

有机肥与土壤调理剂对连作甘薯生长发育及土壤肥力的影响

刘亚军¹ 逯昀³ 王文静¹ 胡启国¹ 储凤丽¹ 李志杰²

(¹商丘市农林科学院, 476000, 河南商丘; ²柘城县农业农村局, 476200, 河南柘城; ³商丘职业技术学院, 476000, 河南商丘)

摘要 为明确生物有机肥与土壤调理剂对连作甘薯生长发育及土壤肥力的影响, 2020-2023 年通过田间定位试验, 设置对照不施肥 (CK)、单施化肥 (SF)、单施生物有机肥 (SBF)、50%化肥配施 50%生物有机肥 (FBF)、100%化肥配施土壤调理剂 (FC) 5 个处理, 研究不同施肥条件下甘薯光合特性、抗逆性能力、产量以及土壤养分、酶活性的变化规律。结果表明, 不同施肥处理甘薯叶片相对叶绿素含量 (SPAD 值)、光合速率、抗逆性能力、鲜薯及薯干产量、土壤养分含量和酶活性均优于 CK 处理。不同施肥处理对比中, FBF 处理能够提高叶片 SPAD 值、光合速率、蒸腾速率以及超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性; FC 处理能够提高叶片气孔导度以及过氧化氢酶活性。随着施肥时间延长, 2023 年不同处理鲜薯、薯干产量表现为 FBF>FC>SBF>SF>CK, 其中, FBF 处理与 FC 处理无显著性差异。相关性分析表明, 鲜薯产量及叶片光合特性与土壤酶活性变化具有紧密相关的联系。由此可知, 连续多年施用生物有机肥与土壤调理剂均可提升甘薯光合作用与抗逆性能力, 改善土壤质量, 提高鲜薯和薯干产量。

关键词 有机肥; 土壤调理剂; 甘薯; 生长发育; 土壤肥力

甘薯是我国重要粮食作物, 因其产量高、适应性广和营养丰富等特点被人们广泛接受, 据相关部门统计, 2019 年中国甘薯种植面积约为 $2.38 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 甘薯已经成为我国第五大粮食作物^[1]。近年来, 随着甘薯产业多元化发展, 其需求量逐年增加, 由于多年连续种植, 造成产量下降、品质降低、病虫害频发、土壤肥力及活性下降, 严重影响了甘薯生产价值及经济效益, 连作障碍已经成为制约甘薯产业发展的重要问题^[2]。高志远等^[3]研究表明, 甘薯连作导致根际土壤微生物菌群失衡, 真菌数量增加。许仙菊等^[4]研究表明, 甘薯长期连作会降低土壤 N/P, 提高土壤 N/K 以及 P/K, 导致土壤养分失衡, 破坏土壤微生态体系, 引起病虫害发生。乔月静等^[5]研究表明, 甘薯长期连作会不断恶化土壤微生态环境, 致使病虫害频发, 产量及品质下降。有研究^[6-7]提出, 轮作倒茬是解决甘薯连作障碍的有效途径, 但在耕地面积没有较大变化的前提下, 通过更换耕地来保持或增加甘薯产量会给甘薯生产及产业发展带来诸多不便。因此, 通过研究不同施肥措施提升土壤肥力、促进甘薯生长发育、提高甘薯产量及品质比甘薯轮作倒茬更具有生产意义。

作物生长发育与土壤肥力及活性具有紧密的

联系, 良好的土壤肥力和生态环境是作物安全高效生产的基础^[8]。土壤酶活性是土壤生物活性的重要组成部分, 是土壤物质循环和能量流动的重要物质, 其活性高低能够反映土壤中各种生化反应的强度与方向, 是评价土壤肥力的重要指标^[9-10]。有研究^[11]表明, 土壤酶活性与土壤养分含量具有紧密的联系。

生物有机肥具有速效、长效和改良土壤等特点, 施入土壤中其丰富的碳源物质可供微生物分解与利用, 能够提高微生物代谢活性, 提升土壤活性, 增加土壤有机质, 改善土壤理化性质^[12-13]。土壤调理剂具有多种类型, 主要是通过高效性物质与水的媒介作用提高土壤微生物活性, 促进大粒径团聚体形成, 进而提升土壤通透性, 改善土壤物理结构^[14-15]。有研究^[16]表明, 生物有机肥与土壤调理剂具有改良土壤作用, 能够提高土壤酶活性与养分含量, 提升根系养分吸收与利用能力, 进而促进作物生长发育, 提高作物抗逆性能力。李敏等^[17]研究表明, 化肥与生物有机肥配施能够提升甘薯植株光合作用以及抗逆性能力, 降低蔓薯比值, 提高甘薯产量; 王光飞等^[18]研究表明, 合理配施土壤调理剂能够降低土壤盐分含量, 提高土壤生物学活性, 有效

