

# 微生物菌剂与大豆秸秆生物炭配施对砂姜黑土养分及小白菜品质的影响

蒋志洋<sup>1</sup>, 周育智<sup>1</sup>, 陈道坤<sup>1,2</sup>, 黄美琴<sup>1</sup>

(1. 安徽理工大学地球与环境学院 安徽淮南 232001; 2. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心 西安 710100)

**摘要:** 为明确微生物菌剂与大豆秸秆生物炭协同配施对砂姜黑土的改良效果, 以砂姜黑土作为研究对象, 采用田间原位盆栽试验, 在常规施肥的基础上设单施生物炭处理、菌剂与生物炭配施处理 (BC1、BC2、BC3、MB1、MB2、MB3), 探究不同处理对砂姜黑土化学性质 (pH、有机质含量、全氮含量、有效磷含量、速效钾含量)、小白菜长势 (株高、单株鲜质量、主根长和叶宽) 和品质 (小白菜可溶性糖、可溶性蛋白和维生素 C 含量) 的影响。与对照组 CK (常规施肥) 相比, 单施生物炭 (BC1、BC2、BC3) 和微生物菌剂配施生物炭 (MB1、MB2、MB3) 均可提高土壤有机质、全氮、有效磷含量和小白菜可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C 含量, 其提升范围依次为 18.98%~64.49%、11.82%~40.00%、23.41%~98.07% 和 28.89%~66.37%、15.25%~46.33%、42.98%~152.76%; 小白菜的长势、抗根肿病能力和品质均随生物炭添加量的增加呈现先提高后降低的趋势, 其中 MB2 处理效果最优。大豆秸秆生物炭配施微生物菌剂协同改良了土壤化学性质并提高了小白菜的品质。在本试验范围内微生物菌剂配施 2.5% 生物炭添加比例效果最佳。

**关键词:** 小白菜; 微生物菌剂; 大豆秸秆; 生物炭

中图分类号: S634

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)04-133-07

## Effects of combined microbial fungicide and soybean straw biochar on nutrients and quality of *Brassica napus* in black soil of sand ginger

JIANG Zhiyang<sup>1</sup>, ZHOU Yuzhi<sup>1</sup>, CHEN Daokun<sup>1,2</sup>, HUANG Meiqin<sup>1</sup>

(1. School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, Anhui, China; 2. Xi'an Center of Mineral Resources Survey, China Geological Survey, Xi'an 710100, Shaanxi, China)

**Abstract:** To clarify the effect of synergistic application of combined functional fungicides and soybean straw biochar on the black soil of ginger, the black soil of sand ginger was used as the research object, Using in situ pot experiments in the field, six treatments (BC1, BC2, BC3, MB1, MB2, MB3) based on the conventional fertilizer application were conducted, and investigated the effects of different treatments on the chemical properties of the black soil of sand ginger, the growth and the quality of Chinese cabbage. Compared with the control group, the application of biochar alone (BC1, BC2, BC3) and microbial fungi with biochar (MB1, MB2, MB3) significantly increased the soil organic matter, total nitrogen, effective phosphorus contents and the content of soluble sugar, soluble protein, and vitamin C of *Brassica napus* in the ranges of 18.98%-64.49%, 11.82%-40.00%, 23.41%-98.07% and 28.89%-66.37%, 15.25%-46.33%, 42.98%-152.76%, respectively. The growth, resistance to rhizoctonia, and quality of Chinese cabbage showed a tendency of first increasing and then decreasing with the increase of biochar addition, among which MB2 treatment had the best effect. Soybean straw biochar with microbial agents synergistically improved soil chemistry and enhanced the quality of *Brassica napus*, and microbial agents with a 2.5% biochar addition rate were the most effective within the scope of this experiment.

**Key words:** Cabbage; Microbial fungicide; Soybean straw; Biochar

收稿日期: 2023-09-05; 修回日期: 2024-01-11

基金项目: 国家自然科学基金(41572333); 安徽省重点研究与开发项目(S202104a06020064); 淮南关闭矿井地质生态环境评价及综合治理(HNKY-PG-WT-2021-260)

作者简介: 蒋志洋, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为矿区复垦土壤肥力提升。E-mail: 1597247713@qq.com

