

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.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.19.031

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

胡月华

(商丘职业技术学院, 河南商丘 476100)

摘要:为揭示化肥减量与生物有机肥配施对土壤质量变化及马铃薯生长发育的影响规律, 2019—2021 年, 通过田间定位试验, 利用生理生化和磷脂脂肪酸(PLFAs)等技术手段, 设置对照不施肥(CK)、单施化肥(T1)、单施生物有机肥(T2)、80% 化肥 + 20% 生物有机肥(T3)、60% 化肥 + 40% 生物有机肥(T4) 5 个处理, 研究化肥减量与不同比例生物有机肥配施对土壤养分、酶活性、微生物群落结构以及马铃薯产量与品质的影响。结果表明: 施肥处理较 CK 提高了土壤养分含量、酶活性, 改变了土壤微生物群落结构, 提高了马铃薯产量、品质及商品薯率。与 T1、T2 处理相比, T4 处理土壤全氮含量分别显著提高 5.56%、11.77%, 碱解氮含量分别显著提高 6.37%、12.29%; T4 处理土壤脲酶活性分别显著提高 20.69%、5.42%, 过氧化氢酶活性分别显著提高 28.81%、15.15%; T3 处理土壤蔗糖酶活性分别显著提高 41.40%、5.39%。化肥减量和生物有机肥配施处理显著提高了土壤细菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌生物量以及细菌/真菌值, 显著降低了真菌生物量; 提高了薯块粗蛋白、淀粉、维生素 C、还原糖含量以及鲜薯产量和商品薯率, 其中 T4 处理淀粉含量显著($P < 0.05$)高于 T3 处理, 而薯块粗蛋白、维生素 C、还原糖含量、鲜薯产量及商品薯率与 T3 处理相比均差异不显著。相关性分析表明, 马铃薯产量、品质以及土壤微生物群落结构的变化受多种环境因子共同制约。由此可知, 化肥减量与有机肥配施能够提升土壤养分质量, 且能够提高鲜薯产量, 改善鲜薯品质, 其中 60% 化肥 + 40% 生物有机肥组合效果优于 80% 化肥 + 20% 生物有机肥。

关键词:化肥减量; 生物有机肥; 土壤养分; 酶活性; 微生物; 产量; 品质

中图分类号:S158.3; S532.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)19-0204-07

马铃薯是我国粮、蔬兼用作物, 因产量高、适应性广、营养丰富等特点被广泛接受^[1-2]。近年来, 随着马铃薯主粮化政策的推进, 马铃薯产业快速发展, 需求逐渐增加^[3-4]。种植户在耕地面积不变的情况下, 为追求马铃薯早上市、早售卖, 不仅选择早熟品种, 还滥用化肥农药, 造成马铃薯产量品质下降、肥料利用率降低、土壤退化、土壤环境污染严重等诸多问题^[5-8]。而有研究表明, 过量使用化肥不仅会使得马铃薯病虫害频繁发生, 还有可能因药害作用造成产量下降、品质降低等状况^[9]。因此, 如何有效解决滥施、乱施化肥对保障马铃薯产业健康发展具有重要意义。而有研究表明, 合理的施肥措施能够有效提高土壤养分质量, 改善土壤微生态环境^[10]。生物有机肥具有速效、长效和改良土壤

等作用, 因对环境友好、绿色安全等特点被广泛关注^[11]。姜莉莉等研究表明, 与常规施肥处理相比, 施用生物有机肥处理的土壤速效磷、速效钾和有机质含量分别显著提高 147.0%、38.8%、35.6%, 且显著提高了番茄果实的糖酸比、维生素 C 含量和番茄红素含量^[12]。王俊红等研究表明, 化肥与适宜生物有机肥配施可提高土壤酶活性和土壤养分含量, 且能够有效改善土壤微生物菌群^[13]。宋以玲等研究表明, 减量化肥与生物有机肥配施能够明显改善土壤微生物群落结构, 提高土壤速效养分含量, 同时也可提高作物根系活力, 增强作物抗逆性和光合利用能力^[14]。由此可知, 适宜的施肥措施能够提高土壤养分质量, 改善土壤微生态环境, 对提高作物产量及品质具有一定的促进作用。

目前, 不同生物有机肥对各种作物生长发育及土壤养分变化影响的研究报道有很多, 但关于化肥与不同比例生物有机肥配施对马铃薯→玉米轮作田土壤质量变化与马铃薯生长发育以及它们之间的相关性影响的研究报道并不多, 因此, 笔者期望

收稿日期: 2021-10-24

基金项目: 高职高专国家级示范专业项目(编号: 20080063.3)。

作者简介: 胡月华(1971—), 女, 河南商丘人, 硕士, 副教授, 主要从事农作物栽培与病虫害防治工作。E-mail: sqhuyuehua@126.com。