作者简介: 刘亚军, 主要从事甘薯新品种选育及栽培利用研究, E-mail: liuyajun0812@163.com

李志杰为通信作者, 主要从事作物栽培及农业技术推广与应用研究, E-mail: 2935582035@qq.com

基金项目: 现代农业产业技术体系“国家甘薯产业技术体系”(CARS-10); 中央引导地方(河南)科技发展资金(Z20231811128)

收稿日期: 2024-01-10; 修回日期: 2024-04-01; 网络出版日期: 2024-04-16

缓解土壤连作障碍,进而促进作物生长发育,提高作物产量;李停锋^[19]研究表明,与常规施肥相比,施入土壤调理剂能够提高土壤养分含量,改善土壤生物学性质,促进西瓜生长发育,进而提高其品质。可见,生物有机肥与土壤调理剂在改良土壤连作障碍方面具有一定的研究基础。

目前,生物有机肥在甘薯方面的研究有很多,而土壤调理剂主要应用在设施农业方面,关于甘薯连作障碍方面的研究并不常见^[20-23]。因此,作者通过化肥与生物有机肥、土壤调理剂等配施,研究不同配施条件下土壤肥力、酶活性以及甘薯生长发育的变化规律,探讨生物有机肥和土壤调理剂在甘薯连作田的应用效果,以期甘薯连作田有机肥与土壤调理剂的合理施入提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年 6 月-2023 年 10 月在河南省商丘市梁园区商丘市农林科学院试验示范中心(116°38'E, 39°93'N)进行。该地属于暖温带大陆季风型气候,年日照时长 2200~2400 h,年均气温 14.2~14.6 °C,无霜期 207~214 d,年均降水量 680~760 mm。试验区供试土壤为黄潮土,是黄淮海平原典型土壤。0~20 cm 土壤基础理化性质为碱解氮 47.08 mg/kg、速效磷 55.87 mg/kg、速效钾 146.62 mg/kg、有机质 15.49 g/kg、pH 8.02。

1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,共设 5 个处理,分别为不施肥(CK)、单施化肥(SF)、单施生物有机肥(SBF)、50%化肥配施 50%生物有机肥(FBF)和 100%化肥配施土壤调理剂(FC)。小区面积 80 m²,3 次重复。试验地冬季小麦、夏季甘薯,小麦季不做特殊处理,甘薯季采用不同施肥措施。试验为 4 年定位试验,不同年间各处理措施均相同。SF 处理:复合肥(N:P₂O₅:K₂O=10:10:20) 750 kg/hm²; SBF 处理:生物有机肥(有机质含量≥40%、有效活菌数≥0.5 亿 CFU/g) 1500 kg/hm²; FBF 处理:复合肥 450 kg/hm²、生物有机肥 1500 kg/hm²; FC 处理:复合肥 750 kg/hm²、土壤调理剂(钙镁硅性调理剂,有效活菌数≥0.5 亿 CFU/g) 600 kg/hm²。各处理肥料均作为基肥施入,生育期内不追肥。供试甘薯品种为商薯 21(河南省商丘市农林科学院甘薯研究所),种植密度为 48 000 株/hm²,生育

期为 6 月 15 日-10 月 15 日。供试小麦品种为商麦 167(河南省商丘市农林科学院小麦区试站),播种量为 300 kg/hm²,生育期为 10 月 25 日-次年 6 月 5 日。其他栽培管理措施与当地种植习惯相同。土壤样品于甘薯收获前一周(2023 年 10 月 8 日)采集,通过土钻采用 5 点取样法采集 0~20 cm 土壤样品,带回实验室后分为 2 个部分,一部分保存在 4 °C 冰箱,用于土壤酶活性测定,另一部分自然阴干,用于土壤养分含量测定。

1.3 测定项目与方法

在甘薯生育后期(90 d)每小区选定 10 株调查测定甘薯叶片相对叶绿素含量(SPAD 值)及光合特性。利用 SPAD-502 叶绿素仪测定主茎第 3 叶片 SPAD 值;利用 LI-6400 便携式光合仪测定主茎第 3 叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)。

在甘薯生育后期(90 d)每小区选定 3 株测定叶片抗氧化酶活性和丙二醛(MDA)含量。其中,分别采用氮蓝四唑光化还原法、紫外吸收法、愈创木酚氧化法测定超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性,采用硫代巴比妥酸法^[24]测定 MDA 含量。

甘薯收获时每小区随机选取 3 个样方(3 m×4 m)进行产量测定,取平均值后进行单位面积产量折算。

分别采用碱解扩散法、0.5 mol/L NaHCO₃ 法、醋酸铵浸提火焰光度法、重铬酸钾容量一外加热法、水土比法^[25]测定土壤碱解氮、速效磷、速效钾、有机质含量和 pH;分别采用苯酚钠一次氯酸钠比色法、高锰酸钾滴定法、3,5-二硝基水杨酸比色法、磷酸苯二钠比色法^[26]测定土壤脲酶(Ure)、过氧化氢酶(CAT)、蔗糖酶(Suc)和碱性磷酸酶(Apho)活性。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2018 进行数据整理、计算与作图,采用 SPSS 19.0 软件进行统计和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥措施对甘薯叶片 SPAD 值及光合特性的影响

