

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

张曼¹, 郝科星¹, 张焕², 侯东颖¹, 侯富恩¹, 张涛¹

(1. 山西农业大学农业经济管理学院 太原 030006; 2. 临猗县气象局 山西临猗 044100)

摘要: 为明确生物炭与微生物菌肥合理配施的最佳用量, 以双抗 8 号西瓜为试材, 以常规施肥为对照, 在常规施肥基础上设 4 个菌肥与生物炭配施处理 (AB₀: 单施菌肥; AB₁: 菌肥+2000 kg·hm⁻²生物炭; AB₂: 菌肥+3000 kg·hm⁻²生物炭; AB₃: 菌肥+4000 kg·hm⁻²生物炭), 比较不同处理对根区土壤理化性质和西瓜长势、品质、产量及抗性等方面的影响。结果表明, 与对照相比, 菌肥配施中量生物炭 (AB₂) 可显著降低土壤容重、显著提高土壤有机质和有效养分含量、降低 pH 值; 西瓜的长势和抗病性随生物炭配施量的增加呈先提高后降低的趋势, AB₂ 处理表现最优, 西瓜茎粗和蔓长分别较对照显著提高 28.57% 和 28.09%, 枯萎病防效为 51.20%; AB₂ 处理果实的品质和产量也均高于其他处理, 维生素 C 含量和中心、边部可溶性固形物含量分别比对照显著提高 17.06%、15.38%、23.32%, 产量为 2 968.45 kg·667 m⁻², 增产率达 31.54%。综上, 可将 3000 kg·hm⁻² 生物炭作为菌肥最佳配施量应用于当地实际生产。

关键词: 西瓜; 设施栽培; 微生物菌肥; 生物炭

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)05-072-06

Effects of bacterial fertilizer combined with biochar on watermelon growth and soil physical and chemical properties in greenhouse

ZHANG Man¹, HAO Kexing¹, ZHANG Huan², HOU Dongying¹, HOU Fuen¹, ZHANG Tao¹

(1. College of Agricultural Economics and Management, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030006, Shanxi, China; 2. Linyi County Weather Bureau, Linyi 044100, Shanxi, China)

Abstract: In order to determine the optimal amount of biochar and microbial bacterial fertilizer, Shuangkang No. 8 watermelon was used as the test material, and conventional fertilization was used as the control. Four other treatments (AB₀: single application of bacterial fertilizer; AB₁: bacterial fertilizer + 2000 kg·hm⁻² biochar; AB₂: bacterial fertilizer + 3000 kg·hm⁻² biochar; AB₃: bacterial fertilizer + 4000 kg·hm⁻² biochar) were set up to compare the physicochemical properties of root zone soil and the growth, quality, yield and resistance of watermelon. The results showed that compared with the control, the bacterial fertilizer combined with medium amount of biochar (AB₂) could significantly reduce the soil bulk density, significantly increase the content of soil organic matter and available nutrients, and reduce the pH value. The growth vigor and disease resistance of watermelon increased first and then decreased with the increase of the amount of biochar, and AB₂ treatment was the best. The stem diameter and vine length of watermelon were significantly increased by 28.57% and 28.09% respectively compared with the control, and the control effect of fusarium wilt was 51.20%. The quality and yield of watermelon in AB₂ treatment were also better than those in other treatments. The content of vitamin C and the content of central and marginal soluble solids were significantly increased by 17.06%, 15.38% and 23.32% compared with the control. The yield was 2 968.45 kg·667m⁻², with an increase rate of 31.54%. In conclusion, 3000 kg·hm⁻² biochar can be used as the optimal amount of bacterial fertilizer for local actual production.

