

黄馨怡, 陆建增, 周丽颜, 等. 添加生物炭对连作黄瓜生长及营养吸收的影响 [J]. 福建农业学报, 2023, 38 (6): 707-713.

HUANG X Y, LU J Z, ZHOU L Y, et al. Effects of Biochar Addition in Soil on Growth and Nutrient-uptake of Monocropped Cucumber Plants [J].

Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2023, 38 (6): 707-713.

添加生物炭对连作黄瓜生长及营养吸收的影响

黄馨怡, 陆建增, 周丽颜, 吴凤芝, 高丹美*

(东北农业大学园艺园林学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:【目的】添加生物炭在改善土壤结构、提高土壤肥力, 促进微生物活性和功能等方面发挥作用, 并在消减作物连作障碍中起正向调控作用, 但最大程度消减连作土壤障碍的最适生物炭添加量还不清楚。因此, 本试验探究添加不同比例生物炭对黄瓜生长及营养吸收的作用, 以期明确适宜生物炭添加量, 为消减黄瓜连作障碍及设施农业健康发展提供新思路。【方法】以黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 为试验材料, 通过盆栽试验, 添加质量分数分别为 0.5%、1%、2%、3% 的生物炭, 并以不添加生物炭处理为对照, 研究添加不同量生物炭对黄瓜生长及营养吸收的影响。【结果】随着生物炭施加量的增加黄瓜幼苗干鲜重呈先增加后降低的趋势, 其中添加 1% 生物炭处理的黄瓜幼苗干鲜重最高。同时, 随着生物炭施加量的增加黄瓜幼苗植株氮、磷、钾质量浓度和含量也呈现出先增加后降低的趋势, 添加 1% 生物炭处理的黄瓜幼苗植株氮、磷、钾质量浓度最高, 均显著高于对照处理 ($P < 0.05$)。随着生物炭施加量的增加, 黄瓜连作土壤 pH 以及土壤有机碳含量呈现上升趋势, 与对照相比, 添加 2% 生物炭显著提高了土壤速效钾的含量 ($P < 0.05$), 添加 2%、3% 生物炭处理显著提高了土壤有效磷的含量 ($P < 0.05$), 添加 1% 生物炭处理显著提高了土壤碱解氮的含量 ($P < 0.05$)。【结论】添加适宜量的生物炭在促进黄瓜生长方面发挥了重要作用, 在连作土壤中添加质量分数为 1% 的生物炭, 对黄瓜生长的促进作用最大, 而添加生物炭含量过高时会抑制黄瓜的生长。

关键词: 生物炭; 黄瓜; 生长; 土壤养分; 植株营养

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2023) 06-0707-07

Effects of Biochar Addition in Soil on Growth and Nutrient-uptake of Monocropped Cucumber Plants

HUANG Xinyi, LU Jianzeng, ZHOU Liyan, WU Fengzhi, GAO Danmei*

(College of Horticulture and Landscape Architecture, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: 【Objective】 Effects of adding biochar in soil on the growth and nutrient-uptake of continuous monocropped cucumber plants were studied. 【Methods】 A pot experiment was performed on cucumber seedlings grown in soil without (CK) or with various concentrations of biochar at 0.5%, 1%, 2%, and 3%. Growth and nutrients absorption by the plants were monitored to determine the effects and optimal application of the soil conditioner. 【Results】 The fresh and dry weights as well as the nitrogen, phosphorus, and potassium contents of the cucumber seedlings increased significantly as the amount of added biochar increased but declined at higher levels of the addition. With 1% added biochar in soil, the biomass and the contents of nitrogen, phosphorus, and potassium in the plants peaked. The pH and organic carbons in soil underwent an upward trend with increasing biochar. Compared to CK, adding 2% biochar to the potting soil significantly improved the contents of available potassium, 2% and 3% significantly elevated that of available phosphorus, and 1% significantly rose that of alkali hydrolysis nitrogen. 【Conclusion】 As commonly known, presence of biochar can improve the structure, fertility, and microbial activity in soil. In this study, it was found that an addition of the soil conditioner at 1% level achieved not only the desirable effects on the soil but also on the growth of continuous monocropped cucumber plants.

Key words: Biochar; cucumber; plant growth; soil nutrients; plant nutrient uptake

收稿日期: 2023-01-28 初稿; 2023-05-04 修改稿

作者简介: 黄馨怡 (2000—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 设施园艺与蔬菜生理生态 (E-mail: 3289017224@qq.com)

* 通信作者: 高丹美 (1989—), 女, 副教授, 研究方向: 设施园艺与蔬菜生理生态 (E-mail: dmgao2019@neau.edu.cn)

基金项目: 国家自然科学基金青年项目 (32102464); 黑龙江省自然科学基金 (LH2020C013); 中国博士后科学基金面上项目 (2022MD713726); 黑龙江省博士后基金面上项目 (LBH-Z22004)