由表 1 可知,与 CK 处理相比,施肥能够提高叶片 SPAD 值、 P_n 、 G_s 及 T_r ,降低 C_i 。其中,SBF、FBF、FC 处理 SPAD 值、 P_n 、 G_s 及 T_r 均显著提高,

C_i 显著降低。而在不同施肥处理对比中, FBF 处理能够提高叶片 SPAD 值、 P_n 和 T_r , 降低 C_i 。其中, SPAD 值较 SF、FC 处理分别显著提高 9.95%、5.63%, P_n 、 T_r 较 SF 处理分别显著提高 6.43%、8.41%, C_i 较 SF、FC 处理分别显著降低 8.59%、4.08%。FC 处理能够提高叶片 G_s , 其中, 较 SF、SBF 处理分别显著提高 18.42%、9.76%, 而与 FBF 处理相比无显著性差异。由此可见, 不同施肥措施

表 1 不同施肥措施对甘薯叶片 SPAD 值及光合特性的影响
Table 1 Effects of different fertilization measures on SPAD values and photosynthetic characteristics of sweet potato leaves

处理 Treatment	SPAD 值 SPAD value	P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	G_s [$\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	C_i ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]
CK	44.36±3.58d	14.42±0.97c	0.35±0.02d	252.16±13.38a	10.14±0.75b
SF	47.62±2.80c	14.92±0.81bc	0.38±0.01c	241.09±17.51ab	10.58±0.61b
SBF	50.05±3.15ab	15.76±1.16a	0.41±0.03b	226.17±14.08cd	11.24±0.84a
FBF	52.36±1.94a	15.88±1.05a	0.44±0.02a	220.38±14.45d	11.47±0.89a
FC	49.57±2.53bc	15.61±0.89ab	0.45±0.01a	237.33±16.07bc	11.15±0.97a

同列数据中不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$), 下同。
Different lowercase letters in the same column of data indicate significant differences among different treatments ($P<0.05$), the same below.

能够延缓叶片衰老, 提高叶片光合作用能力。
2.2 不同施肥措施对甘薯叶片抗氧化酶活性与 MDA 含量的影响

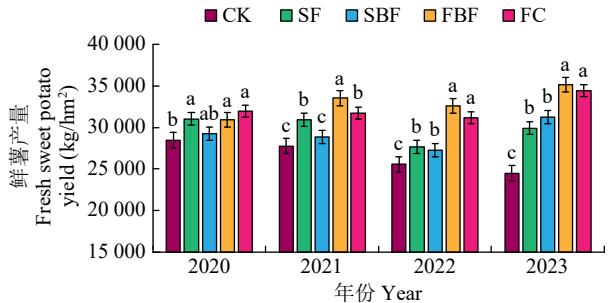
由表 2 可知, 与 CK 处理相比, 施肥能够提高叶片 SOD、POD、CAT 活性, 降低 MDA 含量。除 SF 处理 MDA 含量与 CK 处理相比无显著差异外, 其他指标均差异显著。而在不同施肥处理对比中, FBF 处理能够提高叶片 SOD 和 POD 活性, 降低 MDA 含量。其中, SOD 活性较 SF 处理显著提高 7.47%, POD 活性较 SF、FC 处理分别显著提高 11.64%、5.73%, MDA 含量与其他施肥处理相比无显著性差异。SBF 处理能够提高叶片 CAT 活性, 其中, 较 SF、FC 处理分别显著提高 15.84%、8.95%, 与 FBF 处理相比无显著性差异。由此可见, 不同施肥措施能够延缓叶片衰老, 提高植株抗逆境能力。

表 2 不同施肥措施对甘薯叶片抗氧化酶活性与 MDA 含量的影响
Table 2 Effects of different fertilization measures on antioxidant enzyme activities and MDA contents of sweet potato leaves

处理 Treatment	SOD [$\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$]	CAT [$\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$]	POD [$\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$]	MDA ($\mu\text{mol}/\text{g}$)
CK	144.02±8.69c	122.28±8.60d	189.06±12.31d	1.56±0.09a
SF	159.26±10.43b	134.57±10.08c	199.41±15.67c	1.50±0.07ab
SBF	168.49±12.82a	155.89±8.39a	212.86±15.84ab	1.48±0.12b
FBF	171.16±11.39a	152.13±10.65a	222.63±18.26a	1.46±0.09b
FC	164.49±9.92ab	143.08±9.14b	210.57±14.70b	1.48±0.08b

