

张建鹏. 土壤调理剂配施有机肥对连作马铃薯土壤的改良效果[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(11): 219–226.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.11.031

土壤调理剂配施有机肥对连作马铃薯土壤的改良效果

张建鹏

(濮阳职业技术学院, 河南濮阳 457000)

摘要:为探讨土壤调理剂与有机肥配施对连作马铃薯土壤的改良作用, 2018—2022 年, 通过田间定位试验, 以连作马铃薯 2 年地块为试验对象, 设置对照不施肥(CK)、单施化肥(SF)、化肥减量 30% + 生物有机肥(FB)、化肥减量 30% + 微生物菌肥(FM)、化肥减量 30% + 生物有机肥 + 土壤调理剂(FBC)、化肥减量 30% + 微生物菌肥 + 土壤调理剂(FMC)6 个处理, 研究土壤调理剂配施生物有机肥/微生物菌肥对土壤团聚体组成、有机碳累积、孔隙度、容重、马铃薯产量及土壤微生物代谢活性变化的影响。结果表明, FMC 处理 $<0.053\text{ mm}$ 、 $0.053 \sim <0.250\text{ mm}$ 粒径质量比值较其他处理分别降低 2.87% ~ 18.81%、0.42% ~ 25.34%, FMC 处理 $\geq 2.000\text{ mm}$ 粒径质量比值较 CK、SF、FB、FM 处理分别显著提高 21.77%、29.52%、22.75% 和 18.28%; 与 CK 处理相比, SF 处理土壤容重显著提高 6.29%, 其他施肥处理显著降低 8.39% ~ 13.99%, SF 处理土壤孔隙度降低 4.55%, 其他施肥处理提高 6.06% ~ 18.18%; FB、FM、FBC、FMC 处理土壤有机碳含量呈波动性整体上升趋势, 2022 年 FMC 处理土壤有机碳含量较其他处理分别提高 6.32% ~ 39.15%; 施肥 4 年后, FMC 处理马铃薯产量较其他处理分别显著提高 12.27% ~ 116.19%; 与其他处理相比, FMC 处理能够提高土壤细菌、放线菌生物量以及细菌/真菌比值、革兰氏阳性菌/革兰氏阴性菌比值, 降低真菌生物量, 提高土壤微生物对糖类、羧酸类、氨基酸类、酚类化合物的利用能力; RDA 分析表明, 土壤大粒径团聚体、有机碳含量、容重是影响土壤微生物代谢活动的主要驱动因子; 由此可知, 化肥减量与微生物菌肥及土壤调理剂配施处理在改良土壤方面表现最优。

关键词:土壤调理剂; 有机肥; 团聚体; 有机碳; 微生物; 马铃薯

中图分类号:S156; S532.06; S154.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)11-0219-07

马铃薯是河南省的主要粮食作物, 因其产量高、适应性广、营养丰富等特点被人们广泛接受^[1-2]。据相关农业部门调查表明, 2021 年河南省马铃薯种植面积可达 8.73 万 hm^2 ^[3]。近年来, 受耕地面积、订单农业以及集约化生产影响, 马铃薯连作种植现象普遍存在^[4]。然而长年连作种植不仅会造成马铃薯产量降低、病虫害频发, 还会改变土壤物理结构以及土壤微生物菌群^[5-7], 降低土地生产力。因此, 如何有效改良连作马铃薯土壤问题对马铃薯产业发展具有重要的意义。有研究表明, 施用大量化肥能够在短时间内解决马铃薯产量降低问题^[8], 但长期大量施用化肥, 不仅起不到产量增加的目的, 还会造成土壤板结、养分失衡、病害加重等问题^[9-11]。目前, 国内众多学者研究表明, 配施生物菌肥^[12-13]、改变种植制度^[14-15]是解决马铃薯

连作障碍的有效途径。但由于轮作倒茬改良土壤时间较久以及受产业发展限制影响较大, 因此, 研究如何有效平衡施肥对解决马铃薯连作障碍意义更大。

有机肥含有丰富的微量元素及功能菌群, 与化肥配施能够促进作物生长, 提高土壤肥力, 调节土壤微生物区系, 改善土壤微生态环境^[16-17]。闫治斌等研究表明, 施用多功能生态肥能够降低连作马铃薯土壤容重, 提高土壤养分含量和酶活性^[13]; 高欣等研究表明, 增施有机肥能够提高连作花生土壤有机碳各组分含量, 改善土壤微生物环境, 能够有效缓解花生连作障碍^[18]; 胡月华研究表明, 与单施化肥相比, 无机肥有机肥配施能够提高土壤细菌、放线菌生物量, 减少有害真菌生物量^[19]。可见, 化肥与有机肥配施在改良土壤方面具有一定的可行性。目前, 无机肥与有机肥配施解决或缓解马铃薯连作障碍的研究主要集中在产量、土壤养分、酶活性以及土壤微生物方面, 关于土壤团聚体及有机碳方面的研究很少, 而关于土壤调理剂配施生物有机肥/微生物菌肥改良连作马铃薯土壤方面的研究更是

收稿日期: 2022-11-16

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目(编号: 22B210009); 河南省科技攻关项目(编号: 202102110199)。

作者简介: 张建鹏(1980—), 男, 河南开封人, 硕士, 讲师, 从事园艺技术专业教学与遗传育种工作。E-mail: z1122330414@163.com。