通信作者: 周育智, 男, 讲师, 主要从事矿山生态安全与土壤质量提升研究。E-mail: zhouyuzhi1218@126.com

砂姜黑土是安徽省淮南市河间平原地区最常见且覆盖面积最大的耕作土壤类型,占全市土壤面积的36.91%,占耕地面积的38.6%<sup>[1]</sup>。砂姜黑土有着质地黏重、结构不良、耕性较差、缺氮少磷等特征<sup>[1-2]</sup>,近年来,不合理的耕作方式与施肥破坏了砂姜黑土的结构性能<sup>[3]</sup>,导致土壤肥力降低和作物生长受限,严重影响了作物产量和品质,使得该区域的农业可持续发展受到诸多限制<sup>[4]</sup>。目前,改良砂姜黑土的主要方法是通过长期秸秆还田与施用化肥来提升土壤肥力<sup>[5-6]</sup>。但长期秸秆还田会阻碍种子生长<sup>[7]</sup>、对地温产生负效应<sup>[8]</sup>以及消耗土壤养分<sup>[9]</sup>;大量施用化肥会导致水体富营养化、温室气体排放<sup>[10]</sup>等农业生态环境污染,同时也造成土壤酸化和生物多样性降低等危害<sup>[6,11]</sup>。因此,长期施用大量化肥或秸秆还田并不是作物可持续生产的有效途径<sup>[12]</sup>。

生物炭是在厌氧或无氧条件下,经高温热解(350~600 °C)产生的一种多孔富碳、高度芳香化的多功能稳定性材料<sup>[13-14]</sup>。生物炭凭借其固有的性能在调节土壤酸碱度、提高土壤保水能力与环境质量<sup>[15-16]</sup>以及土壤培肥方面均发挥重要作用<sup>[17]</sup>。微生物菌剂作为一种常见的微生物肥料<sup>[18]</sup>,其应用是目前提升土壤肥力和经济效益的生物措施<sup>[19]</sup>。菌剂中的微生物在土壤里繁殖,进而提升土壤酶活性及微生物多样性,从而给作物生长创造良好的生活环境<sup>[20]</sup>。王琳等<sup>[21]</sup>研究表明,微生物菌剂对金银花生长和品质提升有显著效果。邱诗春等<sup>[22]</sup>研究发现,增施微生物菌剂能明显改善土壤理化性质和提升土壤肥力。还有研究表明,微生物菌剂对提高生菜、青梗菜、玉米、枸杞、大豆等<sup>[23-27]</sup>农作物的产量和品质有良好的效果。尽管单施生物炭或微生物菌剂在砂姜黑土养分提升中极具潜力,但微生物菌剂与生物炭配施对砂姜黑土养分的影响尚不清楚。此外,淮南是豆腐的发源地<sup>[28]</sup>,大豆作为豆腐的生产原料,是本地区广泛种植的作物<sup>[29]</sup>,每年均有大量的大豆秸秆废弃物产生。其中,大部分秸秆废弃物并未加以利用,这不仅浪费秸秆资源,还易造成环境污染。因此,采取经济、环保的方式对大豆秸秆农业废弃物资源化利用是淮南农业发展面临的重点问题。目前,有学者将大豆秸秆制备为生物炭,应用于东北黑土生产性能研究<sup>[30]</sup>;也有学者将功能菌剂与农业秸秆生物炭配施应用在西北沙化土壤,探究其对沙化土壤质量改良的最佳方法<sup>[31]</sup>。

因此,笔者以大豆秸秆为原材料制备生物炭,

利用生物炭配施功能微生物菌剂(枯草芽孢杆菌+哈茨木霉菌)应用于沿淮地区砂姜黑土,并通过测定盆栽小白菜的生长与品质指标,探究生物炭配施微生物菌剂对砂姜黑土养分及小白菜生长、抗病能力、品质 and 经济效益的影响,以期明确生物炭与生物菌剂联合施用的最佳用量,为提高淮南沿淮河地区的砂姜黑土肥力提供技术支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

供试砂姜黑土于2022年6月采自淮南市沿淮河南岸舜耕镇下陶村村北里湾的农田,为黄姜土,亚类为典型砂姜黑土,成土母质为河流冲积物,质地为粉砂质黏壤土。挖取表层0~20 cm土样,采用双对角线法采集5个样品,均匀混合后运用四分法留取500 g样品用于土壤指标测定,自然风干,并除去土壤中所含石粒和植物根系等异物,研磨过2 mm尼龙筛,装袋备用。土壤基本理化性质:pH=7.95,有机质含量( $w$ ,下同)为 $11.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全氮含量为 $0.57 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效磷含量为 $34.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾含量为 $85.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

大豆秸秆生物炭的制备是取上述农田中废弃的大豆秸秆并自然晾干粉碎后,在无氧400 °C条件下通过马弗炉炭化过2 mm尼龙筛得到,pH=9.25,有机质含量 $396.62 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全氮含量 $7.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全磷含量 $0.76 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全钾含量 $0.68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