通过化肥减量与生物有机肥配施对土壤质量变化、马铃薯生长发育影响的研究,探究马铃薯→玉米轮作田不同施肥措施条件下土壤质量变化与马铃薯产量及品质间的相关性,找到合理的施肥模式,以期马铃薯合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2019—2021 年在商丘职业技术学院试验示范基地(39°28'N,116°15'E)进行,该地区海拔约 50 m,年平均气温 14 ℃,无霜期约 210 d,年降水量 500~800 mm,多集中在夏季,全年 0 ℃以上积温 4 500~5 500 ℃·d,夏季炎热潮湿,冬季寒冷干燥,属于典型暖温带半湿润季风气候。供试土壤为黄潮土,土质为壤土。试验地常年为马铃薯→玉米轮作种植,2019 年试验开始前供试土壤基础肥力如下:土壤全氮含量为 0.72 g/kg,全磷含量为 0.86 g/kg,有机质含量为 8.06 g/kg,碱解氮含量为 52.21 mg/kg,速效磷含量为 62.35 mg/kg,速效钾含量为 125.65 mg/kg,pH 值为 8.12。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,设对照不施肥(CK)、单施化肥(T1)、单施生物有机肥(T2)、80%化肥+20%生物有机肥(T3)、60%化肥+40%生物有机肥(T4)5 个处理,重复 3 次,共计 15 个小区,小区面积为 60 m²,走道 1 m,保护行 3 m,马铃薯株行距分别为 40、50 cm。马铃薯施肥量为:化肥(复合肥中 N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 10%、12%、15%),单施用量为 750 kg/hm²;生物有机肥(总养分≥5%,有机质含量≥40%,有效活菌数≥2.0 亿/g),单施用量为 1 200 kg/hm²;不同施肥处理均作为基肥施入,生育期内不追肥。玉米种植密度为 5.25 万株/hm²,玉米季施肥量为复合肥(其中 N、P₂O₅、K₂O 含量均为 15%)750 kg/hm²。玉米供试品种为郑单 958(河南省农业科学院粮食作物研究所选育),生育期为 6 月 18 日至 9 月 28 日;马铃薯供试品种为郑薯 6 号(郑州市蔬菜研究所选育),生育期为 3 月 15 日至 6 月 15 日。试验于 2019 年马铃薯季种植开始,于 2021 年马铃薯季收获结束。2021 年 6 月 15 日马铃薯收获时利用五点取样法采集 0~30 cm 土壤样品,过筛后一部分阴干,用于土壤理化性质的测定;一部分保存在 4 ℃冰箱,用于土壤生物学特性的测定;一部分保存在 -40 ℃冰箱,用于土壤微生物磷脂脂

肪酸(PLFAs)的测定。

1.3 测定方法

1.3.1 土壤养分测定 土壤养分含量参照鲍士旦《土壤农化分析》^[15]进行测定。其中土壤全氮、全磷、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别采用凯氏定氮法、H₂SO₄-HClO₄ 消煮法、重铬酸钾容量-外加加热法、碱解扩散法、0.5 mol/L NaHCO₃ 法、NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定,pH 值用酸度计采用水土比 5:1 法测定。

1.3.2 土壤酶活性测定 土壤酶活性参照关松荫《土壤酶及其研究法》^[16]进行测定。其中土壤脲酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性分别采用苯酚钠-次氯酸钠比色法、高锰酸钾滴定法、磷酸苯二钠比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法测定。

1.3.3 土壤微生物群落测定 土壤微生物群落结构利用磷脂脂肪酸法进行分析测定。称取相当于 5 g 风干土样的新鲜土样,按照李明等的提取步骤^[17]提炼出待测液,然后通过气相色谱仪,调整仪器参数为进样口 250 ℃,柱温 170 ℃,H₂ 流量 40 mL/min (0.4 MPa),氮气(0.4 MPa),色谱柱为 Agilent HP-5MS(30 m×250 μm,0.25 μm),利用脂肪酸图谱微生物鉴定系统分析待测液。

1.3.4 马铃薯产量及品质测定 2021 年马铃薯收获时,每小区内连续选择 10 株马铃薯用于产量测定,并按照马铃薯商品薯分级标准进行分级^[18],计算商品薯率,各重复间取平均值。每小区选择 1 块中等大小、长势均匀的薯块用于马铃薯品质的测定,每个处理重复 3 次,其中干物质率及蛋白质、淀粉、维生素 C、还原糖含量分别采用干质量法、Lowry 法、还原糖测定仪法、2,6-二氯酚靛酚滴定法、分光光度计法^[19-20]测定。