Key words: Watermelon; Greenhouse cultivation; Microbial fertilizer; Biochar

西瓜为葫芦科、西瓜属一年生藤本植物, 富含矿物质、维生素和多种氨基酸, 可清热解暑, 是消暑解渴之佳品, 深受大众喜爱, 在果蔬生产和消费中占据重要的地位, 有较高的市场价值。我国西瓜年

收稿日期: 2022-11-17; 修回日期: 2023-03-27

基金项目: 山西省面上青年基金项目 (201901D211560); 山西省重点研发计划项目 (201903D221083); 山西省农业科学院农业科技创新项目 (YCX2020206); 山西省重点研发计划项目 (2022ZDYF113)

作者简介: 张曼, 女, 助理研究员, 主要从事设施瓜菜品种选育、栽培技术研究。E-mail: 18735422246@163.com

通信作者: 郝科星, 男, 副研究员, 主要从事瓜菜育种与栽培研究工作。E-mail: haokexing2002@163.com

产量超 6000 万 t^[1], 占全球西瓜总产量的 60% 以上, 西瓜产业对于带动地方经济发展具有重要意义^[2]。设施栽培为现代瓜果蔬菜的主要高效发展模式, 栽培面积逐年迅速增加, 但由于设施内土壤集约化程度高, 常常处于高蒸发、低淋洗等非自然环境下, 且常年种植单一, 导致土壤出现不同程度的板结盐化、微生物群落结构异常、养分失衡, 土壤逐年恶化, 连作障碍问题愈发凸显。为追求高产和优质, 瓜农在生产中盲目大量施用化肥, 导致生产成本提高、肥料利用率下降, 我国北方设施土壤氮肥利用率仅为 24%, 磷肥利用率为 8%^[3]。高施肥量和低养分利用率进一步加速了土壤退化, 形成恶性循环, 严重威胁生态环境安全, 不符合农业可持续发展的要求。有研究表明, 大量施用化肥降低了土壤生物多样性^[4], 为实现化肥零增长目标, 利用替代肥替代部分化肥是设施产业发展的必然趋势^[5]。

生物炭是生物质原料在无氧或低氧条件下经热裂解产生的富碳难溶性炭化物, 细密多孔、比表面积大、具有极强的吸附性能, 含有较多的含氧活性基团。生物炭所固有的这些性质, 决定其施入土壤可提高土壤保水保肥性能、调节土壤温度、改良土壤团粒结构、吸附农残和重金属等污染物, 且能够补充土壤中的矿物质养分, 增强作物长势, 近年来被广泛应用于农业生产各个领域^[6]。有研究表明, 施加 5% 生物质炭, 可显著降低多种蔬菜的硝酸盐含量, 提高维生素 C 含量, 降低重金属 Cd 在蔬菜可食用部分的富集量^[7]; 以生物炭基质代替常规基质栽培草莓, 可有效提高草莓品质, 显著促进草莓生长^[8]; 生物炭用于改良盐渍土, 促进了土壤中 Na⁺ 的淋洗, 其释放的矿物质养分提高了作物对 Ca²⁺、K⁺、Mg²⁺ 等矿物元素的吸收, 抑制玉米的盐分胁迫氧化应激反应, 提高光合作用效率, 促进盐渍土玉米生产^[9]等。微生物肥料在我国的研究和生产已经有 50 多年的历史, 市场上常见的微生物肥料按其功能大致可分为微生物菌肥和微生物菌剂两大类^[10]。微生物菌肥富含大量有益菌株和适量有机质, 施入土壤可显著提高土壤养分含量^[11], 改善土壤微环境, 提高根际微生物活性, 促进植株生长。合理使用微生物菌肥可降低化肥使用量, 王明友等^[12]研究结果显示, 低量化肥配施微生物菌肥可显著提高设施黄瓜的产量和品质, 较对照(单施草炭基质)增产 43.3%, 大幅提升经济效益。施用微生物菌肥可有效拮抗西瓜根区病原菌, 缓解病原菌对西瓜根系的侵染^[13], 即外源菌肥增强了作物体内的抗病防御体

