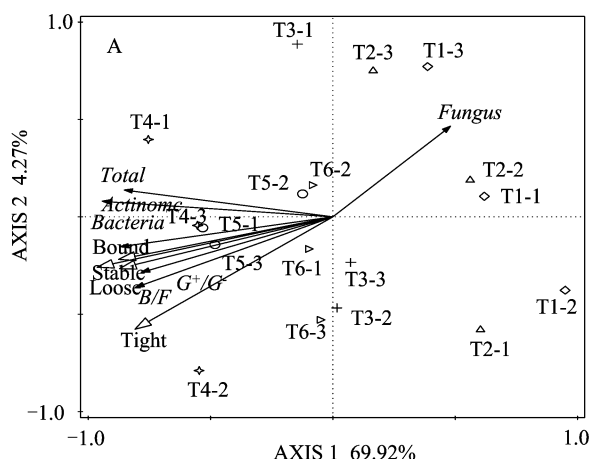
处理	细菌生物量 (nmol/L)	真菌生物量 (nmol/L)	放线菌生物量 (nmol/L)	总菌落生物量 (nmol/L)	革兰氏阳性菌/ 阴性菌比值	细菌/真菌 比值
CK	8.71 ± 0.33c	5.51 ± 1.34ab	5.50 ± 0.60d	19.71 ± 2.01d	0.51 ± 0.05c	1.64 ± 0.34cd
T1	8.71 ± 0.59c	6.26 ± 0.93a	6.05 ± 0.36cd	21.01 ± 1.50cd	0.53 ± 0.04c	1.41 ± 0.18d
T2	10.06 ± 0.74b	5.16 ± 0.82ab	6.54 ± 0.58bc	21.75 ± 0.71bcd	0.56 ± 0.04bc	1.99 ± 0.38bc
T3	11.82 ± 0.52a	4.29 ± 0.43b	8.03 ± 0.38a	24.15 ± 0.76a	0.70 ± 0.05a	2.76 ± 0.20a
T4	11.36 ± 1.63ab	4.97 ± 0.35ab	7.22 ± 0.25ab	23.55 ± 1.91ab	0.64 ± 0.11ab	2.28 ± 0.21ab
T5	10.67 ± 0.57ab	5.20 ± 0.31ab	6.99 ± 0.59b	22.86 ± 1.17abc	0.60 ± 0.06abc	2.06 ± 0.18bc

2.7 土壤微生物群落结构与土壤腐殖质结合形态、组成间的多元分析

土壤微生物群落结构与土壤腐殖质结合形态 RDA 分析结果表明,第 1、第 2 排序轴能够在累积变量 74.19% 上解释不同施肥措施条件下土壤微生物群落结构与腐殖质结合形态之间的关系(图 2 - A)。各处理空间位置比较分散,说明不同施肥措施条件下土壤微生物群落结构的变化对腐殖质结合形态产生不同的响应。其中土壤细菌、放线菌、总菌落与腐殖质不同结合形态均呈正相关,土壤真菌正好相反,与腐殖质不同结合形态均呈负相关,其中稳结态腐殖质(65.4%)为主要驱动因子。说明土壤外源稳结态腐殖质的摄入有利于提高土壤细菌、放线菌、总菌落生物量以及革兰氏阳性菌/阴性菌、细菌/真菌比值,能够较明显地降低真菌生物量。

土壤微生物群落结构与土壤腐殖质组成间的 RDA 分析结果表明,第 1、第 2 排序轴能够在累积变

量 72.16% 上解释不同施肥措施条件下土壤微生物群落结构与腐殖质组成间的关系(图 2 - B)。其中土壤细菌、放线菌、总菌落、革兰氏阳性菌/阴性菌、细菌/真菌比值与土壤腐殖质胡敏酸、富里酸以及胡敏酸/富里酸比值呈正相关关系,与胡敏酸 E4/E6 比值呈负相关关系,土壤真菌与土壤腐殖质胡敏酸 E4/E6 比值呈正相关关系,与胡敏酸、富里酸以及胡敏酸/富里酸比值呈负相关关系,其中胡敏酸(56.34%)为主要驱动因子,说明土壤腐殖质胡敏酸含量的提高有利于提高土壤细菌、放线菌、总菌落生物量以及革兰氏阳性菌/革兰氏阴性菌比值、细菌/真菌比值,降低真菌生物量。由此可知,不同施肥措施能够改变土壤腐殖质的结合形态及组成,而土壤稳结态腐殖质和胡敏酸含量与土壤微生物群落的变化有紧密相关的联系。因此,合理的化肥与有机肥配施比例能够有效改善土壤腐殖质结合形态及组分,从而提高土壤生态系统的稳定性。



Loose、Bound、Stable、Tight 分别指松结态腐殖质、联结态腐殖质、稳结态腐殖质、紧结态腐殖质；HA、FA、H/F、E4/E6 分别指土壤腐殖质胡敏酸、富里酸、胡敏酸/富里酸比值、胡敏酸 E4/E6 的光密度比值；Bacteria、Fungus、Actinomycetes、Total、G<sup>+</sup>/G<sup>-</sup>、B/F 分别指土壤细菌、真菌、放线菌、总菌落、革兰氏阳性菌/阴性菌、细菌/真菌