1.4 数据处理与分析

采用 WPS 校园版进行数据统计与计算,采用 SPSS 19.0 与 Canoco 5.0 进行差异显著性比较及相关分析。

2 结果与分析

2.1 化肥减量与有机肥配施对土壤理化性质的影响

土壤养分含量能够一定程度地反映土壤肥力水平,直接或间接地影响作物生长状况^[13]。由表 1 可知,不同施肥处理土壤各养分含量较 CK 处理均有明显的提高,pH 值无显著性变化。而不同施肥处

理间土壤养分含量也表现出不同的变化,其中 T4 处理土壤全氮含量较 T1、T2 处理(单施处理)分别显著提高 5.56%、11.77% ($P<0.05$),碱解氮含量分别显著提高 6.37%、12.29% ($P<0.05$)。T3 处理土壤全磷含量较 T1、T2 处理分别提高 1.15%、4.76%,速效磷含量分别提高 4.11%、14.41%,且

速效磷含量显著高于 T2 处理。T3、T4 处理土壤有机质含量较 T2 处理分别降低 2.75%、1.55%,但差异不显著,T3 与 T4 处理之间差异也不显著。T3、T4 处理土壤速效钾含量较 T1 处理分别显著降低 14.48%、7.98%,其中 T4 处理显著高于 T3 处理。不同施肥处理间土壤 pH 值无显著性变化。

表 1 不同施肥处理下土壤养分含量

处理	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	pH 值
CK	0.64 ± 0.08d	0.79 ± 0.07b	7.95 ± 0.39b	47.62 ± 4.12d	58.96 ± 3.37b	116.62 ± 2.99d	8.14 ± 0.07a
T1	0.72 ± 0.13b	0.87 ± 0.06a	8.08 ± 0.42ab	51.95 ± 2.01b	66.51 ± 2.64ab	149.92 ± 9.52a	8.09 ± 0.02a
T2	0.68 ± 0.11c	0.84 ± 0.04ab	8.38 ± 0.26a	49.21 ± 3.26c	60.52 ± 3.15b	122.36 ± 3.42cd	8.12 ± 0.03a
T3	0.72 ± 0.09b	0.88 ± 0.09a	8.15 ± 0.21ab	53.29 ± 1.95ab	69.24 ± 2.63a	128.21 ± 3.36c	8.08 ± 0.05a
T4	0.76 ± 0.05a	0.86 ± 0.05a	8.25 ± 0.19ab	55.26 ± 2.36a	67.16 ± 1.35ab	137.96 ± 6.21b	8.09 ± 0.07a

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 2 至表 4 同。

2.2 化肥减量与有机肥配施对土壤生物学特性的影响

土壤酶活性变化能够反映土壤中各种生物化学反应的强度与方向,也能够迅速反映不同施肥措施对土壤养分含量变化的影响^[21-22]。由表 2 可知,不同施肥处理土壤酶活性较 CK 处理均有明显的提高,除 T1 处理土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶活性与 CK 处理差异不显著外,其他施肥处理土壤酶活性均显著提高($P<0.05$)。而不同施肥处理间土壤酶活性也表现出不同的变化,其中 T4 处理土壤脲酶活性较 T1、T2 处理分别显著提高 20.69%、5.42%,过氧化氢酶活性分别显著提高 28.81%、15.15%,T4 处理土壤过氧化氢酶活性较 T3 处理显著提高 13.43%。土壤碱性磷酸酶活性表现为 T2>T3>T4>T1 处理,处理之间差异达到显著水平。T3 处理土壤蔗糖酶活性较 T1、T2 处理分别显著提高 41.40%、5.39%,但与 T4 处理差异不显著。

表 2 不同施肥处理下土壤酶活性

处理	脲酶活性 (mg/g)	过氧化氢酶 活性(mL/g)	碱性磷酸酶 活性(mg/g)	蔗糖酶活性 (mg/g)
CK	1.37 ± 0.18d	0.57 ± 0.09c	6.39 ± 0.36d	12.21 ± 0.47d
T1	1.45 ± 0.16c	0.59 ± 0.11c	6.62 ± 0.61d	14.25 ± 0.76c
T2	1.66 ± 0.19b	0.66 ± 0.17b	8.76 ± 0.92a	19.12 ± 0.79b
T3	1.69 ± 0.32ab	0.67 ± 0.08b	7.79 ± 0.78b	20.15 ± 1.21a
T4	1.75 ± 0.26a	0.76 ± 0.11a	7.13 ± 0.95c	19.60 ± 0.68ab