系, 进而提高西瓜对细菌性枯萎病的抗性。大量试验表明, 微生物菌肥对提高作物产量和品质、增强作物抗性、缓解连作障碍有很大的应用潜力^[14]。但菌肥受土壤温度、湿度、土壤理化性质等外部因素的影响较大, 且不同菌肥所含的菌种不同, 施入土壤后的影响作用机制不同, 产生的效果也不尽相同, 因此在实际生产中肥效并不稳定。

笔者利用生物炭和菌肥的互补特性, 将生物炭与菌肥配施, 生物炭的多孔结构和巨大的比表面积为微生物提供更多的生存空间, 提高了菌肥的生物活性; 适量的生物炭可提升土壤有机质含量, 而菌肥中的菌种赖以生存的基础是有足够的有机质, 因此可将生物炭作为菌肥的增效载体共同促进作物的生长^[15]。目前, 多数研究主要集中在单一生物炭或单一微生物菌肥对作物生长的影响方面, 但在施用生物菌肥的基础上, 再配施不同比例的生物炭在设施西瓜上的应用鲜有报道。笔者以山西晋中设施西瓜为研究对象, 设置不同生物炭施用量与微生物菌肥配施, 研究不同配施比例对设施西瓜生长、品质、产量和根区土壤理化性质的影响, 明确生物炭配施的最佳用量, 以期确定晋中地区的生物炭与微生物菌肥合理配施提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2021 年 3 月在山西农业大学东阳试验示范基地进行, 该地处于山西省中部, 年均气温约 9.8 °C, 属暖温带半湿润区, 年降水量在 420~480 mm。基础土样取自试验大棚内深 0~30 cm 区域, S 型多点取样, 混匀后带回实验室待自然风干过筛后测定。试区土壤类型为黏土, pH 值为 8.46、有机质含量(w, 后同)21.97 g·kg⁻¹、全氮含量 1.61 g·kg⁻¹、有效磷含量 58.96 mg·kg⁻¹、速效钾含量 215.32 mg·kg⁻¹。

1.2 材料

试验所用西瓜品种为双抗 8 号, 为山西农业大学生命科学学院提供的抗性较强的中熟品种; 微生物菌肥选用中国农业科学院原子能利用研究所研制的“加加旺”, 其有益菌(细黄链霉菌)含量≥2.0 亿个·g⁻¹, 有机质含量≥35%; 供试生物炭为竹炭, 由河南立泽环保科技有限公司生产。

1.3 试验设计

试验共设 5 个处理组: 常规施肥(CK, 牛粪 6 m³·667 m² + 三元复合肥 40 kg·667 m²); 然后在

常规施肥的基础上配施菌肥和生物炭,即单施菌肥处理(AB₀);菌肥+2000 kg·hm⁻²生物炭配施处理(AB₁);菌肥+3000 kg·hm⁻²生物炭配施处理(AB₂);菌肥+4000 kg·hm⁻²生物炭配施处理(AB₃)。其中菌肥配施量一定,以商品推荐量 1500 kg·hm⁻²施加,每个处理 3 次重复,共 15 个小区随机区组排列,小区面积为 20 m²(6 m×3.33 m)。

定植前 1 个月,清理干净大棚后用旋耕机进行旋翻,再整地做畦划分小区。各处理统一施入牛粪 6 m³·667 m²和三元复合肥 40 kg·667 m²作为基肥,小区之间纵铺 100 cm 厚塑料膜间隔开。定植前 2 周,将菌肥和生物炭按设置比例混匀,以条施方式施入对应小区内,再翻耕耙匀。试验采用沟垄覆膜种植模式,垄宽 300 cm,畦高 15 cm,畦面整平,每畦两侧各铺设一条滴灌带,最后用黑色地膜进行垄面垄沟全覆盖。于 2021 年 3 月 14 日在育苗棚播种育苗,选用 50 孔穴盘,4 月 29 日定植至试验棚,瓜苗株距设为 45 cm,行距 1.5 m,植株对爬,每小区定植 26 株,定植后各处理田间管理措施同当地,水肥管理各处理均一致,采用水肥一体化模式,于 7 月 26 日采收西瓜。收瓜后采集土样,每小区按对角线法取 5 个点混匀,用于土壤养分指标的测定。