0 引言

【研究意义】随着我国设施蔬菜专业化和规模化生产的发展,不合理的集约化种植模式导致的土壤质量下降、产量和品质降低、土传病害加剧等连作障碍问题日益突出^[1]。黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是我国设施园艺栽培的第一大蔬菜作物,在蔬菜产业中地位十分重要,然而连作障碍的大量发生给黄瓜生产带来了严重的经济损失。连作障碍的传统防控手段仍以“大药大肥”为主,这严重影响了食品和生态环境安全^[2]。因此,探求防控连作障碍的生态安全型有效措施迫在眉睫,这关系到我国设施蔬菜产业的可持续健康发展。生物炭具有较大的孔隙度和比表面积以及较强的吸附能力,能够调节土壤的酸碱性,防止土壤酸化。生物炭还能提高土壤微生物活性,并为微生物提供适宜的生活环境,使土壤中的各种养分能够快速被微生物分解,进而提高植株的养分吸收效率^[3]。但生物炭对连作障碍的调控作用易受土壤中生物炭添加量的影响^[4]。因此,明确适宜生物炭添加量进而最大程度缓解土壤连作障碍至关重要,有利于设施蔬菜的绿色健康发展。【前人研究进展】连作障碍导致作物产量下降,病虫害加剧,作物长势和质量变差,土壤理化性质恶化,土壤微生物多样性受到影响^[5]。然而,向连作土壤中添加生物炭,可以对连作障碍有较为明显的缓解作用^[6]。已有研究表明,添加生物炭不仅能够吸收植株根部产生的有毒物质,降低其对作物产生的毒害作用,还可以提高植株体内 N、P、K 含量,促进植株在连作土壤中的生长,并显著提高植株产量^[7]。但不同研究添加生物炭量不同,所得结果也不尽相同,如武春成等研究发现添加 1% 生物炭可以促进植株生长,提高植株对土壤养分的吸收^[8],而陈森等研究发现当土壤中所施用的生物炭量大于 2% 时会对植株产生胁迫作用,抑制植株的生长^[9]。上述结果表明不同生物炭添加量会对植株生长产生不同影响。因此,需要明确适合植株生长的生物炭添加量。此外,添加生物炭还可以改良土壤酸性,提高土壤 pH,提升土壤有机质及速效养分含量,维持土壤环境稳定性,调节土壤微生物,并对其起到重要的保护和恢复作用^[10]。【本研究切入点】尽管众多研究已发现添加生物炭能改善连作土壤理化和生物学性质、提高土壤肥力、促进植株生长,但不同研究添加生物炭量不同,其对土壤性质和作物生长的调控作用也不同,这种调控作用可能是正向的,也可能是负向的,确

定最适生物炭添加量迫在眉睫。关于生物炭添加量对缓解黄瓜连作障碍的相关研究有待深入进行。【拟解决科学问题】通过盆栽试验,以设置添加不同量的生物炭(0.5%、1%、2%、3%)为处理,探讨添加不同用量生物炭对黄瓜生长、植物营养、土壤速效养分含量的影响,以期明确最适生物炭添加量,为设施蔬菜的可持续发展提供理论依据与实践基础。

1 材料与方法

1.1 试验概况

供试土壤:哈尔滨向阳科研基地大棚的连作黄瓜土壤,土壤类型为黑土。土壤养分含量为:全氮 $2.53 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷 $3.26 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾 $11.35 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全碳 $30.41 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,有机质 $52.43 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $98.24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷 $79.63 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $121.67 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH 为 6.41,EC 值为 $5.77 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。

试验材料:供试黄瓜品种为新津研四号,供试生物炭购于辽宁省生物炭工程技术中心(基本理化性质为平均孔径 16.27 nm ,粒径 $1.5\sim 2.0 \text{ nm}$,全碳 70.38%,全氮 1.53%,全磷 0.78%,全钾 1.68%,pH 8.97)。

1.2 试验方法

试验于 2022 年 4-6 月在东北农业大学设施工程中心和园艺园林学院设施园艺与蔬菜生理生态研究室进行,试验采用盆栽方式,规格为 $160 \text{ mm}\times 140 \text{ mm}$,每个盆中所装土壤与生物炭混合物共 650 g,进行随机区组设计,共设置 5 个处理:(1) 0.5% 处理:添加质量分数为 0.5% 的生物炭(0.5%),(2) 1% 处理:添加质量分数为 1% 的生物炭(1%),(3) 2% 处理:添加质量分数为 2% 的生物炭(2%),(4) 3% 处理:添加质量分数为 3% 的生物炭(3%),(5) 不添加生物炭处理(CK),每处理 3 次重复,每个重复 15 盆,共 225 盆。黄瓜幼苗子叶展平时定植,每盆 1 株,常规管理。

分别于定植后 10 d、20 d 取样,各重复随机取 5 株,进行植株生物量的测定。先将植株烘干,烘干后的植株进行研磨,用于植株养分的测定。采用抖根法,收集不同处理根区土壤样品,每个重复随机取 3 株黄瓜根际土壤,风干,用于测定土壤速效钾、有效磷、碱解氮、有机碳含量、土壤 pH 和 EC 值。