2.3 化肥减量与有机肥配施对土壤微生物群落结构的影响

磷脂脂肪酸是土壤活体微生物细胞膜的重要

组分,具有多样性和生物学特异性,常用于土壤微生物群落结构的动态监测^[23-24]。由表 3 可知,不同施肥处理土壤微生物主要类群的 PLFA 含量较 CK 处理有明显的差异,其中 T4 处理细菌生物量、革兰氏阳性菌(G^+)/革兰氏阴性菌(G^-)比值均为最高值,较其他处理分别显著提高 5.88%~63.64%、7.81%~15.00% ($P<0.05$),CK 的细菌生物量最低,但 G^+/G^- 值高于 T1 处理。T3、T4 处理的真菌生物量较 CK 分别显著降低 13.10%、23.21%,且 T4 处理显著低于 T3 处理,而 T1 处理真菌生物量最高,显著高于其他处理。T4 处理细菌/真菌值较其他处理显著提高 19.82%~112.50%,CK 处理细菌/真菌值最低。T3 处理的放线菌生物量较其他处理提高 1.53%~31.84%,显著高于 CK、T1 处理,与 T2、T4 处理均差异不显著。

2.4 化肥减量与有机肥配施对马铃薯品质的影响

由表 4 可知,不同施肥处理马铃薯薯块各品质含量较 CK 均有明显的提高,其中除 T1 处理薯块淀粉含量较 CK 差异不显著外,其他施肥处理薯块品质含量较 CK 均显著提高($P<0.05$)。而不同施肥处理间马铃薯薯块各品质含量也表现出不同的变化,其中 T4 处理薯块粗蛋白、淀粉含量均为最高值,较 T1、T2 处理分别显著提高 5.75%、13.72% 和 17.20%、12.63%,T4 处理薯块粗蛋白含量与 T3 处理无显著性差异,T4 处理淀粉含量较 T3 处理显著提高;T3 处理薯块维生素 C、还原糖含量均为最高值,较其他施肥处理分别提高 4.02%~18.22%、2.03%~37.20%,其中维生素 C、还原糖含量均显

表 3 不同施肥处理下土壤微生物群落结构

处理	细菌生物量 (nmol/g)	革兰氏阳性菌 (G ⁺) 细菌(nmol/g)	革兰氏阴性菌(G ⁻) 细菌(nmol/g)	G ⁺ /G ⁻	真菌生物量 (nmol/g)	细菌/真菌	放线菌生物量 (nmol/g)
CK	4.29 ± 0.46e	1.62 ± 0.79e	2.67 ± 0.35e	0.61 ± 0.09bc	3.36 ± 0.92b	1.28 ± 0.72e	2.01 ± 0.72c
T1	5.21 ± 0.32d	1.95 ± 0.51d	3.26 ± 0.48d	0.60 ± 0.07c	3.59 ± 0.88a	1.45 ± 0.61d	2.36 ± 0.75b
T2	6.31 ± 0.69c	2.47 ± 1.19c	3.84 ± 0.71c	0.64 ± 0.08b	3.11 ± 1.10c	2.03 ± 0.69c	2.54 ± 0.49a
T3	6.63 ± 0.27b	2.59 ± 0.68b	5.64 ± 0.36a	0.64 ± 0.04b	2.92 ± 0.69d	2.27 ± 0.59b	2.65 ± 0.68a
T4	7.02 ± 0.61a	2.86 ± 0.24a	5.33 ± 0.68b	0.69 ± 0.09a	2.58 ± 0.61e	2.72 ± 0.44a	2.61 ± 0.84a

表 4 不同施肥处理下马铃薯品质

处理	粗蛋白含量 (g/kg)	淀粉含量 (g/kg)	维生素 C 含量 (mg/kg)	还原糖含量 (g/kg)
CK	19.26 ± 0.49d	123.96 ± 2.36d	192.16 ± 3.47d	2.52 ± 0.24d
T1	22.42 ± 0.31c	126.24 ± 2.01cd	212.51 ± 5.26c	3.36 ± 0.27b
T2	20.85 ± 0.67b	131.36 ± 1.95c	232.06 ± 2.68b	2.93 ± 0.16c
T3	22.95 ± 0.41ab	140.63 ± 3.92b	251.23 ± 4.69a	4.02 ± 0.26a
T4	23.71 ± 0.68a	147.95 ± 2.78a	241.53 ± 3.21ab	3.94 ± 0.39a

