

施肥方式对连作芝麻田理化特性及主要病害的影响

丁芳¹, 吕树立¹, 郑东方¹, 崔钦然², 王卫民³, 刘心辉⁴

(1. 商丘市农林科学院, 河南 商丘 476100; 2. 商丘市睢阳区农业农村局, 河南 商丘 476000;

3. 通许县农业局, 河南 通许 475400; 4. 永城市新桥镇人民政府, 河南 永城 476600)

摘要:以芝麻抗逆品种商芝196为试验材料,采用连作5a的芝麻田土壤进行盆栽试验,设置常规施肥(CK)、常规施肥+生物炭(T1)、常规施肥+生物有机肥(T2)、常规施肥+生物炭+生物有机肥(T3)共4个处理,探究生物炭与生物有机肥配施对芝麻连作土壤的理化性质、微生物数量、酶活性及芝麻常见病害发病率的影响。结果表明,与CK相比,T3处理的土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质含量、pH值分别显著增加7.85%、37.78%、38.72%、36.32%、21.67%;土壤中的细菌、放线菌数量分别显著增加30.11%、15.72%,而真菌数量显著降低10.55%。在芝麻不同生育时期,各施肥处理的土壤酶活性均高于CK,其中,T3处理苗期、盛花期、成熟期过氧化氢酶活性分别较CK增加11.37%、15.68%、54.68%,碱性磷酸酶活性分别较CK增加14.47%、21.57%、26.39%;另外,芝麻枯萎病和茎点枯病发病率分别较CK降低18.16%、41.21%;芝麻的每蒴粒数、千粒质量、产量分别较CK增加15.70%、22.17%、35.15%。综上,常规施肥+生物炭+生物有机肥能够有效改善芝麻连作土壤的理化性质,提高芝麻根区土壤酶活和微生物数量,降低主要病害发生率。

关键词:芝麻连作;生物炭;生物有机肥;土壤理化性质;酶活;病害

中图分类号:S565.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2481(2024)06-0079-07

Effects of Fertilization Methods on Physicochemical Properties and Main Diseases of Continuous Cropping Sesame Field

DING Fang¹, LÜ Shuli¹, ZHENG Dongfang¹, CUI Qinran², WANG Weimin³, LIU Xinhui⁴

(1. Shangqiu Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shangqiu 476100, China; 2. Suiyang District Agriculture and

Rural Bureau of Shangqiu City, Shangqiu 476000, China; 3. Tongxu County Agricultural Bureau, Tongxu 475400,

China; 4. People's Government of Xinqiao Town of Yongcheng City, Yongcheng 476600, China)

Abstract: In this study, a sesame stress resistant variety, Shangzhi 196, was used as the experimental material, and the sesame field soil with continuous cropping for 5 years was used for pot experiment. Four treatments were set up: conventional fertilization treatment(CK), conventional fertilization+biochar(T1), conventional fertilization+biological organic fertilizer(T2), conventional fertilization+biochar+biological organic fertilizer(T3) to explore the effects of biochar combined with biological organic fertilizer on the physicochemical properties, microbial quantity, enzyme activity, and incidence rate of common sesame diseases of sesame continuous cropping soil. The results showed that compared with CK, T3 treatment significantly increased soil alkaline nitrogen, available phosphorus, available potassium, organic matter content, and pH value by 7.85%, 37.78%, 38.72%, 36.32%, and 21.67%, respectively. The number of bacteria and actinomycetes in the soil increased significantly by 30.11% and 15.72%, respectively, while the number of fungi decreased significantly by 10.55%; At different growth stages of sesame, the soil enzyme activity of each fertilization treatment was higher than that of the control treatment. Among them, T3 treatment increased the catalase activity in the seedling stage, full flowering stage, and mature stage by 11.37%, 15.68%, and 54.68% respectively compared to CK, and the alkaline phosphatase activity increased by 14.47%, 21.57%, and 26.39% respectively compared to CK. In addition, the incidence rate of sesame wilt and stem spot blight decreased by 18.16% and 41.21% respectively. The number of seeds per capsule, one thousand grain weight, and yield of sesame increased by 15.70%, 22.17%, and 35.15%, respectively. In summary, conventional fertilization+biochar+biological organic fertilizer treatment could effectively improve the physicochemical properties of sesame continuous cropping soil, increase enzyme activity and microbial quantity in sesame root zone soil, reduce the incidence of main diseases.