鲜有报道^[20-21]。土壤调理剂由多种矿物质原料复配而成,适量施用能够提高土壤孔隙度、减少土壤容重,以及提升土壤蓄水保肥的能力,从而达到改善土壤质量的目的^[22-23]。因此,作者期望通过研究土壤调理剂配施生物有机肥/微生物菌肥对连作马铃薯土壤团聚体组成、有机碳含量累积、微生物区系代谢活性等变化的影响,旨在明确土壤调理剂配施有机肥在改良连作马铃薯土壤方面的可行性,为连作马铃薯的合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2018—2022 年在河南省濮阳市清丰县大屯乡(114°57'E,35°86'N)进行,该区域属于温带大陆性季风气候区,四季分明,光照充足,年均气温为 13.4℃,年均降水量为 520~580 mm,年均日照时长为 2 454 h,年均积温为($\geq 10^{\circ}\text{C}$)4 498℃,无霜期为 215 d。供试土壤为黄潮土二合土质,试验前耕层(0~20 cm)基础理化性状:全氮含量为 0.95 g/kg、有机碳含量为 5.43 g/kg、pH 值为 8.12、容重为 1.34 g/cm³、孔隙度为 0.7%。试验地前茬 2 年均均为马铃薯—小麦连续种植。

1.2 试验设计与方法

试验地为马铃薯—小麦连作种植,马铃薯季试验设对照不施肥(CK)、单施化肥(SF)、化肥减量 30%+生物有机肥(FB)、化肥减量 30%+微生物菌肥(FM)、化肥减量 30%+生物有机肥+土壤调理剂(FBC)、化肥减量 30%+微生物菌肥+土壤调理剂(FMC)6 个处理,重复 3 次,共计 18 个小区,试验处理均随机区组排列。小区面积为 48 m²,试验小区周边保护行为 5 m,马铃薯株行距 40 cm×50 cm。化肥单施用量:纯 N 100 kg/hm²、P₂O₅ 225 kg/hm²、K₂O 425 kg/hm²;生物有机肥用量:1 500 kg/hm²(N、P、K 含量分别为 3.85%、2.12%、1.15%,有机质含量为 28.62%,有效活菌数 ≥ 0.2 亿 CFU/g);微生物菌肥用量为 1 200 kg/hm²(N、P、K 含量分别为 12.26%、4.39%、8.26%,有机质含量为 25.32%,有效活菌数 ≥ 1.0 亿 CFU/g);土壤调理剂用量为 75 kg/hm²(含硫酸亚铁、氨基酸粉剂、十二烷基聚氧乙烯醚硫酸钠等成分)。供试马铃薯品种:中薯 5 号(中国农业科学院蔬菜花卉所提供)。马铃薯生育期 8—11 月。70%氮肥以及其他类别肥料作为基肥在整地前施入,30%氮肥作为

追肥在盛花期施入。小麦季不同处理施肥量均一致,种植密度、施肥模式、田间管理措施等均不做特殊处理,按照当地农民种植习惯进行。

1.3 样品采集与项目测定

2022 年 6 月,通过五点取样法利用螺旋土钻采集 0~20 cm 处土壤。通过冰盒带回实验室后,土壤样品分成 2 份,1 份自然阴干,用于土壤团聚体、有机碳含量的测定;另 1 份于 -40℃ 保存,用于土壤微生物的测定。土壤容重、孔隙度利用环刀采集 0~20 cm 处土壤进行测定。2018—2021 年间,每年均采集土壤样品进行有机碳含量的测定。

土壤团聚体测定采用干筛法。具体方法:称取一定量的风干土样分别通过 0.053、0.25、0.50、1.00、2.00 mm 的套筛,人工分筛 2~3 min 后,收集各筛面上的土壤团聚体分别称质量,然后进行各粒级团聚体含量计算。土壤有机碳含量采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法^[23]测定;土壤容重、孔隙度均采用环刀法^[24]测定。马铃薯产量测定时,小区产量全部称其质量,然后进行公顷折算。

土壤微生物生物量测定采用磷脂脂肪酸法。称取一定量的新鲜土壤,按照朱芸芸的提取步骤^[25],采用 Agilent 6890N 气相色谱-质谱联用仪进行鉴定分析。

土壤微生物碳源利用能力测定采用 Biolog Eco 板法。按照贾鹏丽等的提纯步骤,将待测液接种于微板孔后,放入 25℃ 培养箱中,每隔 24 h 使用 Biolog 微生物鉴定系统测定 580 nm 处的吸光度 1 次,连续测定 168 h^[26]。平均颜色变化率(AWCD)可用于表示土壤微生物对某种碳源的代谢活性,计算公式如下^[27]:

$$AWCD = \sum (C_i - R) / 31;$$

式中, C_i 为反应孔在 580 nm 处的吸光度; R 为对照孔吸光度。

1.4 数据处理

采用 Excel 2018 进行数据整理与计算,采用 SPSS 19.0 进行处理间的差异显著性分析,采用 Canoco 4.5 进行多元分析与制图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥模式对土壤团聚体组成的影响

连续施肥 4 年后,不同施肥模式能够显著影响土壤团聚体组成(表 1)。与 CK 处理相比,不同施肥处理均能降低粒径 < 0.053 mm 和 0.053 ~

0.250 mm 的团聚体比例,提高粒径 $\geq 0.250 \sim 2.000$ mm 的团聚体比例,而粒径 ≥ 2.000 mm 的团聚体表现出不同的变化。其中,FMC 处理 <0.053 mm、 $\geq 0.053 \sim 0.250$ mm 粒径质量比值较其他处理分别降低 2.87% ~ 18.81%、0.42% ~ 25.34%,均显著低于 CK、SF、FB、FM 处理。FBC 处理 0.250 ~ <2.000 mm 粒径质量比值最高,较其他