2.3 不同施肥措施对鲜薯产量的影响
由图 1 可知, 与 CK 处理相比, 不同种植年限下施肥均能明显提高鲜薯产量。其中, 除 2020、2021 年 SBF 处理鲜薯产量与 CK 处理无显著差异外, 其

他处理均显著提高。而在不同施肥处理对比中, 2020 年 (第 1 年), FC 处理鲜薯产量最高, 较其他施肥处理提高 2.89%~9.18%, 不同施肥处理间均无显著性差异; 施肥处理鲜薯产量表现为 $\text{FC}>\text{SF}>\text{FBF}>\text{SBF}$ 。2021 年 (第 2 年), FBF 处理鲜薯产量最高, 较其他处理显著提高 5.63%~16.16%, SF 和 FC 处理显著高于 SBF 处理; 鲜薯产量表现为 $\text{FBF}>\text{FC}>\text{SF}>\text{SBF}$ 。2022 年 (第 3 年), FBF 和 FC 处理鲜薯产量显著高于 SF 和 SBF 处理。其中, FBC 处理较 SF、SBF 处理分别显著提高 17.75%、19.49%, FC 处理较 SF、SBF 处理分别显著提高 12.60%、14.26%, SBF 处理鲜薯产量最低, 表现为 $\text{FBF}>\text{FC}>\text{SF}>\text{SBF}$ 。2023 年 (第 4 年), FBF、FC 处理鲜薯产量显著高于 SF、SBF。其中, FBC 处理较 SF、SBF 处理分别显著提高 17.35%、12.45%, FC 处理较 SF、SBF 处理分别显著提高 15.01%、10.21%, SF 处理鲜薯产量最低, 表现为 $\text{FBF}>\text{FC}>\text{SBF}>\text{SF}$ 。由此可见, 施肥能够提高鲜



不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$), 下同。
Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments ($P<0.05$). The same below.

图 1 不同施肥措施对鲜薯产量的影响
Fig.1 Effects of different fertilization measures on the fresh sweet potato yield

薯产量，但不同施肥处理对鲜薯产量影响较大。

2.4 不同施肥措施对薯干产量的影响

由图 2 可知，与 CK 处理相比，不同种植年限下施肥均能显著提高薯干产量。而在不同施肥处理对比中，2020 年（第 1 年），FC 处理薯干产量最高，较其他施肥处理提高 1.66%~8.43%，显著高于 SBF 处理；施肥处理薯干产量表现为 FC>FBF>SF>SBF。2021 年（第 2 年），FBF 处理薯干产量最高，较其他施肥处理显著提高 6.51%~17.80%，FC 处理显著高于 SF 和 SBF 处理；施肥处理薯干产量表现为 FBF>FC>SF>SBF。2022 年（第 3 年），FBF 处理薯干产量最高，较其他施肥处理显著提高 5.28%~19.28%，FC 处理显著高于 SF 和 SBF 处理，表现为 FBF>FC>SF>SBF。2023 年（第 4 年），FBF、FC 处理薯干产量显著高于 SF 和 SBF。

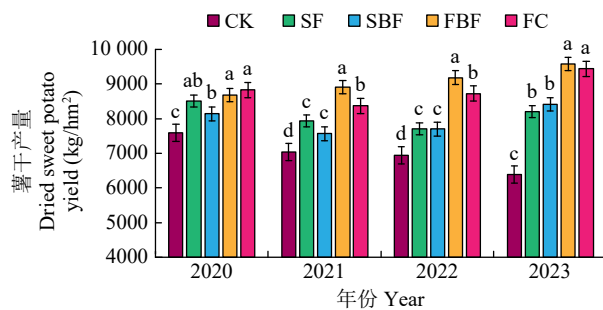


图 2 不同施肥措施对薯干产量的影响
Fig.2 Effects of different fertilization measures on the dried sweet potato yield

其中，FBC 处理较 SF、SBF 处理分别显著提高 16.65%、13.83%，FC 处理较 SF、SBF 处理分别显著提高 14.96%、12.71%，SF 处理薯干产量最低，表现为 FBF>FC>SBF>SF。由此可见，不同施肥措施对薯干产量产生较大的影响。

2.5 不同施肥措施对土壤养分的影响

由表 3 可知，与基土相比，不同处理土壤速效养分及有机质含量表现出不同的变化。其中，除 SBF 处理有机质提高外，CK、SF、SBF 处理土壤碱解氮、速效磷、速效钾、有机质含量均不同程度地下降。FBF、FC 处理土壤速效养分及有机质含量与基土相比变化不大。与 CK 处理相比，施肥能够显著提高土壤速效养分及有机质含量。其中，碱解氮、速效磷、速效钾、有机质含量较 CK 处理分别显著提高 2.52%~15.87%、5.18%~13.25%、5.92%~14.56%、5.98%~10.83%，pH 无显著性变化。而在不同施肥处理对比中，FBF 处理能够提高土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量。其中，碱解氮较 SF、SBF 处理分别显著提高 7.32%、13.03%，速效磷、速效钾含量较 SBF 处理分别显著提高 7.68%、10.37%，SBF 处理土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量在施肥处理中均最低。各施肥处理中土壤有机质含量表现为 SBF>FBF>FC>SF，但均无显著性差异。土壤 pH 也均无显著性差异。由此可见，施肥能够提高土壤养分含量，但不同施肥措施对土壤养