收稿日期:2024-03-08

基金项目:河南省科技攻关项目(212102110371);河南省农科系统协同创新合力发展工程项目(2020CX02);商丘市农林科学院科技攻关项目(2021006.2)

作者简介:丁芳(1983-),女,河南信阳人,助理研究员,硕士,主要从事芝麻育种与栽培研究工作。

通信作者:吕树立(1974-),男,河南商丘人,副研究员,主要从事芝麻育种与栽培研究工作。

Key words: sesame continuous cropping; biochar; biological organic fertilizer; soil physicochemical properties; enzyme activity; diseases

芝麻是我国特色油料作物之一,因其具有经济效益好、营养价值高等特点,深受国内消费者喜爱。近年来,农业产业结构的调整,芝麻的需求量逐年增加,但由于种植土地面积有限,轮作倒茬时间限制,导致芝麻连作(重茬)现象非常严重,严重影响了芝麻产量和商品品质。目前连作障碍已成为阻碍芝麻产业可持续发展的关键因素之一^[1-2]。因此,改善连作芝麻田土壤结构,寻求减轻、消除芝麻连作障碍的调控方案势在必行。

已有研究表明,作物连作后,土壤理化性质恶化、土传病害加剧、土壤酶活下降^[3],施用生物有机肥能有效提高土壤养分利用率,改善连作障碍,促进作物生长。张帆等^[4]研究认为,生物肥和有机肥配施在一定程度上可以改善桃重茬育苗地的理化性质,促进桃苗生长;郭小霞等^[5]研究表明,生物有机肥能显著提升连作甜菜的光合特性,促进干物质积累和转运;王艳平等^[6]在北京山区连作茶菊土壤中施用生物有机肥,明显改善了土壤肥力,对减轻连作障碍具有积极作用。陈军等^[7]在种植番茄 6 a 的连作土壤中施加生物有机肥,结果发现,不仅改善了土壤性状和土壤真菌群落结构,还显著提高了连作番茄的品质;杨因君等^[8]连续 3 a 在黄瓜连作田中施加生物菌肥,结果发现,施加生物菌肥显著提高了土壤肥力和酶活性,土壤结构也得到了显著改善。

生物有机肥作为多功能肥料,含有丰富的有益微生物,不仅能够规避长期施用化肥带来的土壤酸化,而且在提高土壤肥力、预防土传病害等方面有良好表现^[9]。益生菌单独施放到土壤中会受到田间微生物生态抑制,而生物炭是一种具有超强吸附能力的多孔类固体物质^[10-11],可以作为益生菌的有效载体,二者配合施用能充分发挥有益菌的作用,降低病害,提高作物产量和品质^[12-14]。目前,生物炭和生物有机肥配施对芝麻连作田土壤理化性质、微生物学特性的影响及其对芝麻病害的影响的研究报道较少。

本研究通过盆栽试验,研究了生物炭配施生物有机肥对芝麻连作土壤理化性质、微生物群落、关键酶活性以及芝麻主要病害发生率的影响,以期在生产上缓解芝麻连作障碍及病害防控提供实践指导和理论支持。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于 2019—2022 年在河南省商丘市双八镇芝麻试验基地进行。供试土壤为典型的黏质黄潮土,基本理化性质为:有机质含量为 11.26 g/kg,碱解氮含量为 87.66 mg/kg,有效磷含量为 12.69 mg/kg,速效钾含量为 118.04 mg/kg,pH 值为 5.89。

1.2 试验材料

供试芝麻品种为商芝 196,优质高产抗逆,由商丘市农林科学院选育。供试肥料为三元复合肥(N、P₂O₅、K₂O 的含量分别为 15%、15%、15%)。

供试生物炭为玉米秸秆经 450 °C 厌氧烧制 2 h 后制成,呈粉末状,由河南众信蓝天环保有限公司提供。供试生物有机肥(有效活菌数≥0.2 亿个/g,有机质含量≥40%)由石家庄富铭生物有机肥有限公司提供。

1.3 试验设计

采用盆栽方式进行试验,盆直径为 38 cm,高度为 28 cm,盆内装土 12.5 kg。多点随机取连作 5 a、芝麻茎点枯病多发试验田深度 10~15 cm 的土层为供试土壤。单因素完全随机设计,设 4 个施肥处理,分别为 CK. 常规施肥处理(三元复合肥施肥量 200 mg/kg); T1. 常规施肥+生物炭 1.0%(生物炭施加量为 1 kg 土施加 0.01 kg 生物炭); T2. 常规施肥+生物有机肥 1.5%(生物有机肥施加量为 1 kg 土施加 0.015 kg 生物有机肥); T3. 常规施肥+生物炭 1.0%+生物有机肥 1.5%。每个处理 15 盆,重复 3 次。芝麻统一播种,3 对真叶时每盆定苗 2 株,整个生育期间按需补水,每 7 d 测一次含水量,确保苗期含水量不高于 15%,盛花期土壤含水量不高于 18%。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 发病率和发病指数测定 在定植 60 d(芝麻盛花期),调查芝麻茎点枯病的发病情况;在定植 85 d(芝麻成熟期),调查芝麻枯萎病的发病株数。依据芝麻枯萎病发病程度分级标准和芝麻茎点枯病分级标准^[16],统计病株数和病级数,并计算发病率和发病指数。

$$\text{发病率} = \frac{\text{发病株数}}{\text{调查总株数}} \times 100\% \quad (1)$$

病情指数 = $\sum(\text{各病级株数} \times \text{病级数}) / (\text{最高病级} \times \text{总株数}) \times 100\%$ (2)