1.3 项目测定

1.3.1 植物干重、鲜重以及植株养分的测定 首先将黄瓜幼苗清洗干净,用滤纸吸干植株表面水分,采用电子分析天平(PL303,上海梅特勒-托利多仪器有限公司)测定黄瓜幼苗单株的鲜重;再将黄瓜

幼苗整株放入烘箱（DH-9053A，上海益恒实验仪器有限公司）中，80℃烘干到重量保持不变，取出后用电子分析天平测定单株干重^[11]；将烘干的植株研磨碎，过0.3 mm筛，用H₂SO₄-H₂O₂进行高温消煮后，再使用流动分析仪（HY-CFA-2000，上海环仪电子科技有限公司）进行黄瓜幼苗氮（N）、磷（P）、钾（K）积累量的测定^[12]。

1.3.2 土壤 pH、EC 值以及土壤养分的测定 土壤 pH 采用去离子水浸提（水土比 5:1），pH 计测定；土壤 EC 值采用去离子水浸提（水土比 5:1），电导率仪测定；土壤有效磷（Olsen-P）含量采用 0.5 mol L⁻¹ 碳酸氢钠浸提，浸提液使用流动分析仪（San⁺，荷兰 SKALAR 公司）进行测定^[13]；土壤速效钾（AK）含量采用 1 mol L⁻¹ 醋酸铵浸提，火焰光度计法测定^[14]；土壤碱解氮（AN）含量采用碱解扩散法测定；土壤有机碳（SOC）含量采用重铬酸钾外加热法测定^[15]。

1.4 数据处理

采用 OriginPro 8.5.1 软件对数据进行统计分析和作图，利用 SPSS Statistics 21 分析软件对数据进行差异显著性检验（Duncan's 新复极差法 $P < 0.05$ ）。

2 结果与分析

2.1 生物炭对黄瓜幼苗鲜重和干重的影响

随着生物炭添加量的增加，黄瓜幼苗鲜干重呈先升高后降低的趋势（图 1），其中添加 1% 生物炭处理的黄瓜幼苗鲜干重最高，并且添加 1% 生物炭处理黄瓜幼苗鲜重显著高于其他各个处理（ $P < 0.05$ ）；20 d 时，添加 1% 生物炭处理黄瓜幼苗干重显著高于其他各个处理（ $P < 0.05$ ），与对照相比，添加 2% 和 3% 生物炭处理显著降低了黄瓜幼苗鲜干重（ $P < 0.05$ ）。

2.2 生物炭对黄瓜幼苗植株营养积累的影响

2.2.1 对黄瓜幼苗植株 N 质量浓度和积累量的影响

随着生物炭添加量的增加，黄瓜幼苗植株 N 质量浓度和积累量呈先上升后降低的趋势（图 2-A、D），其中添加 1% 生物炭处理的黄瓜幼苗植株 N 质量浓度和积累量显著高于其他处理（ $P < 0.05$ ）；20 d 时，与对照相比，添加 2% 和 3% 生物炭处理显著降低了黄瓜幼苗植株 N 质量浓度和积累量（ $P < 0.05$ ）。

2.2.2 对黄瓜幼苗植株 P 质量浓度和积累量的影响

随着生物炭添加量的增加，黄瓜幼苗植株 P 质量浓度和积累量呈先上升后降低的趋势（图 2-B、E），其中添加 1% 生物炭处理的黄瓜幼苗植株 P 质量浓度和积累量最高。10 d 时，添加 1% 生物炭处理黄瓜幼

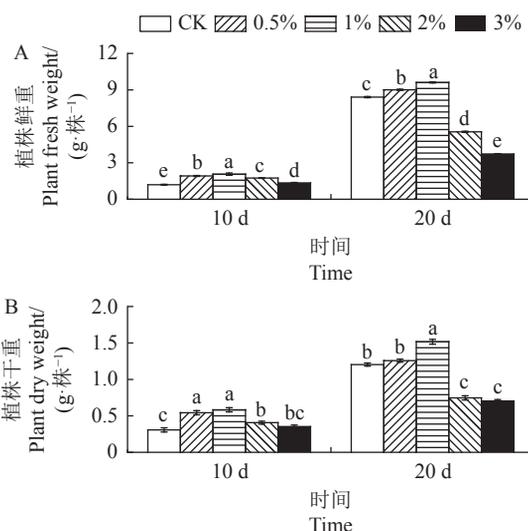


图 1 添加生物炭对黄瓜幼苗鲜重和干重的影响

Fig. 1 Effect of biochar addition on fresh and dry weights of cucumber seedlings

苗植株 P 质量浓度和积累量显著高于其他处理（ $P < 0.05$ ）；20 d 时，与对照相比，添加 2% 和 3% 生物炭处理显著降低了黄瓜幼苗植株 P 质量浓度和积累量（ $P < 0.05$ ）。

2.2.3 对黄瓜幼苗植株 K 质量浓度和积累量的影响

随着生物炭添加量的增加，黄瓜幼苗植株 K 质量浓度和积累量呈先上升后降低的趋势（图 2-C、F），其中添加 1% 生物炭处理的黄瓜幼苗植株 K 质量浓度和积累量最高。10 d 时，添加 1% 生物炭处理黄瓜幼苗植株 K 质量浓度和积累量显著高于其他处理（ $P < 0.05$ ）；20 d 时，与对照相比，添加 2% 和 3% 生物炭处理显著降低了黄瓜幼苗植株 K 质量浓度和积累量（ $P < 0.05$ ）。