微生物菌剂(哈茨木霉菌+枯草芽孢杆菌)购买于潍坊福皆农业科技有限公司,其中有效活菌哈茨木霉菌数 $\geq 10 \text{ 亿} \cdot \text{g}^{-1}$ ,有效活菌枯草芽孢杆菌数 $\geq 200 \text{ 亿} \cdot \text{g}^{-1}$ 。复合肥(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=17-17-17)总养分含量 $\geq 51\%$ ,购买于山东加倍达生物科技有限公司。

供试植物为好润青小白菜,生长周期为50 d左右,种子由南京理想农业科技有限公司提供。

### 1.2 试验设计

盆栽试验于2022年6月在安徽理工大学东侧新华村试验基地进行。

常规施肥(CK,按农民常规施肥量 $40 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ ,将其按比例折算为盆栽施肥量),其中肥料为三元复合肥(N 17%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 17%、K<sub>2</sub>O 17%),盆栽截面规格为 $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ ,按上述比例折算后每盆施肥量为 $3.75 \text{ g}$ ;然后在常规施肥的基础上分别配施不同浓度的生物炭与菌剂组合,即添加按土壤质量分数0.5%的大豆秸秆生物炭(BC1),每盆折合 $5 \text{ g}$ ;土壤质量分数2.5%的大豆秸秆生物炭(BC2),每盆折合

25 g;土壤质量分数 5%的大豆秸秆生物炭(BC3)每盆折合 50 g;土壤质量分数 0.5%的大豆秸秆生物炭 5 g+菌剂(MB1);土壤质量分数 2.5%的大豆秸秆生物炭 25 g+菌剂(MB2);土壤质量分数 5%的大豆秸秆生物炭 50 g+菌剂(MB3)。其中,菌剂配施量均为  $1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (商品推荐施加量),每个处理 4 次重复,共计 28 盆。将土壤与大豆秸秆生物炭充分混合,每盆装 1 kg,采用称质量法使得土壤含水量为田间持水量的 60%左右,并在室温下保持 2 周。小白菜种子经杀菌、清洗处理后,每盆播入 20 粒种子,12 d 后进行间苗,每盆保留 10 株长势一致的幼苗,定期浇水并确保其含水量为田间持水量的 60%,在 45 d 后收获小白菜。

种植过程中对小白菜根肿病进行统计,计算其发病率、病情指数、防治效果<sup>[32]</sup>。

发病率/%=(发病株数/总株数)×100;

病情指数= $\Sigma$ (病级代表值×各级病株数)/(最高级代表值×调查总株数)×100;

防治效果/%=(对照区病情指数-处理区病情指数)/对照区病情指数×100。

### 1.3 样品采集与测定

收获时,将小白菜的地下根部连同地上部分一起挖出,并冲洗掉根部附着的土壤。擦干水分后称质量,测量其株高、叶宽和主根长。每个处理取 10 g 新鲜样品用于测量小白菜维生素 C 含量,剩余小白菜放置于 105 °C 的鼓风干燥箱中杀青 30 min,并放入烘箱中 80 °C 干燥至恒质量,将土壤风干后粉碎,依次过 2 mm 和 0.15 mm 筛,密封于测试袋中备用。

土壤和大豆秸秆生物炭的性质指标测定参照鲍士旦<sup>[33]</sup>的方法,指标包括 pH 和有机质、全氮、有效磷、速效钾含量等。其中,使用 pH 计测定(水、土体积比为 2.5:1)pH 值,采用重铬酸钾外加热法测定有机质含量,采用半微量凯氏法测定全氮含量,采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗分光光度法测定有效磷含量,采用原子吸收分光光度法测定土壤速效钾含量。小白菜品质指标测定参考李合生<sup>[34]</sup>的方法,其中,采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白含量,采用高效液相色谱法测定维生素 C 含量,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2016 处理,数据差异显著性统计分析和方差分析用 SPSS Statistics 22.0 进行,采用 Excel 2016 制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对砂姜黑土养分含量的影响

由表 1 可知,在常规施肥基础上单施生物炭处理(BC1、BC2、BC3)和生物炭配施微生物菌剂处理(MB1、MB2、MB3)对砂姜黑土产生了不同的影响。与 CK 相比,处理 BC1、BC2、BC3 的土壤 pH 值分别提高了 0.06、0.16、0.34,这表明单施大豆秸秆生物炭能提高土壤 pH 值;而处理 MB1、MB2、MB3 的土壤 pH 值对应处理 BC1、BC2、BC3 分别降低 0.04、0.29、0.28,这表明微生物菌剂的添加会降低土壤 pH 值。与 CK 相比,单施生物炭处理组(BC1、BC2、BC3)和生物炭配施微生物菌剂处理组(MB1、MB2、MB3)土壤有机质、全氮和有效磷含量均有不同程度的增加,且单施生物炭处理各养分指标含量随着生物炭配施量的增加而呈上升的趋势。方差分析结果显示,有机质含量在部分处理组之间、处理组与对照组之间存在显著差异。BC1、BC2、BC3、MB1、MB2、MB3 有机质含量分别比 CK 提高了 18.99%、44.56%、64.49%、20.17%、51.40% 和 54.94%,不同处理土壤有机质含量大小顺序为 BC3 > MB3 > MB2 > BC2 > MB1 > BC1 > CK。