1.4.2 土壤样品收集 在芝麻成熟期每处理随机抽取3盆,采用抖土法^[16]收集芝麻根系土壤样品,混匀后去除根系及杂质,一部分放置-4℃冰箱保存,用于测定土壤微生物数量,一部分风干过筛,用于土壤酶活和土壤理化性质的测定。

1.4.3 土壤酶活测定 取芝麻成熟期土壤,依据关松荫^[17]的方法测定土壤酶活,其中,脲酶活性采用苯酚钠比色法测定,过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定,蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定。

1.4.4 土壤微生物数量测定 取芝麻成熟期土壤,稀释后采用涂平板法测定细菌、真菌、放线菌数量^[18]。

1.4.5 土壤理化性质测定 取芝麻成熟期土壤,采用鲍士旦^[19]的方法测定土壤各养分含量。采用凯氏定氮法测定全氮含量,采用NaOH熔融-钼锑抗比色法测定全磷含量,采用NaOH熔融-火焰光度法测定全钾含量,采用碱解扩散法测定碱解氮含量,采用钼锑抗比色法测定有效磷含量,采用火焰光度法测定速效钾含量,采用重铬酸钾容量法测定土壤有机质含量,采用pH计测定新鲜土样稀释后的酸碱度。

1.4.6 芝麻产量测定 在芝麻成熟期,每个处理选

长势基本一致芝麻植株20株,全部收获并考种,测定芝麻的单株蒴数、每蒴粒数、千粒质量等指标。

1.5 数据分析

采用Excel 2018进行原始数据整理,运用SPSS 19.0进行方差和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对芝麻根际土壤养分含量的影响

从表1可以看出,与单施生物炭和生物有机肥处理相比,二者配施能显著增加土壤中有有机质、有效磷、速效钾的含量以及升高土壤pH值。与CK相比,T1、T2、T3处理的全氮含量分别显著增加46.82%、33.44%、19.67% ($P < 0.05$); T1、T2、T3处理的全磷和全钾含量较CK均显著增加,但是各处理间差异不显著;T1、T2、T3处理的碱解氮含量分别显著增加16.89%、6.68%、7.85% ($P < 0.05$); T1、T2、T3处理的有效磷含量分别显著增加13.60%、21.25%、37.78% ($P < 0.05$), T1、T2、T3处理的速效钾含量分别显著增加14.96%、13.12%、38.72% ($P < 0.05$); T1、T2、T3处理的有机质含量分别显著增加13.27%、16.16%、36.32% ($P < 0.05$); T1、T2、T3处理的pH值分别显著增加18.58%、19.30%、21.67% ($P < 0.05$),但T1、T2、T3处理间无显著差异。

表1 不同施肥处理对芝麻根际土壤养分含量的影响
Tab.1 Effects of different fertilization treatments on nutrient content in sesame rhizosphere soil

处理 Treat- ment	全氮/(g/kg) Total nitrogen	全磷/(g/kg) Total phospho- rus	全钾/(g/kg) Total potas- sium	碱解氮/(mg/kg) Alkali-hydrolyzed nitrogen	有效磷/ (mg/kg) Available phos- phorus	速效钾/ (mg/kg) Available potas- sium	有机质/ (g/kg) Organic matter	pH
CK	0.61±0.031d	0.96±0.037b	1.19±0.018b	58.95±1.74c	12.28±0.63d	107.47±2.59c	10.02±0.250c	5.49±0.08b
T1	0.90±0.048a	1.03±0.036a	1.27±0.016a	68.91±1.76a	13.95±0.06c	123.55±3.81b	11.35±0.160b	6.51±0.25a
T2	0.81±0.020b	1.03±0.030a	1.24±0.050a	62.89±2.01b	14.89±0.69b	121.58±1.80b	11.64±0.090b	6.55±0.21a
T3	0.73±0.023c	0.99±0.030a	1.29±0.026a	63.58±1.09b	16.92±0.28a	149.09±3.72a	13.66±0.046a	6.68±0.09a

注:不同小写字母表示不同处理间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。下表同。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences among treatments at the $P < 0.05$ level. The same as below.

2.2 不同施肥处理对芝麻连作土壤微生物数量的影响

从表2可以看出,与CK相比,T1、T2、T3处理的放线菌数量分别显著增加6.97%、13.88%、15.72% ($P < 0.05$); T1、T2、T3处理的细菌数量分别显著增加16.88%、21.28%、30.11% ($P < 0.05$); T1、T2、T3处理的真菌数量分别显著降低了