处理分别提高 0.26% ~ 9.28%,显著高于 CK 处理。SF 处理 ≥ 2.000 mm 粒径质量比值显著最低,较 CK 处理降低 5.98%;FMC 处理 ≥ 2.000 mm 粒径质量比值最高,较 CK、SF、FB、FM 处理分别显著提高 21.77%、29.52%、22.75% 和 18.28%,而与 FBC 处理相比无显著差异。

表 1 各处理土壤团聚体不同粒级含量的变化

处理	粒径质量比值(%)			
	<0.053 mm	$0.053 \sim <0.250$ mm	$0.250 \sim <2.000$ mm	≥ 2.000 mm
CK	$18.34 \pm 1.02a$	$16.02 \pm 0.86a$	$53.10 \pm 3.49b$	$12.54 \pm 0.61b$
SF	$16.95 \pm 1.16b$	$15.30 \pm 1.12a$	$55.96 \pm 5.21a$	$11.79 \pm 0.19c$
FB	$16.58 \pm 1.34b$	$13.75 \pm 1.07b$	$57.23 \pm 5.49a$	$12.44 \pm 0.47b$
FM	$16.27 \pm 0.97b$	$13.02 \pm 0.75b$	$57.80 \pm 3.10a$	$12.91 \pm 0.50b$
FBC	$15.33 \pm 0.73c$	$12.01 \pm 0.81c$	$58.03 \pm 4.49a$	$14.63 \pm 0.38a$
FMC	$14.89 \pm 0.91c$	$11.96 \pm 1.06c$	$57.88 \pm 2.91a$	$15.27 \pm 0.79a$

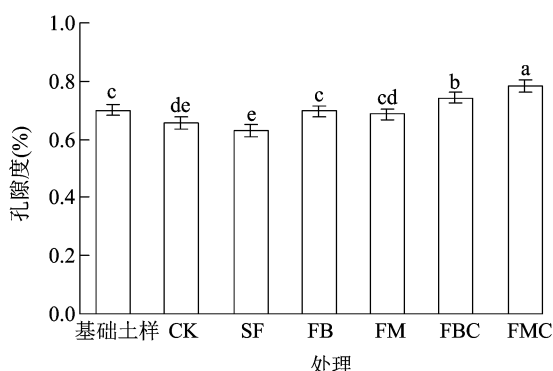
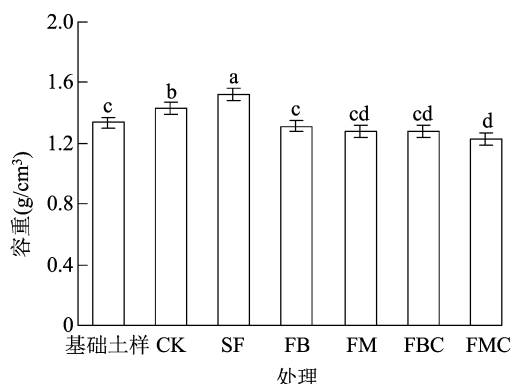
注:表中同列数据后不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著,下表同。

2.2 不同施肥模式对土壤容重和孔隙度的影响

连续施肥 4 年后,不同施肥模式对土壤容重与孔隙度变化有不同的影响(图 1)。与基础土样容重相比,CK、SF 处理土壤容重分别显著提高 6.72%、13.43%,FB、FM、FBC、FMC 处理土壤容重均不同程度降低。其中,FMC 处理较基础土样显著降低 8.2%。而不同施肥处理间土壤容重也均有不同的变化。与 CK 处理相比,SF 处理土壤容重显著提高 6.29%,FB、FM、FBC、FMC 处理分别显著降低 8.39%、10.49%、10.49%、13.99%,FMC 处理土壤

容重最低。

与基础土样孔隙度相比,CK、SF、FM 处理土壤孔隙度降低,FBC、FMC 处理土壤孔隙度提高,FB 处理无明显变化。而不同施肥处理间土壤孔隙度也均有不同的变化。与 CK 处理相比,SF 处理土壤孔隙度降低 4.55%;FB、FM、FBC、FMC 处理分别提高 6.06%、4.55%、12.12%、18.18%,其中,FB、FBC、FMC 处理土壤空隙度较 CK 处理显著提高。FMC 处理土壤孔隙度最高,较其他施肥处理分别显著提高 5.41% ~ 23.81%,SF 处理土壤孔隙度最低。



图柱上不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)。图 3 同

图 1 各处理土壤容重及孔隙度的变化

2.3 不同施肥模式对土壤有机碳含量的影响

由图 2 可知,CK、SF 处理土壤有机碳含量随着施肥年限的增加整体呈逐渐降低的趋势,而 FB、FM、FBC、FMC 处理土壤有机碳含量呈波动性整体

上升趋势。连续施肥 4 年后,FMC 处理 2022 年土壤有机碳含量较 2018 年有明显积累,且显著高于其他处理。FMC 处理 2022 年土壤有机碳含量较 2018 年增加 4.36%,积累量明显高于 FB(0.71%)、FM

(1.23%)、FBC(2.09%)。而对比2022年不同施肥处理可知,FMC处理土壤有机碳含量最高,较其他处理分别提高6.32%~39.15%,FB、FM、FBC处理土壤有机碳含量次之,均显著高于SF、CK处理,CK处理土壤有机碳含量显著最低。