2.3 生物炭对黄瓜幼苗土壤 pH、EC 值的影响

随着生物炭添加量的增加，黄瓜幼苗土壤 pH 大体呈现上升趋势（图 3-A），而土壤 EC 值大体呈现下降趋势（图 3-B），其中添加 3% 生物炭处理的黄瓜幼苗土壤 pH 最高，10 d 时，添加 3% 生物炭处理的黄瓜幼苗土壤 pH 显著高于其他处理（ $P < 0.05$ ）；20 d 时，添加 3% 生物炭处理的黄瓜幼苗土壤 EC 值显著高于其他处理（ $P < 0.05$ ）。

2.4 生物炭对黄瓜幼苗土壤速效养分含量的影响

随着生物炭添加量的增加，10 d 时，黄瓜幼苗土壤速效钾含量和有效磷含量呈上升趋势，其中添加 3% 生物炭处理的黄瓜幼苗土壤速效钾含量和有效磷含量最高；20 d 时，黄瓜幼苗土壤速效钾含量和有效磷含量呈先上升后降低趋势，其中添加 2% 生物炭处理的黄瓜幼苗土壤速效钾和有效磷含量显著高于其他处理（ $P < 0.05$ ）（图 4-A、B）。

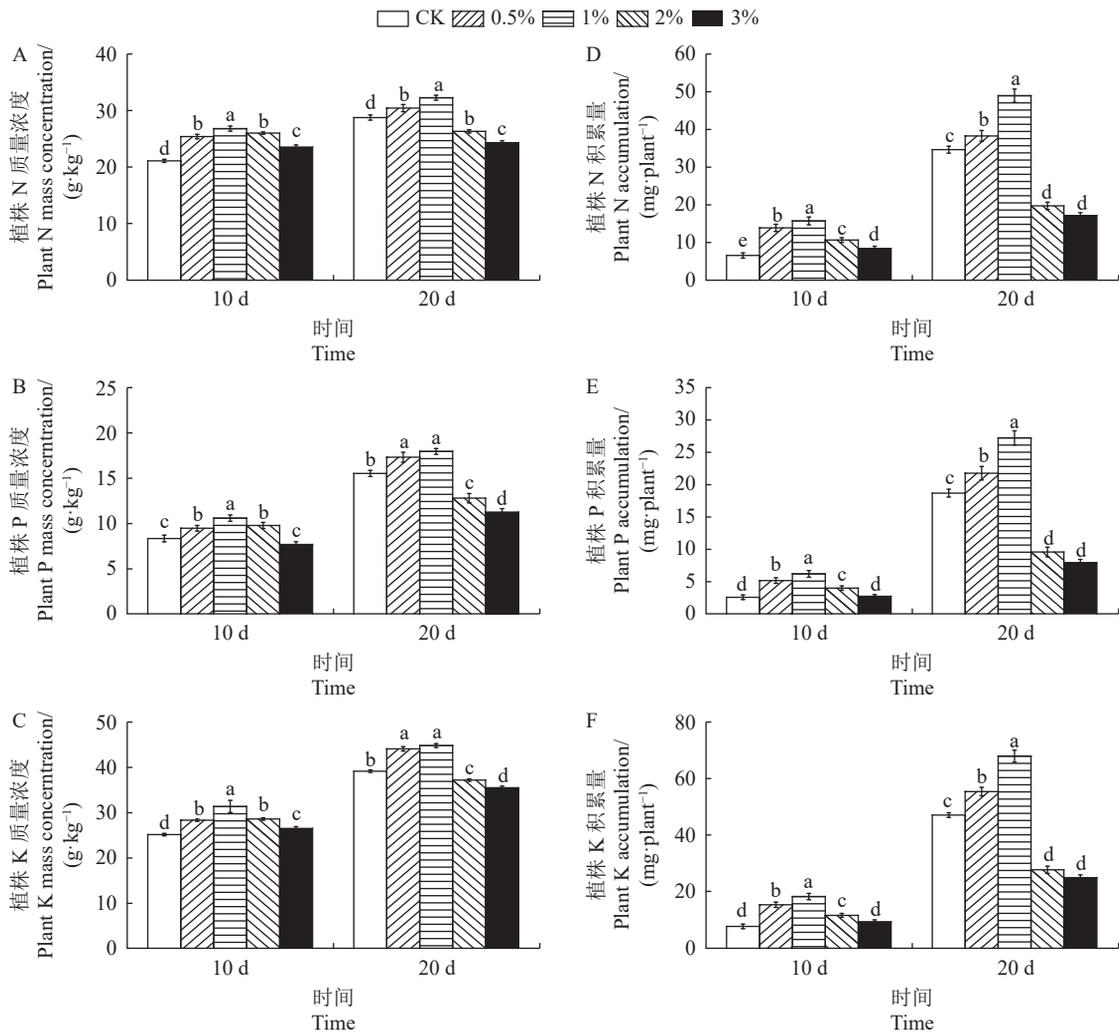


图 2 添加生物炭对黄瓜幼苗植株营养积累的影响

Fig. 2 Effect of biochar addition on nutrient uptake by cucumber seedlings

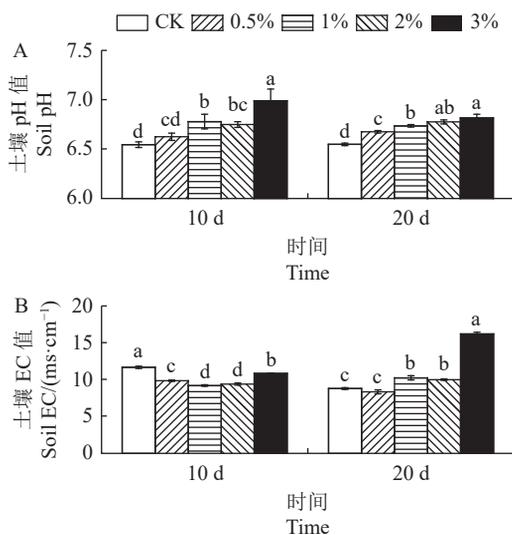


图 3 添加生物炭对土壤 pH、EC 值的影响