1.4 测定指标

1.4.1 土壤指标测定 土壤质量:环刀取样,每小区取相邻的 2 个点,再转移至铝盒中于 105 °C 恒温烘箱内烘至恒质量;铝盒于 105 °C 恒温烘箱内烘干后测定土壤含水量;水土质量比按 2.5:1 制成悬浊液,静止后取其上清液用 pH 计测定土壤 pH 值;采用凯氏定氮法测定土壤全氮含量^[16];采用碳酸盐浸提、钼锑抗比色法测定土壤有效磷含量^[16];采用乙酸铵浸提、火焰光度计测定土壤速效钾含量^[16];采用重铬酸钾氧化、硫酸外加热法测定土壤有机质含量^[16];采用水土比 5:1 浸提水溶盐,浸出液直接用电导仪测定土壤全盐量。(注:每个样品 3 次重复)

1.4.2 西瓜生长指标、产量测定 膨瓜期用数显卡尺测主蔓第 2 节位茎粗(mm);于定植 50 d 时调查

记录植株的发病情况并计算病情指数和相对防治效果:病情指数=(∑(各级株数×发病级数)/总株数)×最高病级×100;相对防治效果%=(对照病情指数-处理病情指数)/对照病情指数×100;采收前用卷尺测主蔓蔓长(m);西瓜拉秧后按小区进行单株计产(kg·667 m²);采收后用直尺测西瓜横纵径和皮厚(mm);用 TD-45 型号手持数字折射计测定西瓜中心和边缘可溶性固形物含量;采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定^[16]西瓜维生素 C 含量。(注:西瓜生长指标每小区均随机测 6 株,品质指标每小区随机测 5 个西瓜)

1.5 数据分析

采用 Excel 2007 对数据进行整理分析;运用 SPSS 22.0 进行数据比较和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 菌肥与生物炭配施对土壤理化性状的影响

由表 1 可知,菌肥与不同量生物炭配施对设施大棚内土壤理化性状产生不同的影响。物理性质方面,与 CK 相比,单施菌肥、菌肥与生物炭配施各处理均可降低土壤容重,其中菌肥配施中量生物炭(AB₂)处理最为显著,土壤容重比 CK 显著降低 7.69%;各处理的土壤含水量均比 CK 有所提高,仅 AB₁ 处理与 CK 差异显著,AB₀、AB₁、AB₂、AB₃ 分别比 CK 提高 3.37%、23.47%、6.61%、8.12%。化学性质方面,土壤全氮和土壤有机质含量均随着生物炭配施量增加而呈递增趋势,但各处理之间全氮含量无显著差异;菌肥与生物炭配施处理(AB₁、AB₂、AB₃)有机质含量均显著高于对照 CK,分别比 CK 提高 28.40%、33.17%、37.10%,菌肥配施中、高量生物炭处理(AB₂、AB₃)有机质含量显著高于单施菌肥处理(AB₀),其中 AB₃ 处理有机质含量最高,比 AB₀ 提高 20.59%;除 AB₃ 处理外,其他处理土壤有效磷含量也均随生物炭配施量增加而呈递增趋势,菌肥配施中、高量生物炭处理(AB₂、AB₃)土壤有效磷含量显著高于单施菌肥处理(AB₀)和 CK,其中 AB₂ 有