图2 土壤微生物群落结构与土壤腐殖质结合形态、组成间的 RDA 分析

### 3 讨论

土壤腐殖质不同结合形态对土壤肥力供应及土壤结构构建有较大的影响,其中松结合腐殖质易被土壤微生物分解与转化,能够影响土壤养分的供给,紧结态腐殖质不易被土壤微生物分解与转化,对土壤养分保持与土壤结构改善具有重要的影响<sup>[8,19-21]</sup>。有研究表明,农田中配施的有机物料大部分能够被土壤微生物分解,未分解部分会通过腐殖化进程转化为腐殖质,长期化肥配施有机肥措施能够提高土壤松结态和稳结态腐殖质的比例<sup>[22-23]</sup>。本研究结果显示,与 CK 处理相比,不同施肥处理的松结态、联结态、稳结态、紧结态腐殖质含量均有不同程度的提高,其中 50% 化肥与 50% 生物有机肥配施处理腐殖质不同结合形态含量均最高,明显高于单施化肥或生物有机肥处理,而 50% 化肥与 50% 牛粪配施处理与单施牛粪处理的不同结合态腐殖质含量无显著差异。同种结合态腐殖质含量在不同施肥处理间差异较大,有可能是生物有机肥及腐解产物分子结构对土壤有机无机复合体的形成有显著作用,进而影响土壤不同结合形态腐殖质的形成,而牛粪与化肥结合配施有可能抑制有机无机复合体的形成,从而使得该处理的腐殖质含量低于单施化肥处理。

胡敏酸、富里酸是土壤腐殖质活跃的化学物质,不同结合形态腐殖质的胡敏酸/富里酸比值与土壤结构构成及供肥能力密切相关<sup>[24]</sup>。有研究表明,E4/E6 比值越大,表示不同结合形态腐殖胡敏酸分子量越小,分子复杂程度及缩合度越高<sup>[25]</sup>。本研

究结果显示,与 CK 处理相比,各施肥处理的腐殖质胡敏酸、富里酸含量以及胡敏酸/富里酸比值均不同程度地升高,E4/E6 比值均下降,其中 50% 化肥与 50% 生物有机肥配施处理胡敏酸、富里酸含量以及胡敏酸/富里酸比值均最高,显著高于单施化肥或生物有机肥处理,E4/E6 比值最低,显著低于单施化肥或生物有机肥处理。而 50% 化肥与 50% 牛粪配施配施处理与单施牛粪处理的不同结合态腐殖质胡敏酸、富里酸含量以及胡敏酸/富里酸比值较单施牛粪处理均不同程度地下降、E4/E6 比值上升。造成上述差异的原因有可能是不同有机肥与化肥结合的差异造成的,也可能是有机肥适应土壤类型不同、分解时间的差异等因素造成的。由此说明,化肥与生物有机肥配施有利于不同结合态腐殖质含量的积累。

土壤有机碳、腐殖质是影响土壤微生物群落组成的重要环境因素,长期添加有机物可以有效提高土壤微生物活性,改善土壤微生物群落组成<sup>[26-27]</sup>。本试验结果表明,与单施化肥或不施肥处理相比,配施有机肥处理能够提高土壤细菌、放线菌、总菌落生物量和革兰氏阳性菌/阴性菌、细菌/真菌比值,降低土壤真菌生物量,其中 50% 化肥与 50% 生物有机肥配施处理表现更加显著。分析认为,不同处理外源有机物的摄入,能够为土壤微生物活动提供不同种类的碳源,增强土壤微生物碳源代谢利用能力。而化肥与有机肥配施处理与单施化肥或有机肥处理间的差异较大,分析认为化肥与有机肥配施,既能够满足作物前期对养分的需求,又能保证后期养分的供应,增加养分的利用效率以及土壤微

生物活性,提高土壤中有有机质与腐殖质的分解与转化速率,加速有机肥的腐殖化进程。RDA 分析表明,土壤微生物群落结构的改变受土壤腐殖质结合形态及组分间的影响较大,其中稳结态腐殖质(65.4%)及胡敏酸(56.34%)为主要驱动因子。可见,麦薯田不同施肥措施不仅能够显著改变土壤腐殖质结合形态及组分含量,也能够明显影响土壤微生物群落结构的组成变化。

## 4 结论

麦薯田不同施肥措施能够较大幅度地影响土壤腐殖质组成、含量以及土壤微生物群落结构的变化。与单施化肥或不施肥相比,化肥配施有机肥或单施有机肥均能显著提高土壤不同结合态腐殖质含量及胡敏酸、富里酸含量,降低胡敏酸/富里酸比值,且能明显改善土壤微生物群落构成,其中 50% 化肥与 50% 生物有机肥配施处理表现更加突出。RDA 分析表明,土壤微生物群落结构的变化与土壤不同结合态腐殖质及组分含量密切相关。