试验后单施生物炭各处理土壤全氮含量随着生物炭施用量的增加而上升,配施微生物菌剂的处理(MB1、MB2、MB3)全氮含量均高于对应的不施菌剂处理(BC1、BC2、BC3)。方差分析显示,除施 5% 生物炭以外,菌剂配施 0.5% 和 2.5% 生物炭(MB1、MB2)与单施 0.5% 和 2.5% 生物炭(BC1、BC2)土壤全氮含量之间呈显著差异。不同处理土壤有效磷和速效钾含量的变化趋势相似,单施生物炭的处理组有效磷和速效钾含量随着生物炭施用量的增加而递增,各处理之间呈显著差异;生物炭配施微生物菌剂的处理组,有效磷和速效钾含量随着生物炭施用量的增加而呈现先增后减的趋势。方差分析表明,相比对照组 CK,不同处理组均使有效磷和速效钾含量有显著改变,其中有效磷含量 BC1、BC2、BC3、MB1、MB2、MB3 分别较 CK 显著提高了 23.41%、58.83%、80.28%、63.29%、98.07%、78.84%。

### 2.2 不同处理对小白菜生长的影响

种植 45 d 收获后,测定小白菜生长指标如表 2 所示,对照组 CK 小白菜株高、平均单株鲜质量、主根长和叶宽分别为 7.38 cm、28.17 g、4.04 cm、2.26 cm。添加不同量大豆秸秆生物炭(BC1、BC2、

表1 不同处理对土壤化学性质的影响

Table 1 Effect of different treatments on soil chemical properties

处理 Treatment	pH	w(有机质) Organic matter content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(全氮) Total nitrogen content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(有效磷) Available phosphorus content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效钾) Available potassium content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
CK	7.88±0.02 cd	20.33±0.61 e	1.10±0.04 f	31.14±0.59 e	93.38±2.19 e
BC1	7.94±0.52 bc	24.19±0.32 d	1.23±0.02 e	38.43±2.01 d	85.37±2.42 f
BC2	8.04±0.07 b	29.39±0.52 c	1.37±0.02 d	49.46±0.69 c	119.75±2.79 d
BC3	8.22±0.10 a	33.44±0.69 a	1.48±0.02 b	56.14±1.16 b	132.34±3.01 c
MB1	7.90±0.06 cd	24.43±0.97 d	1.42±0.03 c	50.85±2.19 c	144.96±2.51 b
MB2	7.75±0.21 d	30.78±0.28 b	1.54±0.02 a	61.68±1.59 a	158.41±2.21 a
MB3	7.94±0.16 bc	31.50±0.59 b	1.49±0.03 b	55.69±1.67 b	157.74±0.93 a

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理之间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Data are mean values, and each lowercase letter following data in the same column indicates a significant difference ( $p < 0.05$ ) between different treatment groups. The same below.

BC3)后株高分别增加至 10.17、13.29、12.49 cm,平均单株鲜质量分别增加至 41.84、50.31、46.81 g,主根长分别增加至 5.53、6.61、6.38 cm,叶宽分别增加至 2.95、3.50、3.09 cm,添加不同量大豆秸秆生物炭各生长指标显著高于对照组,株高、单株鲜质量、主根长和叶宽的提升范围分别为 37.80%~69.24%、48.53%~78.59%、36.88%~63.61%和 30.53%~54.87%,不同施用量之间也存在差异。添加不同量大豆秸秆生物炭配施微生物菌剂(MB1、MB2、MB3)后小白菜株高、单株鲜质量、主根长和叶宽分别增加至 12.40~14.25 cm、52.38~55.23 g、6.02~6.78 cm 和 3.07~3.89 cm,显著高于对照组,提升范围分别为 68.02%~93.09%、85.94%~96.06%、49.01%~67.82%和 35.84%~72.12%,MB2 株高显著高于 MB1 和 MB3,MB1、MB2、MB3 处理组之间单株鲜质量没有体现出明显差异,MB1、MB2、MB3 处理组之间主根长、叶宽均呈显著差异,其大小顺序为 MB2>MB3>MB1。