表 3 不同施肥措施对土壤养分的影响
Table 3 Effects of different fertilization measures on the nutrients of soil

处理 Treatment	碱解氮 Alkali-hydrolyzed nitrogen (mg/kg)	速效磷 Available phosphorus (mg/kg)	速效钾 Available potassium (mg/kg)	有机质 Organic matter (g/kg)	pH
基土 Basic soil	47.08±1.65a	55.87±2.12a	146.62±4.29a	15.49±0.44a	8.02±0.01a
CK	41.26±3.12d	49.65±1.84c	127.69±8.49c	14.22±0.82b	8.02±0.02a
SF	44.55±1.19b	54.28±3.18ab	142.20±8.92a	15.07±0.97a	7.99±0.03a
SBF	42.30±2.46c	52.22±3.65b	135.25±5.67b	15.76±1.02a	8.03±0.02a
FBF	47.81±0.82a	56.23±2.72a	146.28±6.20a	15.58±0.90a	8.01±0.01a
FC	47.47±1.21a	56.01±2.05a	144.91±8.02a	15.41±0.78a	8.01±0.02a

分影响不同。

2.6 不同施肥措施对土壤酶活性的影响

由表 4 可知，与 CK 处理相比，不同施肥处理土壤脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性分别显著提高 6.94%~37.50%、7.16%~17.63%、5.03%~16.20%和 14.22%~27.98%。而不同施肥处理中，FBF 处理能够提高土壤脲酶和蔗糖酶活性。其中，脲酶活性较其他施肥处理显著提高 7.61%~

28.57%，蔗糖酶活性较 SF、FC 处理分别显著提高 10.63%、85.34%，蔗糖酶活性与 SBF 处理相比无显著性差异；SBF 处理的土壤过氧化氢酶活性较 SF 和 FC 处理分别显著提高 9.77%和 7.29%，与 FBF 处理相比无显著性差异；FC 处理土壤碱性磷酸酶活性较 SF 处理显著提高 12.05%，与其他施肥处理相比均无显著性差异。由此可见，不同施肥措施对土壤酶活性变化产生较大影响。

表 4 不同施肥措施对土壤酶活性的影响
Table 4 Effects of different fertilization
measures on the enzyme activities of soil

处理 Treatment	Ure [mg/(g·d)]	CAT [mL/(g·h)]	Suc [mg/(g·d)]	Apho [mg/(g·d)]
CK	0.72±0.04e	7.26±0.45d	8.15±0.57d	2.18±0.12c
SF	0.84±0.03c	7.78±0.40c	8.56±0.53c	2.49±0.17b
SBF	0.77±0.02d	8.54±0.59a	9.05±0.70ab	2.67±0.09a
FBF	0.99±0.07a	8.31±0.61ab	9.47±0.61a	2.70±0.11a
FC	0.92±0.04b	7.96±0.24bc	8.99±0.33b	2.79±0.08a

2.7 指标相关性分析

鲜薯产量、叶片 SPAD 值、光合速率与土壤酶活性的相关分析如表 5 所示，鲜薯产量与 SPAD 值、 P_n 呈极显著正相关关系 ($P<0.01$)，与土壤脲酶呈显著正相关关系 ($P<0.05$)；叶片 SPAD 值与 P_n 、土壤脲酶呈极显著正相关关系 ($P<0.01$)，与土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶呈显著正相关关系 ($P<0.05$)；叶片 P_n 与土壤脲酶呈极显著正相关关系 ($P<0.01$)，与过氧化氢酶呈显著正相关关系 ($P<0.05$)。其他指标均呈正相关关系，但均未达显著水平。由此可见，鲜薯产量及叶片光合特性与土壤酶活性变化具有紧密相关的联系，土壤酶活性的提高有利于促进根系养分利用，提高叶片叶绿素含量及光合作用能力，进而提高鲜薯产量。

表 5 鲜薯产量及光合特性指标
与土壤酶活性之间的相关分析
Table 5 Correlation analysis between fresh sweet
potato yield, photosynthetic characteristics
indicators and soil enzyme activities

指标 Index	产量 Yield	SPAD	P_n	Ure	CAT	Suc	Apho
产量 Yield	1.000						
SPAD	0.862**	1.000					
P_n	0.894**	0.930**	1.000				
Ure	0.732*	0.857**	0.904**	1.000			
CAT	0.594	0.728*	0.718*	0.506	1.000		
Suc	0.607	0.413	0.474	0.451	0.390	1.000	
Apho	0.529	0.705*	0.601	0.578	0.538	0.418	1.000

*, $P<0.05$; **, $P<0.01$.

