

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20364

# 骨炭的土壤改良培肥和小萝卜增产提质效应研究

刘晓霞, 陈红金, 虞轶俊\*

(浙江省耕地质量与肥料管理总站, 浙江 杭州 310020)

**摘要:** 采用田间随机区组试验设计, 研究了不施骨炭、150、300、450、600 kg·hm<sup>-2</sup> 骨炭 5 个处理对土壤养分状况、小萝卜产量及品质的影响。结果表明, 土壤有机质、全氮、有效磷含量和土壤 pH 值均随着骨炭用量的增加而提高, 骨炭用量为 450 和 600 kg·hm<sup>-2</sup> 时土壤有机质、全氮、有效磷含量和土壤 pH 值最高; 与不施用骨炭相比, 生物炭显著提高了小萝卜生物量和维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白含量, 有效降低了小萝卜肉质根硝酸盐含量; 随着骨炭施用量的提高, 小萝卜生物量呈先增加后降低趋势, 肉质根维生素 C、可溶性糖和可溶性蛋白含量显著提高, 硝酸盐含量显著降低, 骨炭用量为 300 和 450 kg·hm<sup>-2</sup> 时, 小萝卜产量和养分最高, 硝酸盐含量最低。由此可见, 施用骨炭是提升耕地质量、增加作物产量、优化蔬菜品质的有效措施, 450 kg·hm<sup>-2</sup> 的骨炭用量具有最佳的土壤改良培肥和蔬菜增产提质效果。

**关键词:** 骨炭; 有机质; 全氮; 产量; 硝酸盐

我国畜禽养殖规模居于全球第一, 病死畜禽数量巨大, 处理不当易造成水源污染和疫情扩散, 危害人民群众及畜禽生命安全<sup>[1-2]</sup>。炭化技术是病死畜禽无害化处理的重要手段, 高温缺氧环境可有效杀灭病原体和有害病菌, 是清洁、环保、高效的病死畜禽无害化处理措施<sup>[3]</sup>。病死畜禽炭化产物—生物炭, 具有孔隙结构好、比表面积大、吸附能力强等显著特点, 被誉为“黑色黄金”<sup>[4]</sup>。研究发现, 牛骨炭可提高土壤 pH 值, 增加土壤全磷含量<sup>[5]</sup>, 施用玉米秸秆炭的土壤碱解氮、速效磷含量显著提高<sup>[6]</sup>, 水稻秸秆炭可提高土壤速效钾水平<sup>[7]</sup>, 花生秸秆炭和油菜秸秆炭还田可显著增加酸性土壤有效磷含量、有效阳离子交换量和盐基饱和度, 并提高油菜籽产量<sup>[8]</sup>, 骨炭应用能显著降低水稻根系铁和铅含量<sup>[9]</sup>, 稻秆炭可有效提高小青菜生物量<sup>[10]</sup>, 麦秆炭基肥可降低小白菜硝酸盐含量并提高可溶性糖和维生素 C 含量<sup>[11]</sup>。可见, 生物质炭可有效改善土壤理化状况, 提高作物产量, 提升产品品质, 是理想的土壤改良材料<sup>[12-14]</sup>。

前人对生物质炭的研究主要集中在以农作物秸秆为原料制取秸秆炭对耕地质量和作物产量及品质影响的方面, 对于以病死畜禽为原料制备骨炭的研究较少。本试验以病死猪炭化产物—骨炭为试验材料, 采用田间随机区组试验, 研究不同骨炭用量对土壤理化性状、小萝卜产量和品质的影响, 旨在探明骨炭改良培肥土壤、提升作物产量、优化产品品质的最佳施用量, 以期骨炭的农用提供科学的理论依据和实践参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地点位于浙江大学农业试验站 (119° 38' 25" E, 30° 53' 45" N), 供试土壤类型为潮土, 有机质含量 20.08 g·kg<sup>-1</sup>、pH 5.99、全氮 2.95 g·kg<sup>-1</sup>、全磷 0.39 g·kg<sup>-1</sup>、全钾 3.45 g·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 供试材料

骨炭由原材料病死猪经高温 (600℃) 缺氧裂解制备而成, 其基本理化性状见表 1。供试作物为小萝卜 (品种为“枇杷叶”)。供试肥料为有机肥, 养分状况见表 1。试验化学肥料为尿素 (N 46%), 钙镁磷肥 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15%), 氯化钾 (K<sub>2</sub>O 60%)。

表 1 供试材料基本理化性状

供试材料	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	有机碳 (%)	含水率 (%)	pH
骨炭	3.38	12.53	2.02	28.13	9.90	7.87
有机肥	5.25	2.28	1.63	72.84	24.80	8.72