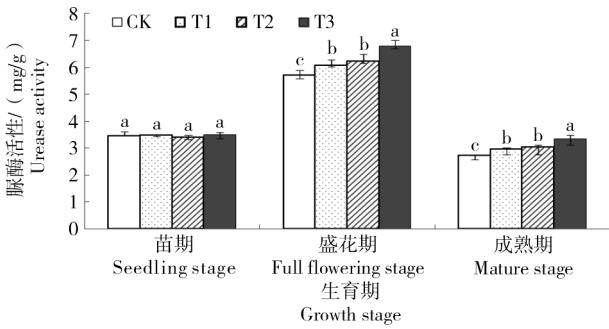
6.25%、10.86%、10.55% ($P < 0.05$)。T3处理的微生物菌群总量分别比CK、T1、T2处理显著增加25.39%、13.77%、8.91% ($P < 0.05$)。从微生物组成来看,各处理的土壤微生物以细菌为主,占总量的89.25%~95.16%;真菌最少,占总量的0.65%~0.79%。T3处理的微生物总量最高。

表 2 不同施肥处理对芝麻连作土壤微生物数量的影响
Tab.2 Effects of different fertilization treatments on microbial quantity in sesame continuous cropping soil

处理 Treatment	放线菌/($\times 10^6$ cfu/g) Actinomycete	细菌/($\times 10^7$ cfu/g) Bacterium	真菌/($\times 10^5$ cfu/g) Fungi	微生物总量/($\times 10^7$ cfu/g) Total microbial quantity
CK	4.991 \pm 0.24c	5.572 \pm 1.01b	5.809 \pm 2.07a	6.243 \pm 4.41c
T1	5.339 \pm 1.76b	6.513 \pm 2.66a	5.446 \pm 0.82b	6.799 \pm 1.83bc
T2	5.684 \pm 2.14a	6.758 \pm 0.83a	5.178 \pm 0.84c	7.102 \pm 4.47b
T3	5.776 \pm 1.34a	7.250 \pm 3.36a	5.196 \pm 0.67c	7.828 \pm 3.58a

2.3 不同施肥处理对土壤相关性酶活的影响

由图 1 可知,土壤脲酶活性随着芝麻生育期的推进,呈先升高后降低的单峰变化规律,而且在不同生育期,不同处理对脲酶活性的影响不同。芝麻苗期 T1、T2、T3 处理的脲酶活性与 CK 相比无显著差异;盛花期和成熟期 T3 处理的脲酶活性均显著高于 CK、T1、T2 处理($P < 0.05$)。



不同小写字母表示不同处理间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。下图同
Different lowercase letters indicated significant differences among treatments at the $P < 0.05$ level. The same as below

图 1 不同施肥处理对连作土壤脲酶活性的影响
Fig.1 Effects of different fertilization treatments on urease activity in continuous cropping soil

从图 2 可以看出,芝麻苗期 T2、T3 处理的土壤碱性磷酸酶活性分别较 CK 显著增加 10.58%、14.47% ($P < 0.05$);盛花期 T1、T2、T3 处理的碱性磷酸酶活性分别较 CK 显著增加 13.39%、10.40%、21.57% ($P < 0.05$);成熟期 T1、T2、T3 处理的碱性磷酸酶活性分别较 CK 显著增加 12.5%、20.83%、26.39% ($P < 0.05$)。

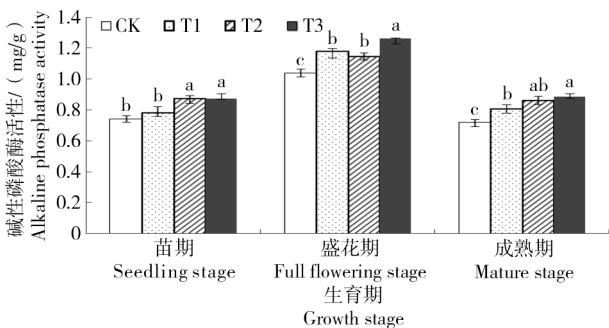


图 2 不同施肥处理对连作土壤碱性磷酸酶活性的影响
Fig.2 Effects of different fertilization treatments on alkaline phosphatase activity in continuous cropping soil

由图 3 可知,土壤过氧化氢酶活性随生育期的推进呈先升高后降低的趋势。其中,苗期 T3 处理的土壤过氧化氢酶活性分别较 CK 显著增加 11.37% ($P < 0.05$),各处理间差异不显著;盛花期 T2、T3 处理的土壤过氧化氢酶活性较 CK 分别显著增加 11.27%、15.68% ($P < 0.05$);成熟期 T1、T2、T3 处理的土壤过氧化氢酶活性较 CK 分别显著增加 12.89%、17.96%、54.68% ($P < 0.05$)。

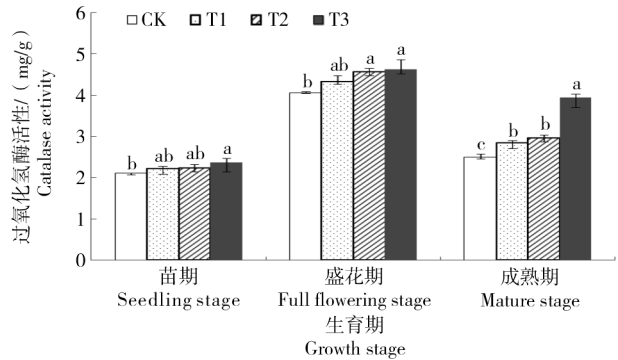


图 3 不同施肥处理对连作土壤过氧化氢酶活性的影响
Fig.3 Effects of different fertilization treatments on catalase activity in continuous cropping soil