Fig. 3 Effects of biochar addition on soil pH and EC

随着生物炭添加量的增加, 黄瓜幼苗土壤碱解氮含量呈先上升后降低的趋势, 其中添加 1% 生物炭

处理的黄瓜幼苗土壤碱解氮含量显著高于其他处理 ($P < 0.05$) (图 4-C); 黄瓜幼苗土壤有机碳含量呈上升趋势, 其中添加 3% 生物炭处理的黄瓜幼苗土壤有机碳含量显著高于其他处理 ($P < 0.05$) (图 4-D)。

3 讨论

众多研究表明, 常年连作会造成土壤理化性质恶化, 如土壤盐分积累、酸化严重、微生物群落结构失调、有害菌群增多、有益菌群减少、土壤养分比例失衡、土壤酶活性减弱, 使作物生长缓慢、果实品质下降^[16]。生物炭作为一种土壤改良剂, 凭借其特殊的多微孔结构和理化性质, 能改善土壤理化和生物学性质, 消减土壤连作障碍, 促进植株生长及养分的吸收, 进而提高产量^[17]。本研究发现, 随着生物炭施加量的增加, 黄瓜幼苗干鲜重呈先上升后下降的趋势, 其中在黄瓜连作障碍土壤中添加 1% 生物炭时, 最有利于黄瓜幼苗的生长, 这说明在

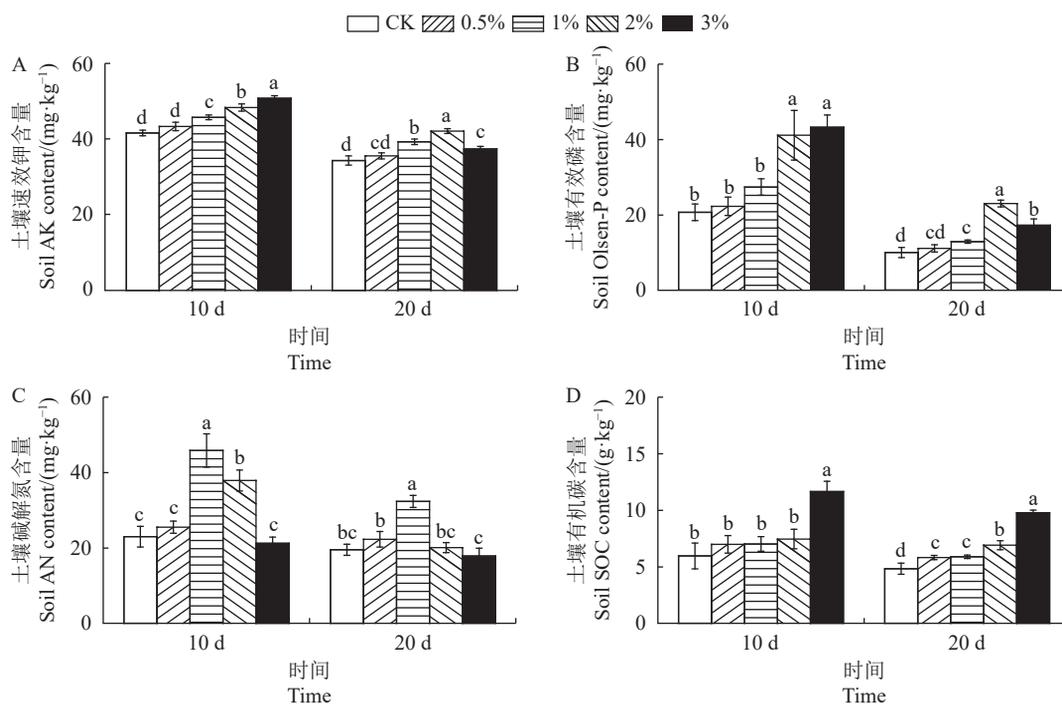


图4 添加生物炭对黄瓜幼苗土壤速效养分含量的影响

Fig. 4 Effects of biochar addition on available nutrient contents in potting soil