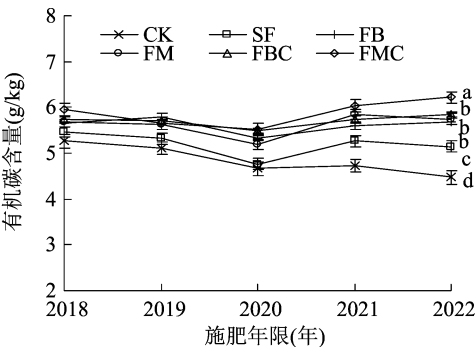


图2 各处理不同施肥年限下土壤有机碳含量的变化

2.4 不同施肥模式对不同施肥年限下马铃薯产量的影响

不同施肥处理马铃薯产量随着施肥时间的延长表现出明显的差异。施肥1年时(2018年),与CK处理相比,不同施肥处理马铃薯产量显著提高14.71~21.96%。在不同施肥处理对比中可知,SF处理马铃薯产量最高,较FB处理显著提高6.32%,与FM、FBC、FMC相比均无显著性差异。连续不同施肥4年后(2022年),各处理马铃薯产量与2018年相比均表现出明显差异。其中CK、SF、FB、FM处理马铃薯产量分别下降38.61%、22.52%、4.89%、1.14%,CK处理马铃薯产量下降最多,其次是SF处理,而FBC、FMC处理马铃薯产量分别提高1.60%、10.44%。而在2022年不同施肥处理对比中可知,FMC处理马铃薯产量最高,较其他处理分别显著提高12.27%~116.19%(图3)。

2.5 不同施肥模式对土壤微生物生物量的影响

连续不同施肥4年后,各处理土壤微生物生物量表现出显著差异(表2)。与CK处理相比,SF处

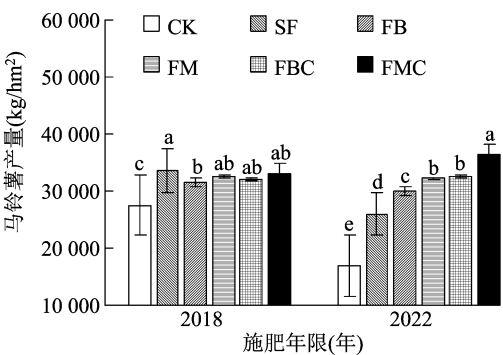


图3 各处理不同施肥年限下马铃薯产量的变化

理能够提高土壤真菌、放线菌生物量以及革兰氏阳性菌/阴性菌比值,降低土壤细菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌生物量以及细菌/真菌比值。而FB、FM、FBC、FMC处理能够提高土壤细菌、放线菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌生物量以及革兰氏阳性菌/阴性菌、细菌/真菌比值。在不同施肥处理对比中可知,FMC处理土壤细菌、放线菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌生物量以及革兰氏阳性菌/阴性菌、细菌/真菌比值均最高,较其他施肥处理分别提高4.70%~40.82%、6.04%~17.98%、6.24%~52.00%、3.39%~33.54%、4.00%~14.71%和11.06%~94.12%。其中,土壤细菌、放线菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌生物量以及革兰氏阳性菌/阴性菌、细菌/真菌比值均显著高于SF、FB、FM处理。土壤真菌生物量较其他施肥处理分别显著降低5.56%~27.50%。SF处理土壤真菌生物量显著高于其他处理。

2.6 不同施肥模式对土壤微生物碳源利用能力的影响

由表3可知,不同施肥处理土壤微生物对各类碳源的利用能力有明显差异。与CK处理相比,各施肥处理土壤微生物均能够提高对糖类、酚类化合物的利用能力,降低对胺类化合物的利用能力,而对羧酸类、氨基酸类、聚合物类化合物的利用能力

表2 各处理土壤微生物生物量的变化

处理	细菌 (nmol/L)	真菌 (nmol/L)	放线菌 (nmol/L)	革兰氏阳性菌 (nmol/L)	革兰氏阴性菌 (nmol/L)	阳性菌/阴性菌 比值	细菌/真菌比值
CK	8.81 ± 0.37d	6.31 ± 0.25b	5.48 ± 0.27d	3.49 ± 0.34e	5.32 ± 0.10c	0.66 ± 0.06e	1.40 ± 0.06e
SF	8.06 ± 0.26e	6.80 ± 0.12a	5.95 ± 0.16c	3.25 ± 0.34f	4.80 ± 0.43d	0.68 ± 0.13de	1.19 ± 0.05f
FB	9.49 ± 0.38c	5.74 ± 0.25c	6.31 ± 0.32b	3.93 ± 0.08d	5.55 ± 0.30c	0.71 ± 0.02cd	1.65 ± 0.07d
FM	10.34 ± 0.26b	5.34 ± 0.37d	6.60 ± 0.21b	4.29 ± 0.30c	6.05 ± 0.50b	0.72 ± 0.10bc	1.94 ± 0.11c
FBC	10.84 ± 0.20ab	5.22 ± 0.26d	6.62 ± 0.22b	4.65 ± 0.21b	6.20 ± 0.32ab	0.75 ± 0.07ab	2.08 ± 0.08b
FMC	11.35 ± 0.64a	4.93 ± 0.29e	7.02 ± 0.13a	4.94 ± 0.17a	6.41 ± 0.79a	0.78 ± 0.12a	2.31 ± 0.27a

表现出不同的变化。其中,FMC 处理土壤微生物对糖类、羧酸类、氨基酸类、酚类化合物的利用能力最强,较 CK 处理分别显著提高 82.93%、15.07%、28.89%、48.48%,除与 FM、FBC 处理对羧酸类化合物的利用能力无显著差异外,均显著高于其他处理

指标。对胺类化合物的利用能力最低,较 CK 处理显著降低 41.18%;FB 处理土壤微生物对聚合物类化合物的利用能力最强,较 CK 处理提高 4.84%,显著高于 SF、FM、FBC 处理,而与 CK、FMC 处理相比无显著差异。

表 3 各处理土壤微生物碳源利用能力的差异(AWCD 值)