表 1 不同处理对土壤理化性质的影响

处理	容重/ (g·cm ⁻³)	含水量/%	w(全氮)/ (g·kg ⁻¹)	w(有效磷)/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效钾)/ (mg·kg ⁻¹)	w(有机质)/ (g·kg ⁻¹)	pH	w(全盐)/ (g·kg ⁻¹)
CK	1.30±0.02 a	14.53±0.86 b	1.79±0.13 a	84.16±3.92 b	375.00±6.77 a	26.44±1.13 c	8.43±0.04 a	1.22±0.03 b
AB ₀	1.25±0.02 ab	15.02±1.42 b	1.80±0.06 a	85.15±11.43 b	331.86±10.52 b	30.06±0.73 bc	8.25±0.09 ab	1.55±0.05 a
AB ₁	1.22±0.10 ab	17.94±1.83 a	1.85±0.32 a	104.18±15.48 ab	370.36±12.81 a	33.95±1.60 ab	8.32±0.09 ab	1.17±0.13 b
AB ₂	1.20±0.05 b	15.49±0.79 b	1.89±0.34 a	130.30±9.41 a	346.34±15.99 ab	35.21±2.05 a	8.15±0.07 b	1.09±0.06 b
AB ₃	1.22±0.07 ab	15.71±0.66 b	2.06±0.47 a	124.49±6.61 a	349.02±5.76 ab	36.25±0.41 a	8.30±0.07 ab	1.16±0.07 b

注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

效磷含量最高,比CK显著提高54.82%;与CK相比,各处理均降低了土壤pH值,仅AB₂处理pH值与CK达显著差异水平;除AB₀处理显著提高土壤盐分含量外,菌肥与生物炭配施各处理均降低了土壤盐分含量,其中AB₂土壤全盐含量最低;各处理土壤速效钾含量均较CK有所降低,其中AB₀处理土壤速效钾含量比CK显著降低11.50%。

2.2 菌肥与生物炭配施对设施西瓜生长及枯萎病防治的影响

由表2可知,与CK相比,单施菌肥、菌肥与生物炭配施各处理均可显著提高西瓜茎粗,其中AB₂茎粗值最大,比对照提高28.57%;各处理西瓜蔓长也均大于CK,其中AB₂、AB₃处理较CK分别显著提高28.09%、26.40%;各处理病情指数均与CK存在显著差异,病情指数表现为AB₂<AB₁<AB₀<AB₃,AB₂处理枯萎病防治效果最为突出,为51.20%,显著高于其他处理。

表2 不同处理对设施西瓜长势及枯萎病防治的影响

处理	茎粗/mm	蔓长/m	病情指数	相对防效/%
CK	6.23±0.60 c	3.56±0.42 b	40.06±1.20 a	
AB ₀	7.47±0.42 b	4.07±0.90 ab	28.53±0.91 b	28.80 c
AB ₁	7.67±0.78 ab	4.12±0.96 ab	23.40±0.45 c	40.80 b
AB ₂	8.01±0.37 a	4.56±0.71 a	19.55±1.63 d	51.20 a
AB ₃	7.75±0.93 ab	4.50±1.07 a	29.17±2.40 b	27.20 c

2.3 菌肥与生物炭配施对设施西瓜果实外观品质的影响

由表3可以看出,AB₀、AB₁、AB₂、AB₃处理西瓜果实纵径、横径均大于CK,但除AB₂处理外均与CK差异不显著,其中AB₂处理果实纵径、横径均为最大,显著大于CK;各处理西瓜果皮厚度也较CK处理有所降低,AB₂处理果皮厚度最低,比CK降低13.83%,但差异不显著;AB₂处理果形指数最大,西瓜外形椭圆形状更加明显,但各处理果形指数之间无显著差异。

表3 不同处理对设施西瓜果实外观品质的影响

处理	纵径/cm	横径/cm	果皮厚度/cm	果形指数
CK	19.95±1.86 b	15.86±1.13 b	0.94±0.049 a	1.25 a
AB ₀	20.87±2.01 ab	16.41±1.37 ab	0.91±0.057 a	1.27 a
AB ₁	20.10±2.99 b	16.03±0.99 b	0.91±0.057 a	1.25 a
AB ₂	22.06±3.12 a	17.23±1.72 a	0.81±0.068 a	1.28 a
AB ₃	20.75±1.76 ab	16.25±1.56 ab	0.89±0.025 a	1.27 a