连作土壤中添加适宜含量的生物炭能有效促进黄瓜幼苗的生长，在一定程度上消减了土壤连作障碍^[18]。前人研究也发现，生物炭在一定施用量范围内，提高了黄瓜对养分的吸收，从而促进了黄瓜生长^[19]。值得注意的是，随着土壤中生物炭施用量的增加，添加2%和3%生物炭处理的植株生长受到了抑制，说明生物炭的添加对作物生长而言并非越多越好。这可能是因为过量生物炭的添加一方面提高了土壤电解质浓度，对作物产生了胁迫作用，另一方面会引起土壤中氮的生物固定，造成植株氮含量的下降，影响作物生长，前人的研究已证实了这一点^[20-21]。另外，随着生物炭添加量的增加黄瓜幼苗植株养分含量也呈先上升后下降的趋势，这可能解释了添加生物炭对黄瓜生长作用的影响，植株生长与其自身养分吸收密切相关，植株养分的变化往往可以解释植株生长的变化^[22]。因此，在施用生物炭改善连作土壤时，应避免过量施用而对植株产生胁迫作用，需要确定适宜植株生长的生物炭添加量。

研究发现生物炭在施入土壤后可以调节土壤酸碱平衡，防止土壤酸化，为植株营造适宜生长的条件^[23]。本试验研究也发现，添加适量生物炭后可以显著降低土壤酸性，提高土壤pH，使得土壤EC值大体呈现下降趋势，改善了土壤的化学性质。生物炭对土壤酸碱性的影响可能是因为土壤中所添加的生物炭本身呈碱性所致，进而使土壤pH升高^[24]。而

土壤EC值的降低可能与生物炭自身的孔隙结构有关，其表面粗糙，对土壤水分及盐分有较强的吸附作用，然而本试验中添加3%生物炭处理的土壤EC值较高，这与很多研究有所不同，这可能是因为土壤中添加了较高含量的生物炭，分解产生大量可溶性盐离子，导致土壤EC值提高^[25]。前人研究也发现，在连作土壤中添加生物炭，可以有效改善土壤肥力，为植株生长提供充足的养分^[26]，可能的原因包括两个方面：一是生物炭的孔隙结构内存储着养分，随着生物炭的添加，连作土壤直接得到了养分的补充；二是添加生物炭为微生物提供了良好的生存环境，促进土壤养分分解，调节土壤养分循环^[27]。本研究发现，随着生物炭添加量的增加，与未添加生物炭处理相比，添加生物炭增加了土壤有效磷和速效钾含量，这可能是因为生物炭施入土壤后，会释放自身含有的磷素和钾素，从而降低土壤对无机磷的固定，同时生物炭的孔隙结构也为微生物提供良好的生存环境，提高了溶磷菌和解钾菌的活性与丰度，促进有机和难溶性无机营养的溶解，进而提高磷素与钾素的有效性^[28]。但是，随着生物炭添加量的增加，土壤碱解氮呈先上升后下降的趋势，可能的原因是生物炭作为碳源被添加到土壤，碳源的增多会直接导致土壤微生物活性提高，其解离的碱解氮就会增多，但土壤中添加过量生物炭后，土壤中增加的大量微生物可能会固持土壤中的氮素，又

会造成土壤碱解氮含量的下降^[29]。值得注意的是,本研究中土壤速效养分(速效钾、有效磷以及碱解氮)含量整体偏低,除了添加生物炭碳源造成微生物活性增加引起养分固持外,黄瓜幼苗在种植过程中对养分的吸收利用可能也是造成土壤养分含量降低的原因之一^[30]。

4 结论

添加适量生物炭在设施土壤连作障碍的消减防控中发挥了重要作用。与对照相比,添加 0.5%、1% 生物炭能够促进黄瓜幼苗生长,添加 2%、3% 生物炭后,抑制了黄瓜幼苗的生长,说明生物炭添加的量并不是越多越好,高浓度的生物炭会抑制黄瓜的生长。试验发现,添加 1% 生物炭的处理中,黄瓜生长、植株养分及土壤状况等指标达到或接近最佳值,可作为连作黄瓜土壤改良的有效措施加以利用。

参考文献:

- [1] 张相锋, 杨晓绒, 焦子伟. 生物炭在连作障碍治理中的应用综述 [J]. 现代园艺, 2018 (19): 82-85.
ZHANG X F, YANG X R, JIAO Z W. Review on the application of biochar in continuous cropping obstacle control [J]. *Xiandai Horticulture*, 2018 (19): 82-85. (in Chinese)
- [2] 石晓宇, 张婷, 贾浩, 等. 生物炭对设施土壤化学性质及黄瓜产量品质的影响 [J]. 农学学报, 2019, 9 (4): 59-65.
SHI X Y, ZHANG T, JIA H, et al. Biochar: Effects on soil chemical properties and cucumber yield and quality in greenhouse [J]. *Journal of Agriculture*, 2019, 9 (4): 59-65. (in Chinese)
- [3] 宋为交, 贺超兴, 于贤昌, 等. 不同种植年限有机土基质的变化及其对温室黄瓜生长的影响 [J]. 应用生态学报, 2013, 24 (10): 2857-2862.
SONG W J, HE C X, YU X C, et al. Changes of organic soil substrate properties with different cultivation years and their effects on cucumber growth in solar greenhouse [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24 (10): 2857-2862. (in Chinese)
- [4] 武春成, 李天来, 曹霞, 等. 添加生物炭对连作培养基理化性质及黄瓜生长的影响 [J]. 核农学报, 2014, 28 (8): 1534-1539.
WU C C, LI T L, CAO X, et al. Physicochemical properties of nutrition medium and cucumber growth under continuous cropping [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, 28 (8): 1534-1539. (in Chinese)
- [5] 王彩云, 武春成, 曹霞, 等. 生物炭对温室连作土壤黄瓜生长、叶片结构及产量的影响 [J]. 北方园艺, 2018 (19): 23-27.
WANG C Y, WU C C, CAO X, et al. Effects of biochar on growth, leaf structure and yield of cucumber in different continuous cropping years in greenhouse [J]. *Northern Horticulture*, 2018 (19): 23-27. (in Chinese)
- [6] 姜洁, 何明霞, 李晓甜, 等. 蔬菜秸秆生物炭对日光温室黄瓜连作土壤性状的植株生长的影响 [J]. 天津农业科学, 2022, 28 (10): 40-43, 48.
LOU J, HE M X, LI X T, et al. Effects of vegetable straw biochar on soil properties and plant growth of continuously cropped cucumber in solar greenhouse [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2022, 28 (10): 40-43, 48. (in Chinese)
- [7] 章小勉, 刘梓毫, 郭猛, 等. 生物炭对两种植物种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2023, 51 (4): 26-31, 49.
ZHANG X M, LIU Z H, GUO M, et al. Effects of biochar on seed germination and seedling growth of two plants [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2023, 51 (4): 26-31, 49. (in Chinese)
- [8] 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.
WU C C, WANG C Y, CAO X, et al. Effects of different biochar application rate on improvement of continuous cropping soil and cucumber growth [J]. *Northern Horticulture*, 2017 (19): 150-154. (in Chinese)
- [9] 陈森, 张子谦, 李婧, 等. 土壤镉污染下生物炭对白菜生长及植株镉浓度的影响 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46 (5): 129-131.
CHEN S, ZHANG Z Q, LI J, et al. Effects of biochar on growth and cadmium concentration of Chinese cabbage under soil cadmium contamination [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46 (5): 129-131. (in Chinese)
- [10] 赵淑文, 胡云, 李明, 等. 生物炭对设施黄瓜根际土壤菌群结构及植株生长的影响 [J]. 中国瓜菜, 2018, 31 (3): 19-23.
ZHAO S W, HU Y, LI M, et al. Effect of biological carbon on growth and bacterial communities of rhizosphere soil of facility cucumber [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2018, 31 (3): 19-23. (in Chinese)
- [11] WANG C Y, WU C C, CAO X, et al. Effects of biochar on soil nutrition and microbial community diversity under continuous cultivated cucumber soils in greenhouse [J]. *The Journal of Applied Ecology*, 2019, 30 (4): 1359-1366.
- [12] 姜悦, 张紫涵, 贾彦哲, 等. 不同施磷水平对分蘖洋葱伴生番茄幼苗生长及菌根侵染的影响 [J]. 福建农业学报, 2022, 37 (3): 326-334.
JIANG Y, ZHANG Z H, JIA Y Z, et al. Effects of phosphorus fertilizations on growth and root mycorrhizal infection of tomato seedlings intercropped with potato-onion [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37 (3): 326-334. (in Chinese)
- [13] PEZZOLESI T P, ZARTMAN R E, HICKEY M G. Effects of storage methods on chemical values of waterlogged soils [J]. *Wetlands*, 2000, 20 (1): 189-193.
- [14] 王锡增, 徐浴力, 周昕, 等. 玉米青秸秆还田对土壤理化性状及连作黄瓜生长发育的影响 [J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2022, 43 (6): 37-43, 110.
WANG X Z, XU Y L, ZHOU X, et al. Effects of maize straw returning on soil physicochemical properties and continuous cropping cucumber growth and development [J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2022, 43 (6): 37-43, 110.