3 讨论

良好的土壤肥力是作物高效生产的基础，而施肥是补充土壤肥力的有效途径^[27]。有研究^[23,28]表明，与单施化肥相比，无机肥有机肥配施能够改善土壤理化性质，提高土壤活性，增加土壤养分含量。

本研究表明，与不施肥（CK）或单施化肥（SF）相比，化肥减量配施生物有机肥（FBF）或土壤调理剂（FC）能够提高土壤速效养分与有机质含量，单施生物有机肥（SBF）能够提高土壤有机质含量，但其他土壤速效养分含量明显低于 SF 处理。分析认为，生物有机肥含有较多的有机质，施入土壤中能够快速增加土壤有机质含量，但生物有机肥中氮、磷、钾含量降低，不能完全补充被植物根系利用的土壤速效养分。而化肥与生物有机肥、土壤调理剂配施时不仅能够满足前期根系对土壤养分的利用，又能够利用生物有机肥与土壤调理剂对土壤结构的改良作用，加快腐殖酸对土壤难溶养分的活化速度，提高土壤速效养分含量，保持土壤养分供应平衡。这与大多数研究^[29-30]较为一致。

土壤酶活性是土壤中具有生物化学催化作用的一类物质，参与土壤大多数生物化学反应过程^[31]。有研究^[32-33]表明，化肥与生物有机肥土壤调理剂配施可以显著提高土壤脲酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性，促进作物生长发育，提高作物产量。本研究结果表明，与 CK 或 SF 处理相比，FBF 与 FC 处理均可提高土壤脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性，SBF 能够提高土壤碱性磷酸酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性。这与李敏等^[34]的研究较为一致。分析认为，生物有机肥含有丰富的碳源可供土壤微生物吸收与利用，并且能够改善土壤微生态环境，提高微生物代谢活性与功能多样性，进而提高土壤生物活性与酶活性。土壤调理剂能够改善土壤结构，促进大粒径团聚体形成，增加土壤结构稳定性，为土壤微生物提供良好的生态环境。SBF 处理土壤酶活性明显低于 FBF、FC 处理，可能是因为生物有机肥中的氮、磷、钾含量较低，不能满足甘薯根系的吸收与利用，从而降低以土壤氮、磷、钾元素为主的酶的转化与合成速率。

叶绿素、光合参数是反映植株光合作用强弱的重要生理指标，其叶绿素含量与光合参数变化可以从某种程度上反映出叶片光合作用变化的强度与方向^[35-36]。甘薯植株后期叶片衰老前会使得植物体内会产生较多活性氧（ROS），造成体内 MDA 含量积累，而此时植株体内的抗氧化酶活性会迅速提高，用于消除多余的 ROS，减轻 ROS 膜质过氧化伤害^[37-38]。有研究^[17]表明，合理施肥措施能够延缓叶片衰老，提高叶绿素含量以及光合作用能力。本研究表明，与 CK 或 SF 处理相比，SBF、FBF 与

FC 处理均可提高叶片 SPAD 值、 P_n 、 G_s 及 T_r , 降低 C_i , 能够提高叶片 SOD、POD、CAT 活性, 降低 MDA 积累, 这可能与化肥养分释放速率较快, 生物有机肥养分释放速率较慢有关。甘薯生育后期, 不施肥或单施化肥处理中土壤养分含量不足以供应根系吸收与利用, 从而造成叶片衰老, 叶绿素 SPAD 值、 P_n 、 G_s 、 T_r 以及抗逆性能力降低。而 FC 处理由于土壤调理剂对土壤改良作用影响, 能够促进难溶养分分解与利用, 且能为根系养分吸收提供较好的外界环境, 从而表现出优于 SBF 处理。由此可知, 增施生物有机肥或土壤调理剂能够延缓叶片衰老, 提高植株抗逆境能力。本研究显示, 随着多年连续施用生物有机肥与土壤调理剂, FBF、FBF 处理的鲜薯及薯干产量显著高于其他处理, 且相关性分析表明鲜薯产量及叶片光合特性与土壤酶活性变化具有紧密相关的联系。由此可知, 化肥与生物有机肥或土壤调理剂配施能够提高土壤养分与酶活性, 促进根系养分吸收利用, 延缓叶片衰老, 提高叶片光合作用以及抗逆性能力, 从而提高鲜薯及薯干产量。