表2 不同处理对小白菜生长的影响

Table 2 Effects of different treatments on the growth of *Brassica napus*

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	单株鲜质量 Fresh mass per plant/g	主根长 Main root length/cm	叶宽 Leaf width/cm
CK	7.38±0.25 d	28.17±1.83 d	4.04±0.10 e	2.26±0.09 d
BC1	10.17±0.36 c	41.84±3.98 c	5.53±0.11 d	2.95±0.06 c
BC2	13.29±0.28 ab	50.31±3.42 ab	6.61±0.14 ab	3.50±0.09 b
BC3	12.49±0.60 b	46.81±2.31 bc	6.38±0.18 b	3.09±0.13 c
MB1	12.40±0.56 b	52.38±1.77 a	6.02±0.15 c	3.07±0.12 c
MB2	14.25±0.99 a	55.23±3.66 a	6.78±0.13 a	3.89±0.14 a
MB3	12.75±0.46 b	53.48±2.25 a	6.39±0.12 b	3.58±0.08 b

### 2.3 不同处理对小白菜根肿病的防治效果

由表 3 可知,与 CK 相比,单施生物炭、生物炭与微生物菌剂配施各处理均可显著降低小白菜根肿病发病率,其中 MB2 处理组发病率最低,为 20.00%;各处理组病情指数均显著低于 CK,其中病情指数表现为 MB2<MB3<MB1<BC2<BC1<BC3,MB2 处理组的根肿病防治效果最佳,为 68.57%,显著高于 BC1 与 BC3 处理。

表3 不同处理对盆栽小白菜根肿病的防效

Table 3 Efficacy of different treatments against *Rhizoctonia solani* in potted cabbages

处理 Treatment	发病率 Incidence rate/%	病情指数 Disease index	防治效果 Prevention effect/%
CK	60.00±8.16 a	87.50±9.57 a	
BC1	32.50±5.00 b	45.00±5.77 bc	48.57±6.60 b
BC2	35.00±5.77 b	42.50±12.58 bc	51.42±14.37 ab
BC3	32.50±5.00 b	47.50±9.57 b	45.71±10.94 b
MB1	32.50±5.00 b	40.00±8.16 bc	54.28±9.33 ab
MB2	20.00±8.16 c	27.50±15.00 bc	68.57±17.15 a
MB3	27.50±5.00 bc	35.00±5.77 bc	59.99±6.59 ab

### 2.4 不同处理对小白菜品质指标的影响

表 4 为不同处理下小白菜部分品质指标变化情况。与 CK 相比,BC1、BC2、BC3、MB1、MB2、MB3 的小白菜叶片可溶性糖含量分别显著提高了 38.72%、62.39%、28.89%、32.62%、66.37%、37.48%。小白菜可溶性蛋白含量由高至低的顺序为 MB2>BC2>MB3>MB1>BC3>BC1>CK,与 CK 相比,在常规施肥基础上添加大豆秸秆生物炭(BC1、BC2、BC3)使小白菜可溶性蛋白含量显著上升 15.25%、32.55%、19.94%,在常规施肥基础上添加大豆秸秆生物炭并配施微生物菌剂(MB1、MB2、

MB3)使小白菜可溶性蛋白含量显著上升 20.52%、46.33%、29.32%。此外,在常规施肥基础上添加大豆秸秆生物炭(BC1、BC2、BC3)和添加大豆秸秆生物炭配施微生物菌剂(MB1、MB2、MB3)使小白菜维生素 C 含量较 CK 分别显著增加了 42.98%~111.93%和 80.72%~152.76%,其中 BC1、BC2、MB1、MB2 之间均呈显著差异,含量由高至低的顺序为 MB2>BC2>MB1>BC1。

表 4 不同处理对小白菜品质的影响

Table 4 Effect of different treatments on the quality of Chinese cabbage

处理 Treatment	w(可溶性糖) Soluble sugar content/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(维生素 C) Vitamin C content/(mg·kg <sup>-1</sup> )
CK	8.03±0.05 c	3.40±0.11 d	188.69±8.12 f
BC1	11.14±0.42 b	3.93±0.98 c	269.79±12.19 e
BC2	13.04±0.48 a	4.53±0.17 b	399.88±6.63 b
BC3	10.35±0.26 b	4.09±0.12 bc	362.18±11.69 cd
MB1	10.65±0.74 b	4.11±0.13 bc	351.32±4.02 d
MB2	13.35±0.54 a	4.99±0.35 a	476.72±10.20 a
MB3	11.04±0.56 b	4.41±0.15 b	386.10±3.99 bc