2.4 菌肥与生物炭配施对设施西瓜果实品质的影响

由表4可以看出,AB₀、AB₁、AB₂、AB₃处理均可提高果实中心、边部可溶性固形物含量和维生素C含量,其中AB₁、AB₂处理果实中心、边部可溶性固

形物含量及维生素C含量均与CK差异显著,AB₂处理中心和边部可溶性固形物含量最高,分别较CK显著提高15.38%和23.31%,较单施菌肥(AB₀)分别显著提高10.26%和13.04%,AB₂处理维生素C含量也最高,为98.1 mg·kg⁻¹,较CK显著提高17.06%;各处理单瓜质量均显著高于CK,AB₂单瓜质量最高,比CK显著提高31.54%。由此可见,在提升西瓜果实综合品质方面,AB₂处理效果最为显著。

表4 不同处理对设施西瓜果实品质的影响

处理	w(中心可溶性固形物)/%	w(边部可溶性固形物)/%	w(维生素C)/(mg·kg ⁻¹)	单瓜质量/kg
CK	9.69±0.26 c	7.38±0.20 c	83.8±0.29 b	2.60±0.14 b
AB ₀	10.14±0.27 bc	8.05±0.35 bc	92.9±0.30 a	3.03±0.19 a
AB ₁	10.69±0.22 ab	8.86±0.26 ab	94.6±0.39 a	3.05±0.15 a
AB ₂	11.18±0.36 a	9.10±0.21 a	98.1±0.23 a	3.42±0.38 a
AB ₃	10.46±0.31 abc	8.43±0.41 ab	91.2±0.28 ab	3.00±0.22 a

2.5 菌肥与生物炭配施对设施西瓜产量的影响

由表5可以看出,AB₀、AB₁、AB₂、AB₃各处理西瓜小区产量均显著高于CK,且各处理之间西瓜小区产量差异不显著。与CK相比,折合667 m²产量AB₀处理增产373.22 kg,增产率为16.54%;AB₁处理增产390.58 kg,增产率为17.31%;AB₂处理增产幅度最大,增产711.73 kg,增产率高达31.54%;AB₃处理增产347.19 kg,增产率为15.38%。

表5 不同处理对各小区西瓜产量的影响

处理	小区产量/kg	折合667 m ² 产量/kg	比CK/+%
CK	67.60 b	2 256.72 b	
AB ₀	78.78 a	2 629.94 a	16.54
AB ₁	79.30 a	2 647.30 a	17.31
AB ₂	88.92 a	2 968.45 a	31.54
AB ₃	78.00 a	2 603.91 b	15.38

3 讨论与结论

土壤理化性状直接影响作物根系的生长与养分吸收,根系区域环境是作物生存之根本^[17]。设施大棚内西瓜连作障碍尤为凸显,笔者研究发现,设施大棚根系区土壤各项理化指标不理想,土壤板结硬化、容重升高、盐分总量较高、pH值偏高、土壤有机质含量较低、土壤养分失调等进一步导致作物产量与品质不高,这与前人研究结果一致^[18-19]。单施微生物菌肥后,土壤容重和含水量均有改善,土壤养分总量升高,速效养分含量显著降低,即微生物菌肥施入土壤可改善土壤团粒结构,起到培肥地力的效果,促进西瓜对速效养分的吸收^[20-21],这与李

双喜等^[22]关于微生物有机肥对连作西瓜土壤性状的研究结果相一致。菌肥与生物炭配施较单施菌肥在改善土壤物理性状、均衡土壤养分上效果更好,且3个配施处理均降低了土壤全盐量,可减轻盐分对根系的伤害,其中以菌肥配施中量生物炭(AB_2)对土壤容重、土壤有效磷含量、土壤pH的影响最为显著;以菌肥配施低量生物炭(AB_1)对土壤含水量的影响最大。