著高于 T1、T2 处理,但与 T4 处理差异不显著。

2.5 化肥减量与有机肥配施对马铃薯产量及商品薯率的影响

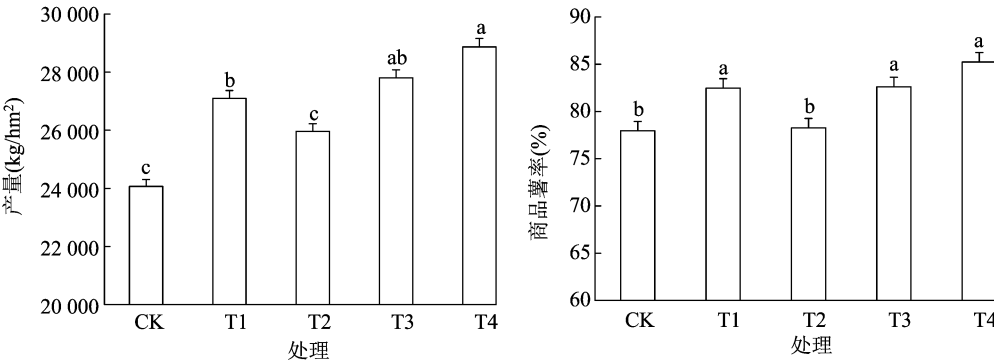
由图 1 可知,不同施肥措施对马铃薯产量及商品薯率有较大的影响,其中 T1、T3、T4 处理鲜薯产量及商品薯率均显著高于 CK ($P < 0.05$),T2 处理鲜薯产量及商品薯率均与 CK 差异不显著。而不同施肥处理间马铃薯产量及商品薯率也表现出不同的变化,其中 T4 处理鲜薯产量最高,较其他施肥处理提高 3.84% ~ 11.19%,显著高于 T1、T2 处理,而 T3 处理鲜薯产量与 T1 处理差异不显著,但显著高于 T2 处理,鲜薯产量总体表现为 T4 处理 > T3 处理 > T1 处理 > T2 处理 > CK;T4 处理商品薯率也为最高值,较其他施肥处理提高 3.17% ~ 8.92%,显著高于 T2 处理,但与 T1、T3 处理均差异不显著,而

T1、T3 处理均显著高于 T2 处理,商品薯率总体表现为 T4 处理 > T3 处理 > T1 处理 > T2 处理 > CK。

2.6 化肥减量与有机肥配施条件下不同因子间的相关性分析

在进行土壤养分含量与马铃薯产量及品质的多元分析时发现,不同施肥措施条件下土壤养分变化与马铃薯产量及品质有紧密相关的联系。由表 5 可知,鲜薯产量与土壤全氮、全磷、碱解氮含量呈极显著正相关($P < 0.01$),与土壤速效磷、速效钾含量呈显著正相关($P < 0.05$);粗蛋白、还原糖含量与土壤全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾含量呈显著正相关($P < 0.05$);淀粉含量与土壤速效钾含量呈显著正相关($P < 0.05$);维生素 C 含量与土壤全氮、全磷、碱解氮、速效钾含量呈显著正相关($P < 0.05$);鲜薯产量和粗蛋白、维生素 C、还原糖、淀粉含量与其他土壤养分指标均呈正相关,与土壤 pH 值均呈负相关,但相关性均不显著。由此可知,在不同施肥措施条件下土壤养分含量的提高有利于马铃薯产量及品质的提升。

在进一步进行土壤环境因子与土壤微生物群落结构的冗余(RNA)分析时发现,图 2 - a、图 2 - b 能够分别在累计变量 58.83%、50.71% 的水平上揭示化肥减量与有机肥配施条件影响下的土壤微生



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

图1 不同施肥处理下马铃薯产量及商品薯率

表 5 土壤养分含量与马铃薯产量及品质的多元分析

类别	相关系数						
	全氮含量	全磷含量	有机质含量	碱解氮含量	速效磷含量	速效钾含量	pH 值
鲜薯产量	0.98 **	0.92 **	0.81	0.94 **	0.92 *	0.85 *	-0.38
粗蛋白含量	0.89 *	0.83 *	0.74	0.87 *	0.85 *	0.86 *	-0.52
淀粉含量	0.70	0.80	0.50	0.76	0.58	0.91 *	-0.74
维生素 C 含量	0.89 *	0.91 *	0.69	0.82 *	0.81	0.97 *	-0.62
还原糖含量	0.86 *	0.86 *	0.73	0.89 *	0.83 *	0.91 *	-0.48

注：*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

物群落变化。图中各处理点位置比较分散,说明不同施肥措施对土壤微生物群落结构产生了不同响应。由图 2-a 可知,土壤细菌、革兰氏阳性菌(G^+)和革兰氏阴性菌(G^-)与土壤全氮、全磷、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾呈正相关关系,与 pH 值呈负相关关系;放线菌与土壤全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾呈正相关关系,与土壤有机质、pH 值呈负相关关系;真菌与有机质呈正相关关系,与其它因子均呈负相关关系。土壤全氮(19.9%)、有机质(14.4%)、速效磷(12.2%)为主要驱动因子,说明土壤全氮、速效磷的摄入有利于土壤细菌、 G^+ 、 G^- 以及放线菌生物量的增加,而土壤有机质的摄入有