处理	糖类	羧酸类	氨基酸类	聚合物类	酚类	胺类
CK	0.41 ± 0.05f	0.73 ± 0.04c	0.90 ± 0.05d	0.62 ± 0.03ab	0.33 ± 0.02e	0.51 ± 0.05a
SF	0.57 ± 0.04e	0.67 ± 0.04d	0.73 ± 0.13e	0.54 ± 0.07c	0.38 ± 0.04d	0.47 ± 0.09b
FB	0.63 ± 0.07d	0.79 ± 0.03b	0.94 ± 0.20cd	0.65 ± 0.06a	0.41 ± 0.06c	0.44 ± 0.04c
FM	0.67 ± 0.03c	0.83 ± 0.06a	0.97 ± 0.10c	0.59 ± 0.09b	0.45 ± 0.04b	0.41 ± 0.05d
FBC	0.71 ± 0.05b	0.81 ± 0.03ab	1.06 ± 0.12b	0.61 ± 0.09b	0.46 ± 0.05b	0.33 ± 0.08e
FMC	0.75 ± 0.05a	0.84 ± 0.08a	1.16 ± 0.14a	0.62 ± 0.04ab	0.49 ± 0.08a	0.30 ± 0.07f

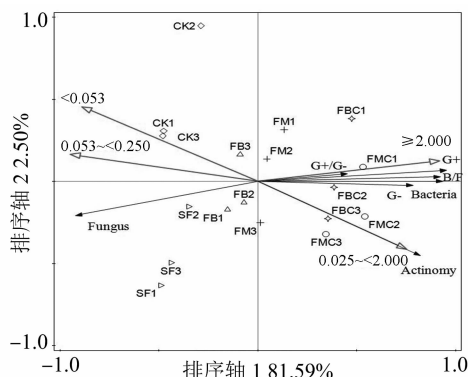
2.7 土壤微生物区系与土壤团聚体组成的多元分析

为分析土壤微生物群落代谢活性与土壤团聚体间的相关性,利用土壤微生物生物量、碳源利用能力与土壤团聚体组成进行冗余(RDA)分析。结果表明,图 4 能够分别在累积变量 84.09%、66.62% 水平上解释不同施肥模式下土壤微生物生物量、碳源利用能力受土壤团聚体组成影响的变化特征。假设性测验结果表明($\text{pesudo}-F=19.9, P=0.002$; $\text{pesudo}-F=7.5, P=0.002$),土壤微生物代谢活动受土壤团聚体影响是极显著的($P<0.01$)。其中,土壤细菌、放线菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌数量以及革兰氏阳性菌/阴性菌比值、细菌/真菌比值与粒径 0.250 ~ <2.000 mm、≥2.000 mm 团聚体呈正相关,土壤微生物对糖类、羧酸类、氨基酸类、聚合物类、酚类化合物的利用能力也与粒径

0.250 ~ <2.000 mm、≥2.000 mm 团聚体呈正相关,而与粒径 <0.053 mm、0.053 ~ <0.250 mm 团聚体均呈负相关。可见,粒径 0.250 ~ <2.000 mm、≥2.000 mm 团聚体是影响土壤微生物类群以及碳源利用能力的主要因素。RDA 分析结果表明,粒径 ≥2.000 mm 团聚体(73.40%)、0.250 ~ <2.000 mm 团聚体(49.40%)分别是影响土壤微生物生物量、碳源代谢能力的主要驱动因子。由此可知,化肥与生物有机肥/微生物菌肥及土壤调理剂配施不仅有利于大粒径团聚体的形成,对土壤微生物区系及功能稳定性的提高也有显著地影响。

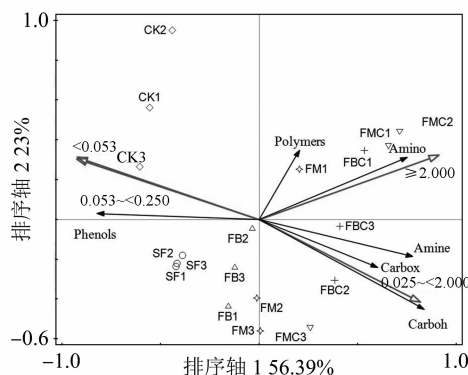
2.8 土壤微生物区系与土壤理化性状的多元分析

为了进一步探究土壤微生物区系及代谢活性受多种因素共同影响,利用土壤微生物生物量、碳源利用能力与土壤理化性状进行 RDA 分析。结果表明,图 5 能够分别在累积变量 77.13%、56.20%



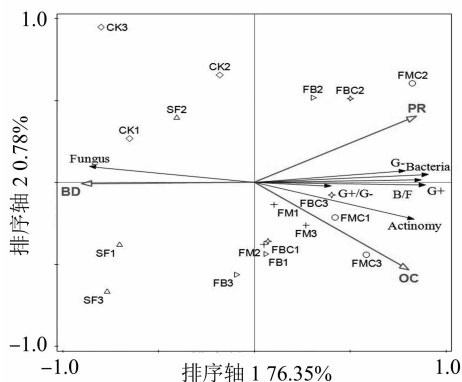
图中<0.053、0.053~<0.250、0.250~<2.000、≥2.000 分别表示<0.053 mm 粒级团聚体、0.053~<0.250 mm 粒级团聚体、0.250~<2.000 mm 粒级团聚体、≥2.000 mm 粒级团聚体; Bacteria、Fungus、Actinomycetes、G+、G-、G+/G-、B/F 分别表示细菌、真菌、放线菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌/阴性菌比值、细菌/真菌比值; Carboh、Carbox、Amino、Polymers、Amine、Phenols 分别表示糖类、羧酸类、氨基酸类、聚合物类、酚类、胺类; CK1、CK2、CK3 表示 CK 处理的 3 个重复,以此类推表示