植株茎粗、蔓长反映了作物的长势。束秀玉^[23]研究表明,当外源生物炭施用量为2%时,西瓜幼苗茎粗较对照显著提高32.09%;白雪等^[15]研究结果显示,固定量生物炭配施中量菌肥($20\text{ g}\cdot\text{盆}^{-1}$)处理显著促进元宝枫幼苗株高、茎粗的增长。笔者研究结果表明,菌肥配施中、高生物炭(AB_2 、 AB_3)处理均可显著提高西瓜茎粗和蔓长,增强西瓜长势。较强的长势进而促进了养分在作物体内的积累。陈修斌等^[24]在不同基质对比对设施西葫芦生长的影响研究中得出幼苗的干、鲜质量可反映营养成分与同化物质在作物体内的积累量,而同化物质积累转化的结果最终体现在果实外观形态上。菌肥配施中量生物炭(AB_2)处理西瓜横、纵径均较其他处理高,纵径、横径分别比CK提高10.58%、8.64%;单瓜质量也以 AB_2 处理为最大,显著高于CK 31.54%。

生物炭具有强吸附性,且本身富含多种矿质元素,微生物菌肥富含大量有益菌株和适量有机质,生物炭作为菌肥的载体与菌肥配施入土壤后,可补充土壤中的矿物质养分,改善根区微生态环境,提高土壤酶活性^[25],且其吸附缓释养分的性能可提高养分利用率,促进土壤养分转化与吸收,改善作物品质。有研究表明,设施菜地生物炭施加量为 $4000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,番茄的含糖量和维生素C含量均达最高,综合品质提升最显著^[26]。与之相符,笔者的试验菌肥配施低、中量生物炭处理(AB_1 、 AB_2)均显著提高西瓜果实的中心、边部可溶性固形物含量和维生素C含量, AB_2 效果优于 AB_1 , AB_2 处理西瓜中心可溶性固形物含量比 AB_1 处理提高4.58%, AB_2 处理西瓜维生素C含量比 AB_1 处理提高3.70%。西瓜果皮厚度作为反映果实品质的指标之一,果皮过厚降低可食率,果皮过薄又易裂,造成采收和运输的不便,本试验各处理对西瓜果皮厚度无明显影响。

邱岭军等^[27]在烤烟种植中施加不同用量生物炭,对烟叶产质量及产值进行分析得出,生物炭用量为 $3000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时烤烟产量最高,烟叶品质最

佳。笔者研究中单施菌肥、菌肥与生物炭配施均显著提高西瓜产量,其中菌肥配施中量生物炭(AB_2)处理的设施西瓜产量最高,较对照每 667 m^2 产量提升31.54%,各处理西瓜增产率表现为 $AB_2>AB_1>AB_0>AB_3$ 。结果表明,设施西瓜产量与配施生物炭用量并不呈正相关,只有科学合理的配施比例,才能更好地激发生物炭与菌肥之间的互补效用,达到增产增质的效果。

综上所述,该试验研究了在常规施肥的基础上单施菌肥(AB_0)、菌肥与低、中、高量生物炭配施(AB_1 、 AB_2 、 AB_3)共4种处理对设施大棚内根系土壤理化性质以及设施西瓜品质与产量的影响。最终以菌肥配施中量生物炭(AB_2)在降低土壤容重、提升土壤有效养分含量、增强西瓜长势、提高防治枯萎病效果、提高西瓜品质和产量方面效果最佳,在实际生产上可作为最佳配施比例应用于设施西瓜栽培。