由图 4 可知,苗期 T3 处理的蔗糖酶活性较 CK 显著增加 11.48% ($P < 0.05$);盛花期 T1、T2、T3 处理的蔗糖酶活性分别较 CK 显著增加 18.13%、20.68%、31.02% ($P < 0.05$);成熟期 T1、T2、T3 处理的蔗糖酶活性分别较 CK 显著增加 11.95%、12.48%、20.20% ($P < 0.05$)。

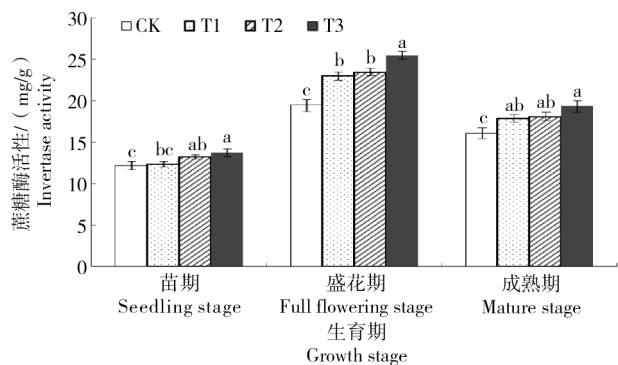


图 4 不同施肥处理对连作土壤蔗糖酶活性的影响
Fig.4 Effects of different fertilization treatments on sucrose activity in continuous cropping soil

2.4 不同施肥处理对芝麻枯萎病和茎点枯病发病率的影响

芝麻茎点枯病和枯萎病高发于芝麻开花结蒴期和成熟期。从表3可以看出,不同施肥处理后,芝麻枯萎病和茎点枯病病情指数和发病率都有不同程度降低。T1、T2、T3处理的芝麻枯萎病病情指数较CK分别显著降低23.16%、21.85%、31.06% ($P<0.05$),发病率较CK分别显著降低11.26%、7.65%、18.16% ($P<0.05$)。与CK相比,T1、T2、T3处理的茎点枯病的病情指数分别显著降低31.02%、33.54%、47.74% ($P<0.05$),发病率分别显著降低29.04%、38.26%、41.21% ($P<0.05$)。其中,T1处理的茎点枯病发病率和病情指数与T2处理间差异均不显著,T3处理的发病率和病情指数最低。

表3 不同施肥处理对芝麻主要病害的影响
Tab.3 Effects of different fertilization treatments on main diseases of sesame %

处理 Treat ment	枯萎病 Wilt		茎点枯病 Stem spot blight	
	病情指数 Disease index	发病率 Incidence rate	病情指数 Disease index	发病率 Incidence rate
CK	32.68±0.44a	54.53±0.59a	19.07±0.35a	23.55±0.36a
T1	25.12±0.80b	48.39±1.07bc	13.11±0.47b	16.71±0.71b
T2	25.54±0.64b	50.36±0.96b	12.64±0.68b	15.8±0.39b
T3	22.53±0.53c	46.15±0.54c	9.94±0.22c	14.53±0.40c

2.5 不同施肥处理对连作芝麻产量的影响

由表4可智力,与T0处理相比,T1、T2、T3处理的单株蒴数分别增加10.60%、14.11%、10.04% ($P<0.05$);每蒴粒数分别显著增加11.44%、16.64%、15.70% ($P<0.05$),千粒质量分别显著增加12.13%、13.39%、22.17% ($P<0.05$);产量分别显著增加21.44%、22.66%、35.15% ($P<0.05$)。其中,T3处理的千粒质量和产量最高,且显著高于其他处理。

表4 不同施肥处理对连作芝麻产量的影响
Tab.4 Effects of different fertilization treatments on the yield of continuous cropping sesame

处理 Treat- ment	单株蒴数/个 Capsules per plant	每蒴粒数 Grains per capsule	千粒质量/g 1000-grain weight	产量/ (kg/hm ²) Yield
CK	65.47± 1.15b	55.35± 0.96c	2.39± 0.14c	1 032.79± 15.31c
T1	72.41± 2.56a	61.68± 1.76b	2.68± 0.096b	1 254.28± 102.26b
T2	74.71± 4.11a	64.56± 1.05a	2.71± 0.044b	1 266.83± 44.39b
T3	72.04± 2.81a	64.04± 1.07a	2.92± 0.045a	1 395.79± 91.34a