### 3 讨论与结论

土壤 pH 值是养分含量的重要影响指标,决定了养分的有效性<sup>[35-36]</sup>。在常规施肥基础上添加不同剂量的大豆秸秆生物炭后,砂姜黑土的 pH 值较对照组分别提高了 0.06、0.16、0.34。这与罗洋等<sup>[37]</sup>的研究结果一致,主要是因为生物炭富含的碱性物质释放到土壤中,导致土壤 pH 值升高。土壤有机质含量是土壤养分含量的主要指标。与对照组 CK 相比,BC1、BC2、BC3 处理组和 MB1、MB2、MB3 处理组的土壤有机质含量显著提高,这与张曼等<sup>[18]</sup>的研究结果一致。主要原因可能是生物炭不仅能有效吸附土壤中活性有机物质,还可以抑制土壤微生物的呼吸,从而减缓有机质的矿化速率<sup>[38]</sup>,微生物菌剂中富含大量益生菌,可增强土壤中微生物的固碳作用,提升土壤有机质含量的效果明显。氮、磷、钾是作物生长发育所需的营养元素,与 CK 相比,BC1、BC2、BC3 处理组土壤全氮、有效磷、速效钾含量均随生物炭施用量增加而呈增大趋势,均与对照呈显著差异,但 BC1 速效钾含量低于对照;MB1、MB2、MB3 处理组土壤全氮、有效磷和速效钾含量显著提高并随生物炭施用量增加呈先增后降趋势,其中添加 2.5%大豆秸秆生物炭配施微生物菌剂的影响最大。这与王红萍等<sup>[31]</sup>的研究结果相似,主要原因如

下:第一,可能是微生物菌剂中所使用的芽孢杆菌将土壤中的磷素与钾素快速分解为植物可利用的有效态<sup>[39]</sup>。第二,可能是笔者试验添加的哈茨木霉菌在土壤中繁殖并与作物根系建立良好的共生关系<sup>[40]</sup>,它还可分解有机物质,从而使土壤中的氮、磷、钾得以释放和稳固<sup>[41]</sup>。第三,可能是生物炭的多孔结构吸附土壤中的大量矿物质氮、磷、钾等营养元素<sup>[42]</sup>,使其养分固持能力得到增强<sup>[43]</sup>,其本身所含有的活性官能团也可调节土壤养分平衡<sup>[44]</sup>。

施用大豆秸秆生物炭和微生物菌剂后,通过探究小白菜生长状况可以体现改良效果。前人研究发现,添加适量的生物炭或菌剂可以有效提高作物长势<sup>[37, 45]</sup>。在本研究中,与 CK 相比,BC1、BC2、BC3 处理组和 MB1、MB2、MB3 处理组均不同程度地提高了小白菜的株高、叶宽、单株鲜质量和主根长度,这与前人的研究结果一致。原因可能是添加大豆秸秆生物炭通过增加土壤中植物所需的养分来促进植物幼苗株高和主根的伸长<sup>[45]</sup>,而菌剂中的各种有益菌能有效调节根系的呼吸作用与新陈代谢等活动,帮助植物有效利用土壤中的矿质营养元素,进而促使根系的伸长、叶面的延展及生物量的增加<sup>[46]</sup>。本研究结果表明,微生物菌剂配施 2.5%大豆秸秆生物炭(MB2)处理小白菜株高、单株鲜质量、主根长和叶宽均高于其他处理。

此外,利用微生物菌剂配施生物炭能够更有效地降低根肿病发病率,其主要原因是生物炭为碱性材料,营养元素含量丰富,对配施的微生物菌剂调节作用十分有效,并为哈茨木霉菌和枯草芽孢杆菌提供一个优越的生存环境,促进它们的生长和繁殖,从而抑制病原菌的侵染,降低小白菜根肿病的发病率<sup>[32]</sup>。再者,与对照相比,施用大豆秸秆生物炭和生物炭配施微生物菌剂各处理组均显著提高了小白菜可溶性蛋白、可溶性糖和维生素 C 含量,这主要是由于在土壤中配施生物炭作为微生物菌剂的载体,可以有效增加土壤中的矿物质养分含量,改善植株根系周边生态环境,延长土壤酶活性时间<sup>[47-48]</sup>,养分的转化和吸收能够得到促进,进而提高作物品质。有研究表明<sup>[37]</sup>,添加生物炭量为 2.5%时,小白菜的可溶性糖含量达到最高;添加生物炭量为 5%时,小白菜的维生素 C 含量达到最高。这与本研究结果部分相符,在本试验中,微生物菌剂配施 2.5%生物炭时小白菜的可溶性糖和维生素 C 含量均达到最高,综合品质提升最显著。结果表明,生物炭使用量并不能直接决定小白菜品