图 4 土壤微生物生物量、碳源利用能力与土壤团聚体组成的 RDA 分析



水平上解释不同施肥模式下土壤微生物生物量、碳源利用能力受土壤理化性状影响的变化特征。其中,土壤细菌、放线菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌数量以及革兰氏阳性菌/阴性菌比值、细菌/真菌比值与土壤容重、有机碳含量呈正相关,与土壤空隙度呈负相关。而土壤微生物对糖类、羧酸类、氨基酸类、酚类化合物的利用能力与土壤容重、有机碳含量呈正相关,与土壤孔隙度呈负相关。可见土壤容重、有机碳是影响土壤微生物主要类群以及碳

源利用能力的主要因素。RDA 分析结果表明,土壤容重(61.80%)、有机碳含量(39.60%)分别是影响土壤微生物生物量、碳源代谢能力的主要驱动因子。各处理点空间位置较为分散,说明土壤微生物生物量、碳源代谢能力对不同施肥模式会产生不同的响应。可见,化肥与微生物菌肥及土壤调理剂配施,不仅有利于土壤有机碳的累积,可能为土壤微生物代谢活动提供充足的能量及良好的生态环境。

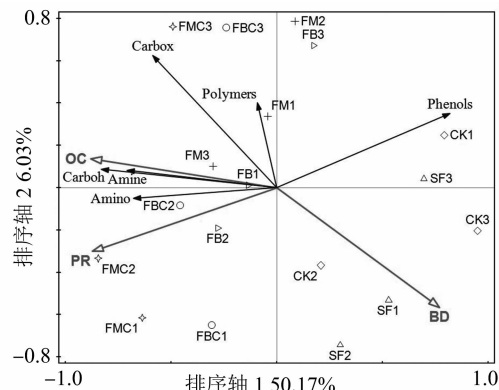


OC、BD、PR 分别表示有机碳含量、容重、孔隙度;图中其他字母及图标均与图 4 中注释相同

图5 土壤微生物生物量、碳源利用能力与土壤理化性状的 RDA 分析

3 结论与讨论

土壤团聚体稳定机制复杂,不仅受自然因素影响,还受土壤有机碳含量、微生物代谢活性等其他因素的影响^[28]。其中,土壤有机碳是土壤团聚体形成过程中的主要胶结物质,而土壤团聚体又能影响着土壤有机碳的转化与分解^[29-30]。有研究表明,增施有机肥能够通过自身腐解过程产生大量胶结物质,促进团聚体形成,从而影响土壤有机碳的累积^[31];也有研究表明,合理施用土壤调理剂能够促进土壤团聚体形成,增加孔隙度,提高土壤肥力^[32]。本研究结果表明,与不施肥或单施化肥相比,化肥减量配施有机肥能够促进粒径较大团聚体的形成,增加土壤有机碳含量的累积,提高土壤孔隙度,降低土壤容重。这与大多数人的研究结果^[33-35]较为一致。而在配施有机肥所有处理对比中可知,化肥减量配施微生物菌肥和土壤调理剂处理改良土壤物理结构效果更加明显。分析认为,相比于生物有机肥,微生物菌肥能够通过自身携带的功能菌群提高土壤微生物代谢活性,增加微生物代谢产物,有利于促进土壤大粒径团聚体的形成^[28]。而土壤调理剂通过自身膨大、分散、黏着性等特点,提高土壤



空隙度,降低土壤容重^[36],能够为土壤微生物提供良好的生存环境,有利于大颗粒团聚体的形成,从而提高土壤有机碳的累积。由此可知,化肥减量配施微生物菌肥和土壤调理剂能够改善土壤物理结构,提升土壤质量,促进马铃薯生长发育,提高马铃薯产量。

土壤微生物不仅在土壤养分转化和循环的过程中发挥重要作用,还能够以自身代谢活性促进土壤有机碳的转化与形成^[37]。本研究结果表明,化肥减量配施微生物菌肥和土壤调理剂处理能够提高土壤细菌、放线菌生物量以及细菌/真菌比值、革兰氏阳性菌/革兰氏阴性菌比值,降低真菌生物量,提高土壤微生物对糖类、羧酸类、氨基酸类、酚类化合物的利用能力。分析认为,土壤调理剂及微生物菌肥配施能够提高土壤孔隙度,降低土壤容重,改善土壤微生态环境,从而提高某类微生物的代谢水平。而对各类碳源利用能力的差异有可能是外源有机物的施入,促进了以某类碳源为主的微生物代谢活性。土壤微生物代谢活性的提高,反过来作用于土壤团聚体与土壤有机碳的形成。RDA 分析结果表明,土壤大粒径团聚体、有机碳含量、容重均是影响土壤微生物群落、碳源代谢能力的主要驱动因

子。由此可知,化肥减量与生物有机肥/微生物菌肥及土壤调理剂配施不仅有利于大粒径团聚体形成与有机碳累积,还能够为土壤微生物代谢活动提供充足的能量及良好的生存环境。

与单施化肥或不施肥相比,化肥减量与有机肥配施能够促进大粒径团聚体形成与有机碳累积,提高土壤空隙度,降低土壤容重,提高马铃薯产量。其中,化肥减量与微生物菌肥及土壤调理剂配施处理表现最优;与其他处理相比,化肥减量配施微生物菌肥和土壤调理剂处理能够提高土壤细菌、放线菌生物量以及细菌/真菌比值、革兰氏阳性菌/革兰氏阴性菌比值,降低真菌生物量,提高土壤微生物对糖类、羧酸类、氨基酸类、酚类化合物的利用能力;RDA 分析表明,土壤微生物代谢活动受多种因子共同影响,其中土壤大粒径团聚体、有机碳含量、容重是主要驱动因子;由此可知,化肥减量与微生物菌肥及土壤调理剂配施对改善土壤物理结构,促进有机碳累积,提高土壤微生物活性具有较好的效果。