4 结论

本试验表明, 与 CK 处理相比, 施肥能够提高叶片 SPAD 值、 P_n 、 G_s 、 T_r 以及叶片 SOD、CAT、POD 活性, 降低 C_i 及 MDA 含量, 提高鲜薯、薯干产量以及土壤养分含量、酶活性。其中, FBF 和 FC 处理叶片 SPAD 值、光合速率、抗逆性能力、鲜薯、薯干产量以及土壤养分含量、酶活性均优于 SF 处理。综上所述, 化肥与生物有机肥或土壤调理剂配施有利于提升甘薯叶片光合作用与抗逆性能力, 改善土壤质量, 提高鲜薯和薯干产量。

参考文献

- [1] 王欣, 李强, 曹清河, 等. 中国甘薯产业和种业发展现状与未来展望. 中国农业科学, 2021, 54(3): 483-492.
- [2] 马洪波, 杨苏, 李传哲, 等. 不同肥料和生物菌剂对重茬甘薯产量及土壤质量的影响. 江苏农业科学, 2019, 47(24): 47-49, 57.
- [3] 高志远, 胡亚亚, 刘兰服, 等. 甘薯连作对根际土壤微生物群落结构的影响. 核农学报, 2019, 33(6): 1248-1255.
- [4] 许仙菊, 姜晓蕊, 陈丹艳, 等. 甘薯连作障碍发生的土壤养分因素探讨. 中国土壤与肥料. (2023-12-14)[2024-01-29]. <https://link.cnki.net/urlid/11.5498.S.20231213.1548.002>.
- [5] 乔月静, 王雪娇, 武宝悦, 等. 不同种植模式对甘薯产量及甘薯根际茎线虫数量的影响. 农业现代化研究, 2014, 35(6): 800-803.
- [6] 汤晓仪. 冬季复种轮作缓解甘薯连作障碍的应用调控研究. 烟台: 烟台大学, 2023.
- [7] 商丽丽, 杜清福, 韩俊杰, 等. 甘薯重茬对土壤微生物的影响及重茬障碍防治措施研究. 作物杂志, 2015(4): 126-129.
- [8] 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. 核农学报, 2019, 33(1): 158-165.
- [9] 周吉祥, 张贺, 杨静, 等. 连续施用土壤改良剂对沙质潮土肥力及活性有机碳组分的影响. 中国农业科学, 2020, 53(16): 3307-3318.
- [10] 王理德, 王方琳, 郭春秀, 等. 土壤酶学研究进展. 土壤, 2016, 48(1): 12-21.
- [11] 邱现奎, 董元杰, 万勇善, 等. 不同施肥处理对土壤养分含量及土壤酶活性的影响. 土壤, 2010, 42(2): 249-255.
- [12] 段文学, 张海燕, 解备涛, 等. 化肥和生物有机肥配施对鲜食型甘薯块根产量、品质及土壤肥力的影响. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(11): 1971-1980.
- [13] 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. 水土保持学报, 2018, 32(1): 352-360.
- [14] 李晨昱, 卢树昌, 王茜. 土壤调理剂在农业领域研究现状、问题及前景. 北方园艺, 2018(14): 154-160.
- [15] 孙学武, 于天一, 沈浦, 等. 土壤调理剂对花生产量品质和土壤理化性状的影响. 花生学报, 2018, 47(1): 43-46, 51.
- [16] 杜宏辉, 贾学刚, 杨涛. 化肥减量及配施生物有机肥对马铃薯产量、矿质元素含量及土壤肥力的影响. 中国瓜菜, 2023, 36(9): 66-74.
- [17] 李敏, 刘亚军, 王文静, 等. 无机肥与有机肥配施对甘薯生理特性及产量构成因素的影响. 江苏农业科学, 2023, 51(16): 91-98.
- [18] 王光飞, 高晓东, 马艳, 等. 生物有机类复合调理剂在设施叶菜障碍土壤上的应用效果. 中国土壤与肥料, 2020(2): 56-65.
- [19] 李停锋. 连作压砂西瓜田土壤肥力对土壤调理剂配施菌剂的响应. 银川: 宁夏大学, 2020.
- [20] 李敏, 刘亚军, 王文静, 等. 施肥方式对连作甘薯田土壤团聚体稳定性及酶活性的影响. 江苏农业科学, 2023, 51(13): 252-260.
- [21] 任立军, 赵文琪, 陈松岭, 等. 有机肥和土壤调理剂组合对设施土壤氮素和番茄产量的影响. 灌溉排水学报, 2021, 40(12): 70-77.
- [22] 张蕾, 吴文强, 王维瑞, 等. 土壤调理剂及其配施微生物菌肥对设施菜田次生盐渍化土壤改良效果研究. 中国土壤与肥料, 2021(3): 264-271.
- [23] 王静, 王磊, 刘耀斌, 等. 长期施用不同有机肥对甘薯产量和土壤生物性状的影响. 水土保持学报, 2021, 35(2): 184-192.
- [24] 魏猛, 张爱君, 诸葛玉平, 等. 长期施地下甘薯产量稳定性及品质特性研究. 西北农业学报, 2017, 26(4): 588-595.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [26] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986.
- [27] 王仪明, 雷艳芳, 魏臻武, 等. 不同轮作模式对青贮玉米产量、品质及土壤肥力的影响. 核农学报, 2017, 31(9): 1803-1810.
- [28] 兰孟焦, 张辉, 肖满秋, 等. 不同施肥处理对甘薯产量及土壤肥力与氮素利用的影响. 西北农业学报, 2023, 32(1): 44-52.
- [29] 王文英, 刘喜存, 霍建中, 等. 不同含量土壤调理剂对重茬地西瓜产量和土壤化学性质的影响. 中国瓜菜, 2023, 36(1): 67-71.
- [30] 刘亚军, 王文静, 李敏, 等. 无机肥与有机肥配施对甘薯土壤养分变化及微生物碳代谢功能的影响. 河南农业科学, 2022, 51(7): 75-84.
- [31] 宁川川, 王建武, 蔡昆争. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展. 生态环境学报, 2016, 25(1): 175-181.
- [32] 李蒙, 朱思远, 袁童瑶, 等. 生物有机肥对基质肥力、酶活性