质,而是在合理配比的条件下,能够更充分地发挥生物炭与微生物菌剂之间的相互促进作用,达到小白菜产量与品质提升的最佳效果。

综上所述,微生物菌剂配施 2.5%生物炭(MB2)在提高土壤养分含量、增强小白菜长势、提高小白菜抗根肿病能力和小白菜品质方面处理效果最优,说明生物炭添加量与土壤改良效果并不呈线性关系,而是土壤改良效果随着生物炭用量的增多而呈现先上升后下降的趋势,可能是当用量超过一定范围后对土壤理化性质、酶活性及微生物群落产生负面的影响。由于本研究只是在盆栽试验下展示了微生物菌剂和大豆秸秆生物炭在改良砂姜黑土方面的效果,大田中施用效果还有待进一步开展田间试验探讨。

### 参考文献

- [1] 淮南市土壤普查办公室.淮南市土种志[Z].安徽淮南:淮南市农牧渔业局淮南市土壤普查办公室,1987.
- [2] 郭成士,马东豪,张丛志,等.典型砂姜黑土黑色物质提取方法及成分研究[J].土壤学报,2021,58(2):421-432.
- [3] 王梦宇,仝昊天,韩燕来,等.深耕及培肥对砂姜黑土理化性质和小麦产量的影响[J].土壤通报,2022,53(6):1431-1439.
- [4] 张睿,王童语,王道中,等.秸秆生物炭对砂姜黑土有机磷组分含量的影响[J].安徽农业大学学报,2022,49(3):454-461.
- [5] 李玮,乔玉强,陈欢,等.秸秆还田和施肥对砂姜黑土理化性质及小麦-玉米产量的影响[J].生态学报,2014,34(17):5052-5061.
- [6] 吴萍萍,王静,李录久,等.化肥减施下有机物料对砂姜黑土有机碳组分和养分含量的影响[J].核农学报,2022,36(11):2286-2294.
- [7] 蔡洪梅,吴宇,于敏,等.长期秸秆全量还田对砂姜黑土区冬小麦幼苗生长质量的影响[J].麦类作物学报,2022,42(10):1266-1272.
- [8] 赵宏波,何进,李洪文,等.秸秆还田方式对种床土壤物理性质和小麦生长的影响[J].农业机械学报,2018,49(增刊1):60-67.
- [9] 刘红杰,任德超,倪永静,等.秸秆还田下减氮对土壤养分、酶活性和冬小麦产量的影响[J].作物杂志,2023(4):210-214.
- [10] 邱子健,申卫收,林先贵.化肥减量增效技术及其农学、生态环境效应[J].中国土壤与肥料,2022(4):237-248.
- [11] SUN R B, ZHANG X X, GUO X S, et al. Bacterial diversity in soils subjected to long-term chemical fertilization can be more stably maintained with the addition of livestock manure than wheat straw[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2015, 88: 9-18.
- [12] 赵吉平,权宝全,郭鹏燕,等.秸秆还田与施氮量对土壤质量及小麦产量的影响[J].华北农学报,2021,36(2):176-181.
- [13] KARHU K, MATTILA T, BERGSTROM I, et al. Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity-results from a short-term pilot field study[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2011, 140(1/2):309-313.
- [14] AHMAD M, RAJAPAKSHA A U, LIM J E, et al. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review[J]. Chemosphere, 2014, 99: 19-33.
- [15] JEFFERY S, VERHEIJEN F G A, VANDER VELDE M, et al. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2011, 144(1):175-187.
- [16] 严陶韬,高婷,周之栋,等.基于文献计量的生物炭土壤效应分析[J].江苏农业科学,2021,49(4):191-199.
- [17] 唐行灿,陈金林.生物炭对土壤理化和微生物性质影响研究进展[J].生态科学,2018,37(1):192-199.
- [18] 张曼,郝科星,张焕,等.菌肥与生物炭配施对设施西瓜生长及土壤理化性质的影响[J].中国瓜菜,2023,36(5):72-77.
- [19] 张晓丽,王国丽,常芳弟,等.生物菌剂对根际盐碱土壤理化性质和微生物区系的影响[J].生态环境学报,2022,31(10):1984-1992.
- [20] 李金花,高克祥,万利,等.微生物菌剂对楸树幼苗生长及根际土细菌群落结构的影响[J].生态学报,2020,40(21):7588-7601.
- [21] 王琳,胡凯基,及华,等.微生物菌剂对金银花生长和品质的调控[J].农业环境科学学报,2022,41(12):2817-2823.
- [22] 邱诗春,周静,徐燕,等.微生物菌剂对水稻产量及土壤养分的影响[J].南方农机,2022,53(16):52-54.
- [23] 熊宏斌,熊宏玉.复合微生物菌剂在宜良县生菜上的应用研究[J].云南农业科技,2019(5):13-15.
- [24] 万水霞,李帆,王静,等.微生物菌剂对青梗菜土壤理化性质及生长的影响[J].安徽农业科学,2022,50(24):160-162.
- [25] 黄志浩,王学虎,吴广利,等.微生物菌剂对玉米发芽及生长的影响[J].安徽农业科学,2022,50(21):28-30.
- [26] 吕亮雨,段国珍,李发毅,等.微生物菌剂对枸杞生长及土壤养分的影响[J].江苏农业科学,2023,51(1):168-175.
- [27] 侯婷婷,于德水,何鑫,等.复合微生物菌剂对大豆生长发育、结瘤和产量的影响[J].江苏农业科学,2023,51(10):65-72.
- [28] 焦存艳,马越,李华.淮南八公山豆腐农业文化遗产保护与活化路径分析[J].农业展望,2020,16(7):105-110.
- [29] 路青,马友华,胡善宝,等.安徽省沿淮大豆种植区氮磷流失特征研究[J].中国农学通报,2015,31(12):230-235.
- [30] 吴昱,赵雨森,刘慧,等.秸秆生物炭对黑土区坡耕地生产能力影响分析与评价[J].农业机械学报,2017,48(7):247-256.
- [31] 王红萍,步连燕,陈文峰,等.功能菌剂与生物炭配施对沙化土壤的影响[J].水土保持学报,2023,37(1):345-353.
- [32] 解国玲,张智浩,吴流通,等.生物炭配施微生物菌剂对白菜根肿病防控效果研究[J].西南农业学报,2023,36(1):105-111.
- [33] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2011.
- [34] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [35] 袁玉波,何坤.平塘县植烟土壤 pH 与土壤养分的相关性[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2013,39(增刊1):131-134.
- [36] 余坤,李建国,李百凤,等.不同秸秆还田方式对土壤质量改良效应的综合评价[J].干旱地区农业研究,2020,38(3):