参考文献

- [1] 刘文革. “十三五”我国西瓜遗传育种研究进展[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(12): 1-9.
- [2] 莫言玲, 郑俊鸾, 杨瑞平, 等. 不同西瓜基因型对干旱胁迫的生理响应及其抗旱性评价[J]. 应用生态学报, 2016, 27(6): 1942-1952.
- [3] 余海英, 李延轩, 张锡洲. 温室栽培系统的养分平衡及土壤养分变化特征[J]. 中国农业科学, 2010, 43(3): 514-522.
- [4] 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.
- [5] 孙晓, 姜学玲, 崔玉明, 等. 有机肥替代对设施番茄产量、品质与土壤性质的影响[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(4): 46-52.
- [6] 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.
- [7] 吴琦, 邵勤. 施用生物炭对不同蔬菜生长发育及重金属镉污染吸收的影响[J]. 北方园艺, 2021(9): 1-7.
- [8] 聂萍, 袁希元, 赵方奎, 等. 生物炭基质对无土栽培草莓生长及果实品质的影响[J]. 安徽农学通报, 2020, 26(22): 57-59.
- [9] 连裕宽, 朱成立, 黄明逸, 等. 不同盐渍土中生物炭对玉米生理生长的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2021, 39(4): 426-432.
- [10] 谢明杰, 程爱华, 曹文伟. 我国微生物肥料的研究进展及发展趋势[J]. 微生物学杂志, 2000, 20(4): 42-45.
- [11] 王奎奎, 李建贵, 刘隋赞, 等. 不同施肥措施对灰枣园土壤速效养分含量的影响[J]. 经济林研究, 2016, 34(2): 35-40.
- [12] 王明友, 李光忠, 杨秀凤, 等. 微生物菌肥对保护地黄瓜生育及产量、品质的影响研究初报[J]. 土壤肥料, 2003(3): 38-41.
- [13] 凌宁, 王秋君, 杨兴明, 等. 根际施用微生物有机肥防治连作西瓜枯萎病研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5): 1136-1141.
- [14] 解静, 杨凤丽, 陈丽萍, 等. 施用不同微生物菌肥对设施连作西

- 瓜农艺性状的影响[J].浙江农业科学,2014(11):1709-1711.
- [15] 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.
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [17] 武春成,王彩云,曹霞,等.不同用量生物炭对连作土壤改良及黄瓜生长的影响[J].北方园艺,2017(19):150-154.
- [18] GAO Z Y, HAN M Y, HU Y Y, et al. Effects of continuous cropping of sweet potato on the fungal community structure in rhizospheric soil[J].Frontiers in Microbiology,2019,10:2269.
- [19] 滕凯,陈前锋,周志成,等.烟草连作障碍与土壤理化性质及微生物多样性特征的关联[J].微生物学通报,2020,47(9):2848-2856.
- [20] 李乐,孙海,刘政波,等.微生物肥料的作用、机理及发展方向[J].东北农业科学,2016,41(4):63-69.
- [21] 吕卫光,张春兰,袁飞,等.有机肥减轻连作对黄瓜自毒作用的影响[J].上海农业学报,2002,18(2):52-56.
- [22] 李双喜,沈其荣,郑宪清,等.施用微生物有机肥对连作条件下西瓜的生物效应及土壤生物性状的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(2):169-174.
- [23] 束秀玉.施用生物炭对西瓜幼苗枯萎病的影响及其作用机制[J].河南农业科学,2020,49(11):91-97.
- [24] 陈修斌,钱国兰,李翊华,等.不同种类基质比对戈壁温室西葫芦幼苗生长及生理特性的影响[J].中国瓜菜,2021,34(6):64-67.
- [25] 赵晓军,李丽,张璇,等.生物炭与微生物菌剂配施对土壤生物和化学特性的影响[J].安徽农业科学,2018,46(25):109-112.
- [26] 吴珏,李建勇,郭欣欣.生物炭对设施菜田土壤理化性状及番茄生长的影响[J].蔬菜,2020(4):25-30.
- [27] 邱岭军,张翔,李亮,等.生物炭施用量对土壤特性和烟叶产质量的影响[J].安徽农业科学,2020,48(18):153-156.