## 参考文献:

- [1] 韩 宾,徐尚起,张海林,等. 耕作方式对土壤腐殖质结合状态及组成的影响[J]. 中国农业大学学报,2010,15(1):72-78.
- [2] 潘根兴,赵其国. 我国农田土壤碳库演变研究:全球变化和国家粮食安全[J]. 地球科学进展,2005,20(4):384-393.
- [3] 袁铭章,辛 励,刘树堂,等. 长期秸秆还田不同施肥对土壤腐殖质含量及结构的影响[J]. 华北农学报,2016,31(5):205-209.
- [4] 吴萍萍,王家嘉,李录久. 不同施肥措施对白土腐殖质组成的影响[J]. 土壤,2016,48(1):76-81.
- [5] 陈晓东,吴景贵,范 围,等. 不同有机物料对原生盐碱地土壤腐殖质结合形态及组成的影响[J]. 水土保持学报,2019,33(1):200-205.
- [6] 王 晶,何忠俊,王立东,等. 高黎贡山土壤腐殖质特性与团聚体数量特征研究[J]. 土壤学报,2010,47(4):723-733.
- [7] Dou S,Shan J,Song X Y,et al. Are humic substances soil microbial residues or unique synthesized compounds? A perspective on their distinctiveness[J]. Pedosphere,2020,30(2):159-167.
- [8] 李建明,吴景贵,王利辉. 不同有机物料对黑土腐殖质结合形态影响差异性的研究[J]. 农业环境科学学报,2011,30(8):1608-1615.
- [9] 任 玲,吴景贵,吕东波,等. 不同耕作模式对东北黑土腐殖质结合形态的影响[J]. 东北农业科学,2016,41(2):50-55.
- [10] 李琳佳,夏建国,鄢广奎,等. 名山河流域不同类型土壤腐殖质的组成特征[J]. 水土保持学报,2018,32(4):163-169.
- [11] Deike S,Pallutt B,Melander B,et al. Long-term productivity and environmental effects of arable farming as affected by crop rotation, soil tillage intensity and strategy of pesticide use;a case-study of two long-term field experiments in Germany and Denmark[J]. European Journal of Agronomy,2008,29(4):191-199.
- [12] Chaudhary S,Dheri G S,Brar B S. Long-term effects of NPK fertilizers and organic manures on carbon stabilization and management index under rice-wheat cropping system[J]. Soil and Tillage Research,2017,166:59-66.
- [13] 王 维,吴景贵,李蕴慧,等. 有机物料对不同作物根系土壤腐殖质组成和结构的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(2):215-220.
- [14] 褚 慧,宗良纲,汪张懿,等. 不同种植模式下菜地土壤腐殖质组分特性的动态变化[J]. 土壤学报,2013,50(5):931-939.
- [15] Bojko O,Kabala C. Organic carbon pools in mountain soils - Sources of variability and predicted changes in relation to climate and land use changes[J]. Catena,2017,149:209-220.
- [16] 熊 毅. 土壤胶体:第二册[M]. 北京:科学出版社,1985:62-67.
- [17] Bardgett R D,Hobbs P J,Frostegård Å. Changes in soil fungal:bacterial biomass ratios following reductions in the intensity of management of an upland grassland[J]. Biology and Fertility of Soils,1996,22(3):261-264.
- [18] Barreiro A,Fontúrbel M T,Lombao A,et al. Using phospholipid fatty acid and community level physiological profiling techniques to characterize soil microbial communities following an experimental fire and different stabilization treatments[J]. Catena,2015,135:419-429.
- [19] 赵欣宇,吴景贵,李建明,等. 玉米秸秆及相关废弃物对黑土腐殖质结合形态的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(5):193-198.
- [20] Fan Z S,Liang C. Significance of microbial asynchronous anabolism to soil carbon dynamics driven by litter inputs[J]. Scientific Reports,2015,5:9575.
- [21] Luan H A,Gao W,Huang S W,et al. Partial substitution of chemical fertilizer with organic amendments affects soil organic carbon composition and stability in a greenhouse vegetable production system[J]. Soil and Tillage Research,2019,191:185-196.
- [22] Simonetti G,Francioso O,Nardi S,et al. Characterization of humic carbon in soil aggregates in a long-term experiment with manure and mineral fertilization[J]. Soil Science Society of America Journal,2012,76(3):880-890.
- [23] 李 阳,王继红. 长期施肥土壤腐殖质变化及其与土壤酸度变化的关系[J]. 南京农业大学学报,2016,39(1):114-119.
- [24] 朱青藤,申连玉,钱黎慧,等. 有机物料对白土土壤胡敏酸结构特征的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(2):396-403.
- [25] 王 帅,王 楠,张 溪,等. 改良方式对盐碱地稻田总有机碳及腐殖质组成的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(11):43-50.
- [26] 张 奇,张振华,卢 信. 生物有机肥施用对黄泛冲积区贫瘠土壤养分、酶和微生物多样性的影响[J]. 江苏农业学报,2020,36(2):325-335.
- [27] Yuan Y,Dai X Q,Xu M,et al. Responses of microbial community structure to land-use conversion and fertilization in Southern China[J]. European Journal of Soil Biology,2015,70:1-6.