3 结论与讨论

有机质是土壤的重要成分,也是衡量土壤肥力的重要指标^[21],氮、磷、钾是反映土壤养分的重要指标。连作土壤由于长期种植单一作物,导致土壤养分严重失衡,有机质含量下降、土壤酸化^[22]。已有研究表明,施用生物炭能够有效改善土壤性状^[23],而施加生物有机肥能够促进土壤有机质、氮素、磷素、钾素等的不断释放^[24],因此,二者结合可以将生物炭强大的吸附功能与生物有机肥对养分的释放及病虫害防治功能相结合,对缓解作物连作障碍更有助益^[25-27]。本研究结果表明,长期单一施用复合肥会导致土壤酸化,施用生物炭和生物有机肥均能有效提高土壤养分和pH值,特别是二者联合施用比单独施加显著提高了连作芝麻土壤中有有机质、有效磷和速效钾的含量。但是与单一施用相比,二者联合施用后土壤的碱解氮含量偏低,这与顾美英等^[11]关于棉秆炭与生物有机肥配施对棉花连作土壤的影响研究结果一致。可能是因为二者配施后,生物炭对氮素的吸附效果较好,导致土壤中氮素含量不能显著增加,其具体作用机理还有待进一步研究。

土壤微生物群落失衡是导致连作障碍的重要因素之一,而土壤微生物群落状态与土壤理化性质密切相关^[10]。华菊玲等^[28]研究认为,芝麻连作5 a土壤真菌数量显著高于新播种芝麻地,而细菌数量却显著降低。虽然生物有机肥对土壤微生物多样性的改善效果优于生物炭,但二者联合施用效果优于单施生物有机肥^[29]。本研究结果表明,单一施加生物炭和生物有机肥均能在一定程度上增加连作土壤中细菌和放线菌数量,降低真菌数量,二者联合施用(T3处理)效果更为显著,细菌、放线菌数量显著增加,真菌数量显著降低,且微生物总量显著高于其他处理,这与前人研究结果一致,表明生物炭和生物有机肥配施可以有效增加连作土壤的菌群数量,促进芝麻连作土壤从真菌型向细菌型转化。这可能是由于生物有机肥的施加丰富了有益微生物的数量,而生物炭独特的吸附结构为土壤微生物提供了较好的生存空间,二者配施促进了生防菌在土壤中的定殖^[13-14],微生物群落状态和土壤微环境显著改善,从而也显著降低了芝麻病害的发生率。这与董万鹏等^[30]有关微生物菌肥改善玫瑰生微环境进而降低病害的研究结论一致。本试验条件下,单施生物炭和生物有机肥能显著降低芝麻茎点枯病和枯萎病的病情指数与发病率,二者配施对芝

麻病害的防控效果更佳,发病率和病情指数最低。

此外,土壤酶活性与土壤肥力状况及土壤微生物种群数量息息相关,微生物数量的改变势必影响土壤酶活性。本试验结果表明,生物炭和生物有机肥的施加均能提高芝麻不同生育时期的土壤酶活性。单施生物炭对芝麻苗期土壤酶活性影响较小,但是能显著提高盛花期和成熟期的土壤酶活性。单施生物有机肥对酶活性的提升效果优于单施生物炭,二者配施处理对芝麻连作土壤酶活性的提升效果最佳,这与文慧宝等^[31]有关生物炭和有机肥配施显著提升白菜的品质及酶活性的研究结果一致。

大量研究表明,施用生物炭、生物有机肥能有效提高作物产量。刘元生等^[32]研究认为,15%生物炭能够显著提高白菜的产量。程效义等^[33]研究认为,生物炭与有机肥配施有利于玉米干物质积累。本研究结果表明,与CK相比,单施生物炭和生物有机肥均可以显著增加芝麻单株蒴数、每蒴粒数、千粒质量和产量,二者配施处理除单株蒴数无显著差异外,千粒质量与产量显著高于单施处理,表明生物炭和生物有机肥配施有利于促进芝麻生长及籽粒的形成,进而提高芝麻产量。

综上,生物炭与生物有机肥配施能够显著改善芝麻连作土壤酸化环境,增加土壤养分,改善土壤微生物种群数量,减少真菌数量,提高土壤酶活性,降低芝麻病害的发生率。在盆栽试验条件下,常规施肥+生物炭1.0%+生物有机肥1.5%对芝麻连作土壤的改良效果最佳,但是连作年限不同,土壤微生态环境存在差异,不同生物有机肥的功能菌存活率、肥效亦存在差异,因此,对生物有机肥和生物炭的配比还需要进一步探索。

参考文献:

- [1] 郭鹏燕,左联忠,王彩萍,等.我国芝麻市场前景分析与对策[J].陕西农业科学,2007,53(2):128-129.
GUO P Y, ZUO L Z, WANG C P, et al. Prospect analysis and development countermeasures of sesame market in China[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2007, 53(2): 128-129.
- [2] 高桐梅,吴寅,李春明,等.芝麻连作对农艺性状及土壤生化特性的影响[J].土壤通报,2016,47(4):897-902.
GAO T M, WU Y, LI C M, et al. Effect of continuous cropping on agronomic traits and soil biochemical characteristics of sesame [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2016, 47(4): 897-902.
- [3] 张子龙,王文泉.植物连作障碍的形成机制及其调控技术研究进展[J].中国农业科学,2011,44(18):3733-3740.
ZHANG Z L, WANG W Q. Research progress on the formation mechanism and regulation technology of continuous cropping obstacles in plants[J]. Chinese Journal of Agricultural Sciences, 2011, 44(18): 3733-3740.
- [4] 张帆,杨阳,王鸿,等.生物肥和有机肥对桃重茬土壤理化性状和细菌群落的改善作用[J].园艺学报,2024,51(9):2089-2104.
ZHANG F, YANG Y, WANG H, et al. Improvement of physical and chemical properties and bacterial community of peach intercropping soil by biological and organic fertilizers[J]. Journal of Horticulture, 2024, 51(9): 2089-2104.
- [5] 郭小霞,田露,营彩霞,等.化肥减施下生物有机肥对连作甜菜光合特性、干物质积累转运和产量形成的影响[J].中国农学通报,2023,39(22):1-10.
GUO X X, TIAN L, JIAN C X, et al. Effects of bio organic fertilizer on photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and transport, and yield formation of continuous cropping sugar beet under reduced application of chemical fertilizers[J]. Chinese Journal of Agronomy, 2023, 39(22): 1-10.
- [6] 王艳平,李萍,吴文强,等.生物有机肥和微生物菌剂对北京山区连作茶菊生长及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2023(12):107-113.
WANG Y P, LI P, WU W Q, et al. Effects of bio organic fertilizers and microbial agents on the growth and soil fertility of continuous cropping chrysanthemums in mountainous areas of Beijing[J]. Chinese Journal of Soil and Fertilizer, 2023(12): 107-113.
- [7] 陈军,郑青松.生物有机肥与AM真菌配施对连作番茄品质、土壤性质及真菌群落结构的影响[J].江苏农业科学,2024,52(2):245-252.
CHEN J, ZHENG Q S. Impacts of bio-organic fertilizer combined with AM fungi on quality, soil properties and fungal community structure of continuous cropping tomatoes[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(2): 245-252.
- [8] 杨国君,秦涛,决超.不同有机肥配施土壤调理剂对黄瓜连作土壤碳氮及酶活性的影响[J].江苏农业科学,2024,52(1):225-231.
YANG N J, QIN T, JUE C. Impacts of different organic fertilizer combined with soil conditioner on soil carbon, nitrogen contents and enzyme activities under cucumber continuous cropping [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(1): 225-231.
- [9] 张奇,张振华,陈雅玲,等.施用生物有机肥对土壤特性、作物品质及产量影响的研究进展[J].江苏农业科学,2020,48(15):71-76.
ZHANG Q, ZHANG Z H, CHEN Y L, et al. Research progress on effects of application of bio-organic fertilizer on soil characteristics, crop quality and yield[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(15): 71-76.
- [10] 覃潇敏,潘浩男,环秀菊,等.生物炭对菠萝连作土壤微生物学特性及其心腐病的影响[J].中国土壤与肥料,2024(2):65-71.
QIN X M, PAN H N, HUAN X J, et al. Effects of biochar on soil microbial characteristics of pineapple and the heart rot under continuous cropping[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2024(2): 65-71.
- [11] 顾美英,杨蓉,徐万里,等.棉秆炭配施生物有机肥对连作棉花根际土壤微生态和棉花生长的影响[J].中国农业科技导报,2019,21(10):47-57.
GU M Y, YANG R, XU W L, et al. Effects of cotton stalk biochar combined with bio-organic fertilizer on rhizosphere soil micro-ecology and cotton growth of continuous cropping cotton [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2019, 21(10): 47-57.
- [12] 王玫,徐少卓,刘宇松,等.生物炭配施有机肥可改善土壤环境并减轻苹果连作障碍[J].植物营养与肥料学报,2018,24(1):220-227.
WANG M, XU S Z, LIU Y S, et al. Improvement of soil properties and control of apple replanting disease by combined appli-