- 及番茄生长和品质的影响. 西南农业学报, 2023, 36(6): 1260-1270.
- [33] 常虹, 秦广利, 王红军, 等. 土壤调理剂与微生物有机肥配施对黄潮土区重茬大蒜土壤改良及产量的影响. 河南农业科学, 2021, 50(11): 72-78.
- [34] 李敏, 刘亚军, 王文静, 等. 不同施肥模式对小麦-甘薯轮作田土壤性质及甘薯生长发育的影响. 江苏农业科学, 2022, 50(13): 250-256.
- [35] 赵金标, 胡雪, 徐承昱, 等. 高温下秸秆还田耦合减氮对水稻剑叶光合生理特性的影响. 中国农业大学学报, 2023, 28(12): 39-53.
- [36] 莫勤, 刘丹, 马驰, 等. 周年减氮对玉米-大蒜轮作系统作物光合特性和干物质积累及产量的影响. 西北农业学报, 2023, 32(10): 1544-1554.
- [37] 吴之涛, 张英英, 高正睿, 等. 喷施硅对蒙古黄芪抗氧化酶活性以及产量和品质的影响. 西北植物学报, 2022, 42(5): 837-844.
- [38] 张海燕, 段文学, 董顺旭, 等. 苗期干旱胁迫条件下外源 ABA 对甘薯膜透性和抗氧化酶系统的影响 (英文). 华北农学报, 2018, 33(2): 177-187.

Effects of Organic Fertilizer and Soil Conditioner on the Growth and Development of Continuous Cropping Sweet Potato and Soil Fertility

Liu Yajun¹, Lu Yun³, Wang Wenjing¹, Hu Qiguo¹, Chu Fengli¹, Li Zhijie²

(¹Shangqiu Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shangqiu 476000, Henan, China; ²Agriculture and Rural Affairs Bureau of Zhecheng County, Zhecheng 476200, Henan, China; ³Shangqiu Polytechnic, Shangqiu 476000, Henan, China)

Abstract In order to determine the effects of bio-organic fertilizer and soil conditioner on the growth and development of continuous cropping sweet potato and soil fertility, field positioning experiments were conducted from 2020 to 2023. Five treatments were set up: control without fertilization (CK), single application of chemical fertilizer (SF), single application of bio-organic fertilizer (SBF), 50% chemical fertilizer with 50% bio-organic fertilizer (FBF), and 100% chemical fertilizer with soil conditioner (FC). The changes of photosynthetic characteristics, stress resistance, yield, soil nutrients and enzyme activities of sweet potato under different fertilization measures were studied. The results showed that leaf SPAD values, photosynthesis rate and stress resistance, yield of fresh and dried sweet potato, and soil nutrient contents and enzyme activities under different fertilization measures were superior to those under CK treatment. In different fertilization treatments, the FBF treatment could improve leaf SPAD value, photosynthetic rate, transpiration rate, as well as superoxide dismutase and peroxidase activities. The FC treatment could improve leaf stomatal conductance and catalase activity. With the extension of fertilization time, the yield of fresh and dried sweet potato under different treatments in 2023 showed as follows, FBF > FC > SBF > SF > CK. Among them, there was no significant difference between FBF and FC treatments. The correlation analysis showed that there was a good correlation between fresh sweet potato yield, leaf photosynthetic characteristics and soil enzyme activities. It was concluded that the continuous application of bio-organic fertilizers and soil conditioners for consecutive years could enhance the photosynthesis and stress resistance ability of sweet potato, improved soil quality, and increased the yields of fresh and dried sweet potato.

Key words Organic fertilizer; Soil conditioner; Sweet potato; Growth and development; Soil fertility