参考文献:

- [1] 陈焕丽, 张晓静, 吴焕章, 等. 河南省马铃薯生产现状及优势品种推荐[J]. 长江蔬菜, 2019(9): 12–16.
- [2] 田甲春, 胡新元, 田世龙, 等. 19 个品种马铃薯营养成分分析[J]. 营养学报, 2017, 39(1): 102–104.
- [3] 吴焕章, 陈焕丽, 张晓静, 等. 2021 年河南省马铃薯产业回顾、存在问题及发展建议[C]//马铃薯产业与种业创新(2022), 2022: 45–48.
- [4] 侯 乾, 王万兴, 李广存, 等. 马铃薯连作障碍研究进展[J]. 作物杂志, 2019, 35(6): 1–7.
- [5] 柳玲玲, 苟久兰, 何佳芳, 等. 生物有机肥对连作马铃薯及土壤生化性状的影响[J]. 土壤, 2017, 49(4): 706–711.
- [6] 谭雪莲, 郭天文, 刘高远. 马铃薯连作土壤微生物特性与土传病原菌的相互关系[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(8): 30–35.
- [7] 孙 权, 陈 茹, 宋乃平, 等. 宁南黄土地陵区马铃薯连作土壤养分、酶活性和微生物区系的演变[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6): 208–212.
- [8] 刘拴成. 有机肥与无机肥配施对马铃薯生长发育及产质量的影响[J]. 河南农业科学, 2020, 49(3): 32–39.
- [9] 李春越, 郝亚辉, 薛英龙, 等. 长期施肥对黄土旱塬农田土壤微生物量碳、氮、磷的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(8): 1783–1791.
- [10] 温延臣, 李燕青, 袁 亮, 等. 长期不同施肥制度土壤肥力特征综合评价方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 91–99.
- [11] 毛霞丽, 陆扣萍, 何丽芝, 等. 长期施肥对浙江稻田土壤团聚体及其有机碳分布的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 828–838.
- [12] 谢奎忠, 孙小花, 罗爱花, 等. 基施锌肥对长期连作马铃薯抗病性相关酶活性、土传病害和产量的影响[J]. 作物杂志, 2022, 38(4): 154–159.
- [13] 闫治斌, 王 学, 马明帮, 等. 多功能生态肥对连作马铃薯土壤性质及其产量和效益的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(5): 121–128.
- [14] 马 琨, 杨桂丽, 马 玲, 等. 间作栽培对连作马铃薯根际土壤微生物群落的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(10): 2987–2995.
- [15] 徐雪凤, 李朝周, 张俊莲. 轮作油菜对马铃薯生长发育及抗性生理指标的影响[J]. 土壤, 2017, 49(1): 83–89.
- [16] 雷金银, 何进勤, 周丽娜, 等. 生物培肥及 AMF 对马铃薯连作土壤微生物特征及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(4): 90–94.
- [17] 张立超, 何昌福, 张文明, 等. 不同施肥处理对马铃薯土壤有机质含量及微生物区系的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(2): 27–33.
- [18] 高 欣, 赵雪淞, 赵风艳, 等. 化肥有机替代对连作花生田土壤有机碳和微生物群落的影响[J]. 生态学杂志, 2023, 42(1): 99–107.
- [19] 胡月华. 化肥减量与生物有机肥配施对土壤质量变化及马铃薯产量与品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(19): 204–210.
- [20] 韩亚楠, 高中强, 杨元军, 等. 减量配施腐殖酸肥对连作马铃薯及土壤的影响[J]. 中国马铃薯, 2021, 35(1): 30–37.
- [21] 赵雪淞, 宋王芳, 杨晨曦, 等. 膨润土对花生连作根际土壤肥力和作物产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(3): 63–68.
- [22] 靳辉勇, 黎 娟, 朱 益, 等. 土壤调理剂对烤烟根系活力及根际土壤微生物碳代谢特征的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(1): 158–165.
- [23] 陈源泉, 隋 鹏, 严玲玲, 等. 有机物料还田对华北小麦玉米两熟农田土壤有机碳及其组分的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(增刊2): 94–102.
- [24] 王艳丽. 环刀法测定土壤田间持水量实验结果分析[J]. 地下水, 2016, 38(2): 55–57.
- [25] 朱芸芸. 湿地植物根际微生物群落结构及其对土壤磷形态转化的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- [26] 贾鹏丽, 冯海艳, 李 森. 东北黑土区不同土地利用方式下农田土壤微生物多样性[J]. 农业工程学报, 2020, 36(20): 171–178.
- [27] 李 猛, 张恩平, 张淑红, 等. 长期不同施肥设施菜地土壤酶活性与微生物碳源利用特征比较[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 44–53.
- [28] 王西和, 杨金钰, 王彦平, 等. 长期施肥措施下灰漠土有机碳及团聚体稳定性特征[J]. 中国土壤与肥料, 2021(6): 1–8.
- [29] 刘 哲, 韩霁昌, 孙增慧, 等. 外源新碳对红壤团聚体及有机碳分布和稳定性的影响[J]. 环境科学学报, 2017, 37(6): 2351–2359.
- [30] 李江涛, 钟晓兰, 赵其国. 畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(10): 2837–2845.
- [31] 郭阳阳. 锌与有机物料配施对土壤团聚化及有机碳分布的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [32] 郭永忠, 景春梅, 王 峰, 等. BGA 土壤调理剂对土壤结构及养分的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(12): 87–90.