- 37-43,110. (in Chinese)
- [15] JONES D L, ROUSK J, EDWARDS-JONES G, et al. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 45: 113-124.
- [16] 孙喜军, 吕爽, 高莹, 等. 蚯蚓粪对作物连作障碍抑制作用研究进展 [J]. 土壤, 2020, 52 (4): 676-684.
- SUN X J, LÜ S, GAO Y, et al. Research progresses on inhibition effect of vermicompost to continuous cropping obstacles [J]. *Soils*, 2020, 52 (4): 676-684. (in Chinese)
- [17] 冯冰, 吴英, 李磊, 等. 生物炭对土壤性质及黄瓜和生菜幼苗生长的影响 [J]. 现代农业科技, 2017 (24): 54-55,57.
- FENG B, WU Y, LI L, et al. Effect of biochar on soil properties and the growth of cucumber and lettuce seedlings [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2017 (24): 54-55,57. (in Chinese)
- [18] 刘学方, 仇美华, 郁洁, 等. 秸秆及生物炭部分替代化肥对温室连作黄瓜生长与土壤性质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2022, 50 (23): 144-150.
- LIU X F, QIU M H, YU J, et al. Effects of straw biochar partially replacing chemical fertilizer on growth of continuous cropping cucumber and soil properties in greenhouse [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2022, 50 (23): 144-150. (in Chinese)
- [19] 王彩云, 武春成, 曹霞, 等. 生物炭对温室黄瓜不同连作年限土壤养分和微生物群落多样性的影响 [J]. 应用生态学报, 2019, 30 (4): 1359-1366.
- WANG C Y, WU C C, CAO X, et al. Effects of biochar on soil nutrition and microbial community diversity under continuous cultivated cucumber soils in greenhouse [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30 (4): 1359-1366. (in Chinese)
- [20] 高丹美, 吴凤芝, 周新刚. 活性炭对土壤酶活性及黄瓜幼苗生长的影响 [J]. 新疆农业科学, 2014, 51 (6): 1154-1161.
- GAO D M, WU F Z, ZHOU X G. Effects of activated carbon on soil enzyme activities and cucumber seeding growth [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2014, 51 (6): 1154-1161. (in Chinese)
- [21] WANG F L, WANG X X, SONG N N. Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic shed soil continuously cropped for different years [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2021, 315: 107425.
- [22] 周冉冉, 马司光, 张文晶, 等. 生物炭与生物基质对设施黄瓜连作土壤改良效果研究 [J]. 江西农业大学学报, 2021, 43 (3): 537-546.
- ZHOU R R, MA S G, ZHANG W J, et al. The effect of biochar and biological substrate on soil amending under protected cucumber continuous cropping [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2021, 43 (3): 537-546. (in Chinese)
- [23] 王雪玉, 刘金泉, 胡云, 等. 生物炭对黄瓜根际土壤细菌丰度、速效养分含量及酶活性的影响 [J]. 核农学报, 2018, 32 (2): 370-376.
- WANG X Y, LIU J Q, HU Y, et al. Effect of biochar on microorganism, nutrient content and enzyme activity of cucumber rhizosphere soil [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2018, 32 (2): 370-376. (in Chinese)
- [24] QUILLIAM R S, MARSDEN K A, GERTLER C, et al. Nutrient dynamics, microbial growth and weed emergence in biochar amended soil are influenced by time since application and reapplication rate [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, 158: 192-199.
- [25] 张清梅, 刘金泉, 李明, 等. 生物炭对黄瓜根际土壤养分和酶活性的影响 [J]. 北方园艺, 2017 (19): 131-136.
- ZHANG Q M, LIU J Q, LI M, et al. Effect of biological carbon on soil nutrient and enzyme activity of facility cucumber [J]. *Northern Horticulture*, 2017 (19): 131-136. (in Chinese)
- [26] KLOSS S, ZEHETNER F, WIMMER B, et al. Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2014, 177 (1): 3-15.
- [27] 程效义, 兰宇, 任晓峰, 等. 生物炭对连作设施土壤酶活性及黄瓜根系性状的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2017, 48 (4): 418-423.
- CHENG X Y, LAN Y, REN X F, et al. Effects of biochar on enzymatic activities and root characteristics of cucumber in continuous cropping soil of greenhouse [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2017, 48 (4): 418-423. (in Chinese)
- [28] 杨焕焕, 李茂森, 王丽渊, 等. 生物炭对烤烟成熟期土壤养分及根际细菌群落结构的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2021, 40 (5): 62-71.
- YANG H H, LI M S, WANG L Y, et al. Effects of biochar on soil nutrients and rhizosphere bacterial community structure of flue-cured tobacco at maturity stage [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2021, 40 (5): 62-71. (in Chinese)
- [29] 胡云, 李明, 李登明, 等. 秸秆覆盖还田对黄瓜土壤碳氮比和微生物的影响 [J]. 北方园艺, 2016 (19): 180-183.
- HU Y, LI M, LI D M, et al. Effect of straw coverage on C/N and microorganisms of cucumber soil [J]. *Northern Horticulture*, 2016 (19): 180-183. (in Chinese)
- [30] 顾美英, 唐光木, 刘洪亮, 等. 施用棉秆炭对新疆连作棉花根际土壤微生物群落结构和功能的影响 [J]. 应用生态学报, 2016, 27 (01): 173-181.
- GU M Y, TANG G M, LIU H L, et al. Effects of cotton stalk biochar on microbial community structure and function of continuous cropping cotton rhizosphere soil in Xinjiang, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27 (01): 173-181. (in Chinese)

(责任编辑: 于洪杰)