- cation of biochar and organic fertilizer[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(1): 220-227.
- [13] 王潇敏,李恋卿,潘根兴,等. 胶冻样芽孢杆菌与生物质炭复配及对番茄产量和品质的影响[J]. 土壤, 2016, 48(3): 479-485. WANG X M, LI L Q, PAN G X, et al. Compound of *Bacillus mucilaginosus* and biochar and its effects on tomato yield and quality[J]. Soils, 2016, 48(3): 479-485.
- [14] 罗琼,叶小莉,郑冰雅. 植物内生甲基营养型芽孢杆菌防治番茄枯萎病[J]. 泉州师范学院学报, 2017, 35(6): 17-20. LUO Q, YE X L, ZHENG B Y. Prevention and control effects of endophyte *Bacillus methylotrophicus* on the tomato blight[J]. Journal of Quanzhou Normal University, 2017, 35(6): 17-20.
- [15] 顾美英,徐万里,茆军,等. 新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性[J]. 生态学报, 2012, 32(10): 3031-3040. GU M Y, XU W L, MAO J, et al. Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10): 3031-3040.
- [16] 农业部农药检定所. 农药田间药效试验准则-三[M]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 349-353. Pesticide Inspection Institute, Ministry of Agriculture. Guidelines for field efficacy test of pesticides-III[M]. Beijing: Standards Press of China, 2004: 349-353.
- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 64-126. GUAN S Y. Soil enzyme and its research method[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986: 64-126.
- [18] 李振高,骆永明,滕应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 2008. LI Z G, LUO Y M, TENG Y. Research method of soil and environmental microorganisms[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000. BAO S D. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [20] 林小兵,柳开楼,黄尚书,等. 长期施肥对旱地红壤微生物生物量碳、氮和酶活性的影响[J]. 华北农学报, 2023, 38(4): 119-128. LIN X B, LIU K L, HUANG S S, et al. Effects of long-term fertilization on microbial biomass carbon, nitrogen and enzyme activities in upland red soil[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2023, 38(4): 119-128.
- [21] 李玲. 重庆市典型烟区土壤中有有机质赋存特征的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015. LI L. Study on the occurrence characteristics of organic matter in soil of typical tobacco-growing areas in Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2015.
- [22] WANG B T, LU Y F, LI W F, et al. Effects of the continuous cropping of *Amomum villosum* on rhizosphere soil physico-chemical properties, enzyme activities, and microbial communities[J]. Agronomy, 2022, 12(10): 2548.
- [23] 崔文芳,陈静,鲁富宽,等. 生物炭与氮肥减量调控对土壤养分和肥力的影响[J]. 西南农业学报, 2021, 34(11): 2429-2436. CUI W F, CHEN J, LU F K, et al. Effects of biochar and nitrogen reduction on soil nutrient and fertility[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34(11): 2429-2436.
- [24] 郭振威,李永山,陈梦妮,等. 长期秸秆还田和施用有机肥对连作棉田土壤化学性质及微生物数量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(11): 177-186. GUO Z W, LI Y S, CHEN M N, et al. Effects of long-term straw returning and organic fertilizer application on the soil chemical properties and microbial quantity of continuous cropping cotton field[J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(11): 177-186.
- [25] 刘馨,祁娟霞,蔡玉胜,等. 有机营养肥料对设施连作番茄生长及土壤肥力的影响[J]. 中国蔬菜, 2017(7): 49-53. LIU X, QI J X, CAI Y S, et al. Effects of organic nutrient fertilizer on growth of continuous cropping tomato and soil fertility improvement[J]. China Vegetables, 2017(7): 49-53.
- [26] 李喜凤,杨小妮,罗艳君,等. 生物炭及有机肥对苹果园土壤有机碳组分及果树生长的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(4): 617-624. LI X F, YANG X N, LUO Y J, et al. Effect of combination of biochar and organic fertilizers on soil organic carbon fractions, growth and yield of apple orchard[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2017, 26(4): 617-624.
- [27] 李司童,毛凯伦,石锦辉,等. 生物炭和菜籽饼配施对土壤养分、酶活性及烟叶产质量的影响[J]. 土壤通报, 2017, 48(6): 1429-1435. LI S T, MAO K L, SHI J H, et al. Effects of combining application of biochar and rapeseed cake on soil nutrition, soil enzyme activities, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48(6): 1429-1435.
- [28] 华菊玲,刘光荣,黄劲松. 连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(9): 2936-2942. HUA J L, LIU G R, HUANG J S. Effect of continuous cropping of sesame on rhizospheric microbial communities[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(9): 2936-2942.
- [29] 陈伟,周波,束怀瑞. 生物炭和有机肥处理对平邑甜茶根系和土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(18): 3850-3856. CHEN W, ZHOU B, SHU H R. Effects of organic fertilizer and biochar on root system and microbial functional diversity of *Malus hupehensis* rehd[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(18): 3850-3856.
- [30] 董万鹏,吴楠,龙婷,等. 微生物菌肥对玫瑰防病促生作用及土壤微环境的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023(8): 121-127. DONG W P, WU N, LONG T, et al. Effects of microbial fertilizer on disease control and growth of rose and its effect on soil microenvironment[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2023(8): 121-127.
- [31] 文慧宝,杜双江,程贵庆,等. 生物炭与有机肥配施对白菜生长品质、土壤养分及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(20): 224-230. WEN H B, DU S J, CHENG G Q, et al. Influences of combined application of biochar and organic fertilizer on growth quality, soil nutrients and enzyme activities of Chinese cabbage[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(20): 224-230.
- [32] 刘元生,刘方,陈祖拥,等. 生物质炭对旱作土壤生物性状及养分有效性的调控效应[J]. 水土保持学报, 2019, 33(3): 166-171, 178. LIU Y S, LIU F, CHEN Z Y, et al. Regulation effects of biochar on the biological characteristics and nutrient availability of dryland soils[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(3): 166-171, 178.
- [33] 程效义,张伟明,孟军,等. 玉米秸秆炭对玉米物质生产及产量形成特性的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24(1): 117-122, 129. CHENG X Y, ZHANG W M, MENG J, et al. Effect of biochar on maize dry matter accumulation and yield[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(1): 117-122, 129.