- 213-221.
- [37] 罗洋,张桂玲,王芳,等.辣椒秸秆生物炭对黄壤化学特性及小白菜生长的影响[J].四川农业大学学报,2022,40(6):847-852.
- [38] WENG Z, VAN ZWIETEN L, SINGH B P, et al. Biochar built soil carbon over a decade by stabilizing rhizodeposits[J]. Nature Climate Change, 2017, 7(5):371-376.
- [39] 杨肖芳,郭瑞,姚燕来,等.微生物菌剂对连作地块草莓生长、土壤养分及微生物群落的影响[J].核农学报,2023,37(6):1253-1262.
- [40] SARANGI S, SWAIN H, ADAK T, et al. *Trichoderma*-mediated rice straw compost promotes plant growth and imparts stress tolerance[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(32):44014-44027.
- [41] 赵忠娟,杨凯,扈进冬,等.盐胁迫条件下哈茨木霉 ST02 对椒样薄荷生长及根区土壤理化性质的影响[J].生物技术通报,2022,38(7):224-235.
- [42] 汪坤,魏跃伟,姬小明,等.生物炭基肥与哈茨木霉菌剂配施对烤烟和植烟土壤质量的影响[J].作物杂志,2021(3):106-113.
- [43] 陈斐杰,夏会娟,刘福德,等.生物质炭特性及其对土壤性质的影响与作用机制[J].环境工程技术学报,2022,12(1):161-172.
- [44] 余端,冯牧野,李燕,等.秸秆生物炭对小白菜生长发育及土壤性质的影响[J].南方农业,2019,13(34):45-47.
- [45] 白雪,李小英,李俊龙,等.生物炭与菌肥配施对元宝枫育苗基质性质及幼苗生长的影响[J].江苏农业科学,2020,48(9):148-154.
- [46] 孙琪然,徐燕,相立,等.生物炭和菌肥的混合使用对苹果园连作土壤环境及平邑甜茶幼苗生理指标的影响[J].中国农学通报,2017,33(8):52-59.
- [47] 李丽,韩周,张昀,等.减氮配施微生物菌剂对水稻根系发育及土壤酶活性的影响[J].土壤通报,2019,50(4):932-939.
- [48] 杨志刚,叶英杰,常海文,等.微生物菌肥及土壤修复剂对干制辣椒生长、品质及产量的影响[J].北方园艺,2020(19):1-7.