利于细菌生物量的增加,但抑制放线菌生物量的增加。

由图 2-b 可知,土壤细菌、 G^+ 、 G^- 以及放线菌生物量与土壤脲酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性呈正相关关系,真菌与土壤脲酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶呈负相关关系;蔗糖酶(43.0%)为主要驱动因子,说明蔗糖酶活性的提高有利于土壤细菌、 G^+ 、 G^- 以及放线菌生物量的增加,抑制真菌生物量的增加。总体上,基于土壤微生物主要类群生物量的排序轴与基于土壤养分及酶活性等环境因子的排序轴之间的相关性($P_1 = 0.030, P_2 = 0.018$)较好。

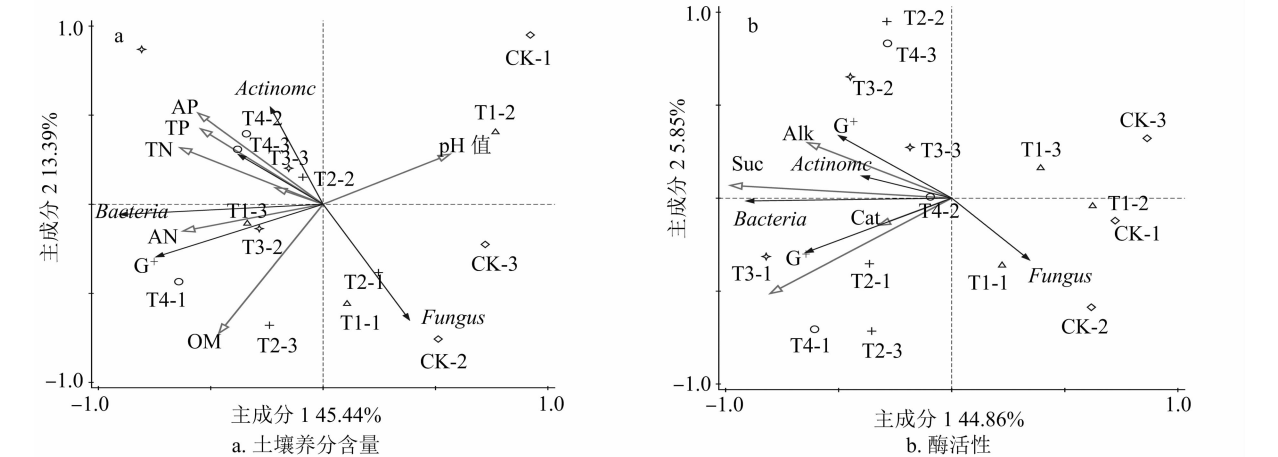


图2 土壤养分含量、酶活性与土壤微生物群落结构间的 RDA 分析

3 讨论

3.1 不同施肥措施对土壤养分含量、酶活性及微生物群落的影响

土壤养分是作物获取养分的主要来源之一,其土壤养分的高低关系着作物能否健康生长或生

存^[25],而土壤酶参与土壤中大多数生物化学反应过程,其土壤酶活性的高低能够及时反映土壤生物活性及生物化学的程度^[26],不同施肥措施会对土壤养分和酶活性变化产生不同的响应。生物有机肥含有丰富的碳源,施入土壤后可供根系周围土壤微生物大量繁殖,发生自生固氮或联合固氮作用,溶解

土壤中难溶化合物,提高养分供应效率,从而促进作物生长发育^[27]。研究表明,合理的施肥措施能够有效提高土壤养分质量。丁维婷等研究表明,生物有机肥替代部分化肥能够提高土壤养分含量,改善土壤生物学特性,同时可以提升肥料利用率,增加经济效益^[28]。本研究表明:与 CK 相比,不同施肥处理提高了土壤养分含量及生物学特性,其中 60% 化肥 + 40% 生物有机肥处理土壤全氮、碱解氮含量以及脲酶、过氧化氢酶活性最高,80% 化肥 + 20% 生物有机肥处理土壤全磷、速效磷含量以及碱性磷酸酶、蔗糖酶活性最高,而与 80% 化肥 + 20% 生物有机肥处理相比,60% 化肥 + 40% 生物有机肥处理土壤全磷、速效钾含量以及过氧化氢酶活性显著提高,而碱性磷酸酶活性显著下降,其他均差异不显著,这与前人研究的结果^[29]较为一致。由此可知,化肥减量与有机肥配施能够有效提高土壤养分含量以及土壤酶活性。