杨宏伟,王小利,龙大勇,等. 秸秆和生物炭还田对稻田土壤有机碳及其矿化的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(11):226-232.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.11.032

秸秆和生物炭还田对稻田土壤有机碳及其矿化的影响

杨宏伟¹,王小利¹,龙大勇¹,段建军²,梅婷婷¹,徐彬¹,蒙姝熙¹,卢清涛¹

(1. 贵州大学农学院,贵州贵阳 550025; 2. 贵州大学烟草学院/贵州省烟草品质研究重点实验室,贵州贵阳 550025)

摘要:通过对稻田土壤有机碳矿化特征及其活性组分的研究,为提高贵州黄壤稻田土壤固碳能力提供理论依据。设置 4 个处理:不施肥(CK)、单施化肥(NPK)、秸秆配施化肥(NPKS)和生物炭配施化肥(NPKB),结合室内矿化试验对土壤碳氮比(C/N)、活性有机碳(AOC)含量、碳库管理指数(CPMI)和有机碳矿化进行研究。结果表明,与 NPK 处理相比,NPKB 处理 SOC 含量和 C/N 分别显著提高 9.10%、23.10%,NPKS 处理 TN 含量最高,与 CK 处理相比显著提高 19.39%。NPKS 处理下,土壤易氧化有机碳(ROC)、可溶性有机碳(DOC)和微生物量碳(MBC)含量均最高,分别为 5.88 g/kg、96.15 mg/kg 和 334.09 mg/kg。与 NPK 处理相比,NPKB 处理显著增加了土壤稳态碳(SC)含量、碳库指数(CPI)和 CPMI,对碳库活度(A)和碳库活度指数(AI)无显著影响,NPKS 处理则显著增加了 A、AI 和 CPMI。在培养期内,SOC 矿化速率在第 1 天处于最大值,前期(第 1~6 天)大幅下降,后期(第 6~45 天)缓慢下降;第 45 天时,SOC 累积矿化量在 2.14~2.82 g/kg 之间,而 SOC 累积矿化率在 11.01%~15.51%之间,均以 NPKB 处理最低。SOC 累积矿化量与 MBC 含量、ROC/SOC、A 和 AI 呈显著正相关关系,与 TN 含量、DOC/SOC 和 MBC/SOC 呈极显著正相关关系,与 C/N 呈极显著负相关关系。综上所述,秸秆与化肥配施,显著提高了土壤有机碳含量及其矿化程度,有机碳的稳定性下降;生物炭与化肥配施则对土壤的有机碳矿化具有显著的抑制作用,对土壤的固碳培肥起到积极作用。

关键词:水稻秸秆;生物炭;活性有机碳;碳库管理指数;有机碳矿化

中图分类号:S151.9+3;S511.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)11-0226-07

有机碳(SOC)是土壤碳库中最为活跃的一种物质,它对土壤的质量和肥力有着重要的影响,其矿化是土壤碳平衡、养分循环的关键过程,同时也是主要的温室气体排放源,研究其在农田中的含量变化和矿化特征有助于实现作物增产和稻田固碳减排的目标^[1-3]。活性有机碳(AOC)是由土壤中活性高、易矿化且能快速周转的一类有机碳组成的,尽管活性有机碳在土壤有机碳中占比较小,但反应

灵敏,能够对土壤碳库变化迅速作出响应,对研究土壤肥力概况有重要意义^[4-6]。碳库管理指数(CPMI)通过土壤碳库与碳库活度来反映不同施肥方式下土壤有机碳含量和组分的变化,CPMI 越高,相应的栽培措施对土壤的培肥作用就越大,可以反映出土壤的肥力和品质^[7-8]。

过量施用肥料使得土壤酸化和养分流失,间接导致土壤质量严重下降^[9]。最新数据显示,我国秸秆资源产量约 8.55 亿 t,有超过半数的光合作用产物储存于秸秆中,包括大量的有机碳和氮、磷、钾等养分,其随意丢弃或就地焚烧,既会造成资源的浪费,也会对生态产生危害^[10-11]。秸秆在微生物作用下转化为腐殖质,提高了土壤中有机的含量,并为农作物的生长提供营养,秸秆经高温热解成生物炭还田被认为是增加土壤碳固存以及减少温室气

收稿日期:2022-08-26

基金项目:国家自然科学基金(编号:31860160);贵州大学培育项目(编号:贵大培育[2019]12号)。

作者简介:杨宏伟(1998—),男,贵州六盘水人,硕士研究生,主要从事稻田土壤培肥研究。E-mail:2237341986@qq.com。

通信作者:王小利,博士,教授,主要从事土壤肥力与作物施肥研究。E-mail:xlwang@gzu.edu.cn。

[33] 赖金平,姚锋先,徐丽红,等. 有机液肥对赣南脐橙园土壤团聚体及其有机碳分布的影响[J]. 中国土壤与肥料,2022(6):16-24.

[34] 王伟鹏,张华. 长期施肥对华北农田褐土团聚体微结构与稳定性的影响[J]. 农业工程学报,2022,38(10):68-74.

[35] 张露,孟婷婷,胡雅,等. 不同培肥方式对沙质土地区次生林地土壤团聚体组成及稳定性的影响[J]. 干旱区研究,2021,

38(4):973-979.

[36] 秦萍,张俊华,孙兆军,等. 土壤结构改良剂对重度碱化盐土的改良效果[J]. 土壤通报,2019,50(2):414-421.

[37] 武晓森,杜广红,穆春雷,等. 不同施肥处理对农田土壤微生物区系和功能的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(1):99-109.