土壤微生物是土壤中物质交换和能量转化的主要驱动者,参与土壤中有机质的分解、腐殖质的形成以及土壤养分转化和循环等过程,是评价土壤肥力的主要指标^[30]。研究表明,合理的施肥措施是调节土壤微生物群落结构和功能多样性的重要途径^[31-32]。本研究表明:与 CK 相比,不同施肥处理提高了土壤细菌、放线菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌生物量,降低了真菌生物量。不同施肥处理间土壤微生物群落结构也发生了较大的变化,其中与单施化肥或生物有机肥处理相比,化肥减量和生物有机肥配施处理显著($P < 0.05$)提高了土壤细菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌生物量以及细菌/真菌值,显著降低了真菌生物量,其中 60% 化肥 + 40% 生物有机肥处理的土壤细菌、革兰氏阳性菌生物量以及细菌/真菌值、 G^+/G^- 值显著高于 80% 化肥 + 20% 生物有机肥处理。由此可知,化肥减量与生物有机肥配施改变了土壤微生物群落结构。结合土壤养分与酶活性变化分析认为,单一施用生物有机肥能够有效提高土壤碳源种类及数量,但生物有机肥释放养分速率慢,在作物生长前期需肥量较大时,不能够及时供给作物吸收利用,使得土壤养分含量变低,进而影响土壤酶活性以及微生物群落结构,而生物有机肥与化肥配施,不仅能够保障前期作物对养分的吸收利用,还能够供给土壤微生物各类碳源,使土壤类型由有害的真菌型向有益的细菌型转变,其中 60% 化肥 + 40% 生物有机肥处理表

现最优。RDA 分析结果表明,土壤微生物群落结构的变化与土壤养分含量、酶活性有紧密相关的联系。

3.2 不同施肥措施对马铃薯产量及品质的影响

合理的秸秆还田与施肥措施不仅能够提升土壤质量,还对作物生长发育具有一定的促进作用^[33-34]。本研究表明:与 CK 相比,施肥能够有效提高薯块品质以及鲜薯产量及商品薯率。而不同施肥处理间土壤微生物群落结构也发生了较大的变化,与单施化肥或生物有机肥处理相比,化肥减量与有机肥配施提高了薯块粗蛋白、淀粉、维生素 C、还原糖含量以及鲜薯产量和商品薯率,其中 60% 化肥 + 40% 生物有机肥处理的淀粉含量显著高于 80% 化肥 + 20% 生物有机肥处理($P < 0.05$),薯块粗蛋白、维生素 C、还原糖含量均差异不显著。而 60% 化肥 + 40% 生物有机肥处理的鲜薯产量及商品薯率均为最高值,但与 80% 化肥和 20% 生物有机肥配施处理也差异不显著,这与前人的研究结果^[35]一致。结合不同施肥处理土壤养分变化分析认为,在作物生长前期需肥较多时,化肥能够及时供给,但多余的养分随着时间的延长大多淋湿浪费掉,反而在作物生长后期满足不了作物对养分的吸收利用,而生物有机肥在前期满足不了作物的需求,影响其生长发育,进而影响作物的产量及品质。化肥减量与生物有机肥配施能够解决这一问题,在满足前期生长对养分需求的同时,也能够保障作物后期养分的供给能力。在马铃薯产量、品质及土壤养分含量的相关性分析中可知,马铃薯产量、品质的提高受多种环境因子共同制约,其中外源有机质及其它养分的摄入不仅有利于土壤养分含量的提高,对促进马铃薯生长发育,提高鲜薯产量及品质具有一定的促进作用。由此可知,不同施肥措施对马铃薯产量及品质有不同的影响。

4 结论

与单施化肥或生物有机肥以及 CK 相比,化肥减量与生物有机肥配施提高了土壤养分含量及酶活性,改变了土壤微生物群落结构,其中 60% 化肥 + 40% 生物有机肥处理的土壤全氮、速效钾含量和过氧化氢酶活性显著高于 80% 化肥 + 20% 生物有机肥处理($P < 0.05$),而碱性磷酸酶活性显著降低,其他均差异不显著;提高了薯块粗蛋白、淀粉、维生素 C、还原糖含量以及鲜薯产量和商品薯率,其中 60% 化肥 + 40% 生物有机肥处理的淀粉含量显

著高于 80% 化肥 + 20% 生物有机肥处理 ($P < 0.05$), 薯块粗蛋白、维生素 C、还原糖含量以及鲜薯产量、商品薯率均差异不显著。相关性分析表明, 鲜薯产量及品质的提高受多种环境因子共同制约; RDA 分析表明, 土壤微生物群落结构的变化与土壤养分含量、酶活性有紧密相关的联系。由此可知, 化肥减量与有机肥配施能够提升土壤养分质量, 且能够提高鲜薯产量, 改善鲜薯品质。

参考文献:

- [1] 钟鑫, 蒋和平, 张忠明. 我国马铃薯主产区比较优势及发展趋势研究[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(2): 1-8.
- [2] 曾凡逵, 许丹, 刘刚. 马铃薯营养综述[J]. 中国马铃薯, 2015, 29(4): 233-243.
- [3] 杨雅伦, 郭燕枝, 孙君茂. 我国马铃薯产业发展现状及未来展望[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(1): 29-36.
- [4] 卢肖平. 马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2015(3): 1-7.
- [5] 吴晓红, 曾路生, 李俊良, 等. 膜下滴灌不同施肥处理对马铃薯产量和品质及肥料利用率的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(5): 193-198.
- [6] 董亮, 张玉凤, 刘莘, 等. 控释肥减量施用对马铃薯产量、品质及土壤硝态氮含量的影响[J]. 江西农业学报, 2012, 24(6): 86-89.
- [7] 闫湘, 金继运, 梁鸣早. 我国主要粮食作物化肥增产效应与肥料利用效率[J]. 土壤, 2017, 49(6): 1067-1077.
- [8] 周宝元, 王新兵, 王志敏, 等. 不同耕作方式下缓释肥对夏玉米产量及氮素利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3): 821-829.
- [9] 孙圣. 微生物肥料和化学缓释肥对马铃薯生长、产量和品质影响的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- [10] 蓝贤瑾, 刘益仁, 侯红乾, 等. 长期有机无机肥配施对红壤性水稻微生物生物量和有机质结构的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(5): 810-819.
- [11] 许景钢, 孙涛, 李嵩. 我国微生物肥料的研发及其在农业生产中的应用[J]. 作物杂志, 2016(1): 1-6.
- [12] 姜莉莉, 王开运, 武玉国, 等. 施用生物有机肥对番茄果实品质及土壤生物学特性的影响[J]. 华北农学报, 2020, 35(6): 141-147.
- [13] 王俊红, 王星琳, 王康, 等. 生物有机肥替代化肥对小麦根际土壤环境的影响[J]. 华北农学报, 2021, 36(4): 155-162.
- [14] 宋以玲, 于建, 陈士更, 等. 化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(1): 352-360.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 8-45.
- [16] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274-323.
- [17] 李明, 李忠佩, 刘明, 等. 不同秸秆生物炭对红壤性水稻土养分及微生物群落结构的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(7): 1361-1369.
- [18] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 马铃薯商品薯分级与检验规程: GB/T 31784—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [19] 马亚君. 微生物菌剂对不同施肥处理马铃薯产量和品质的影响[D]. 临汾: 山西师范大学, 2020.
- [20] 金建新, 何进勤, 黄建成, 等. 宁夏中部干旱带不同灌水量对马铃薯生长、产量和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(5): 935-940.
- [21] 杨旭, 刘海林, 黄艳艳, 等. 有机无机复混肥施用量对热带水稻微生物群落和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(4): 619-629.
- [22] 黄媛媛, 马慧媛, 黄亚丽, 等. 生物有机肥和化肥配施对冬小麦产量及土壤生物指标的影响[J]. 华北农学报, 2019, 34(6): 160-169.
- [23] 赵辉, 周运超, 任启飞. 不同林龄马尾松人工林土壤微生物群落结构和功能多样性演变[J]. 土壤学报, 2020, 57(1): 227-238.
- [24] 吴愉萍. 基于磷脂脂肪酸(PLFA)分析技术的土壤微生物群落结构多样性的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [25] 刘亚军, 李越, 马琨, 等. 马铃薯与蚕豆、芥麦间作对土壤的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(21): 79-83.
- [26] 荣勤雷, 梁国庆, 周卫, 等. 不同有机肥对黄泥田土壤培肥效果及土壤酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1168-1177.
- [27] 曹丹, 宗良纲, 肖峻, 等. 生物肥对有机黄瓜生长及土壤生物学特性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2587-2592.
- [28] 丁维婷, 房静静, 武雪萍, 等. 有机肥替代化肥不同比例对黑土土壤微生物学性质及春麦产量品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(2): 44-52.
- [29] 朱代强. 生物有机肥部分替代化肥对蒜苗生长生理、养分吸收、产量及品质的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [30] 吴凤芝, 王学征. 设施黄瓜连作和轮作中土壤微生物群落多样性的变化及其与产量品质的关系[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2274-2280.
- [31] 陶磊, 褚贵新, 刘涛, 等. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6137-6146.
- [32] 田小明, 李俊华, 王成, 等. 连续 3 年施用生物有机肥对土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响[J]. 土壤, 2014, 46(3): 481-488.
- [33] 张华艳, 牛灵安, 郝晋珉, 等. 秸秆还田配施缓控释肥对土壤养分和作物产量的影响[J]. 土壤通报, 2018, 49(1): 140-149.
- [34] 马南, 陈智文, 张清. 不同类型秸秆还田对土壤有机碳及酶活性的影响综述[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(3): 53-57.
- [35] 吴志丹, 尤志明, 江福英, 等. 配施有机肥对茶园土壤性状及茶叶产质量的影响[J]. 土壤, 2015, 47(5): 874-879.