收稿日期: 2020-06-24; 录用日期: 2020-08-08

基金项目: 浙江省“三农六方”科技协作项目: CTZB-F190625LWZ-SNY1 (1) 粮油作物化肥定额制配套技术研究与推广应用。

作者简介: 刘晓霞 (1986-), 女, 山东胶州人, 高级农艺师, 博士研究生, 主要从事耕地质量提升和蔬菜高效施肥技术研究。

E-mail: 10914048@zju.edu.cn。

通讯作者: 虞轶俊, E-mail: yuyijun0806@163.com。

### 1.3 试验设计

采用随机区组试验设计, 设置不同生物质炭用量, 即: 不施用骨炭 (CK), 施用  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  骨炭 (BB<sub>150</sub>), 施用  $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  骨炭 (BB<sub>300</sub>), 施用  $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  骨炭 (BB<sub>450</sub>), 施用  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  骨炭 (BB<sub>600</sub>), 3次重复, 小区面积  $6.84 \text{ m}^2$  ( $3.6 \text{ m} \times 1.9 \text{ m}$ )。按照小萝卜常规产量  $30000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  确定 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 用量分别为 360、120、240  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 采用随机区组试验设计, 各处理有机肥用量均为  $3000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 其他 (N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O) 养分由化肥和骨炭提供。播种前 7 d, 有机肥、骨炭、钙镁磷肥和氯化钾均匀撒施, 翻耕入土, 播种前施用尿素, 肥料全部做基肥。小萝卜株行距为  $5 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ , 田间管理方式按照当地小萝卜常规生产技术标准统一执行。采收期测定小萝卜的生物量, 硝酸盐、可溶性蛋白、可溶性糖、维生素 C 含量; 采收后测定土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾的含量和 pH 值。

### 1.4 分析方法

植株样品采集: 小萝卜种植 5 周后人工采收, 选取长势一致的植株样品冲洗干净后擦干水分, 分别测定地上部生物量和肉质根鲜重。

土壤样品采集: 小萝卜采收后, 按“S形”取样法用土钻采集 0 ~ 20 cm 耕层土壤, 土样混匀后常温

避光风干后过 0.15 mm 筛, 供土壤养分指标测定。

土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法测定, 全氮含量采用凯氏定氮法测定, 有效磷含量采用钼锑抗比色法测定, 速效钾含量采用火焰光度法测定, pH 值采用电位法测定; 蔬菜硝酸盐含量采用水杨酸法测定, 维生素 C 含量采用 2, 6-二氯酚法测定, 可溶性蛋白含量采用 Bradford 法测定, 可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定。

### 1.5 数据统计分析

数据采用 DPS 2000 进行方差分析 (ANVOA) 和统计分析, 平均值间显著性差异采用 Duncan's 新复极差法进行检验, 利用 Origin 8.5 制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 骨炭对土壤养分含量和 pH 值的影响

土壤有机质在改善土壤保水保肥性能、优化微生物群落结构方面发挥重要作用, 其含量是判定土壤质量动态变化的重要标准<sup>[15-16]</sup>。由表 2 可见, 施用骨炭的土壤有机质含量较不施骨炭有所提高, 且提高幅度随骨炭用量的增加而增大, 450 和  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  骨炭处理土壤有机质含量显著高于不施骨炭处理; 施用骨炭对土壤全氮含量也有较大影响, 如表 2 所示, 土壤全氮含量随骨炭用量的增加显著提高, 其中 300、450 和  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  骨炭

表 2 骨炭对土壤养分含量和 pH 值的影响

处理	有机质含量 ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全氮含量 ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有效磷含量 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效钾含量 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	pH 值
CK	21.35 ± 1.06b	6.26 ± 0.08c	17.05 ± 1.14b	133.33 ± 17.83a	6.09 ± 0.11b
BB <sub>150</sub>	21.77 ± 1.36ab	6.37 ± 0.01bc	17.01 ± 1.75b	124.23 ± 11.64a	6.18 ± 0.18ab
BB <sub>300</sub>	22.02 ± 0.81ab	6.65 ± 0.24ab	21.24 ± 0.75a	119.83 ± 13.19a	6.36 ± 0.19a
BB <sub>450</sub>	23.28 ± 0.26a	6.65 ± 0.25ab	23.15 ± 2.24a	130.42 ± 5.09a	6.38 ± 0.05a
BB <sub>600</sub>	23.33 ± 0.44a	6.95 ± 0.22a	23.49 ± 1.18a	127.88 ± 10.35a	6.36 ± 0.10a

注: 每列中不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

处理土壤全氮含量分别较对照高 6.23%、6.23% 和 11.02%。土壤有效磷含量和土壤 pH 值随着骨炭用量的提高而增加, 但土壤速效钾含量不受骨炭用量的影响。300 ~  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  骨炭处理土壤有效磷含量和土壤 pH 值均显著高于不施骨炭, 但 300、450 和  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  骨炭处理间土壤有效磷含量和 pH 值无显著差异。

### 2.2 骨炭对小萝卜地上部生物量和肉质根鲜重的影响

与不施骨炭相比, 150、300 和  $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  骨

炭处理均显著提高了小萝卜地上部生物量, 但继续提高骨炭施用量至  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 地上部生物量显著降低 (图 1A); 肉质根鲜重随骨炭用量的提高呈先增加后降低趋势 (图 1B), 300 和  $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  骨炭处理小萝卜肉质根鲜重显著高于不施骨炭, 骨炭用量增至  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  单株肉质根鲜重降低至 13.28 g, 并显著低于对照的 14.07 g。

### 2.3 骨炭对小萝卜硝酸盐和维生素 C 含量的影响

骨炭处理对小萝卜肉质根硝酸盐含量的降低效

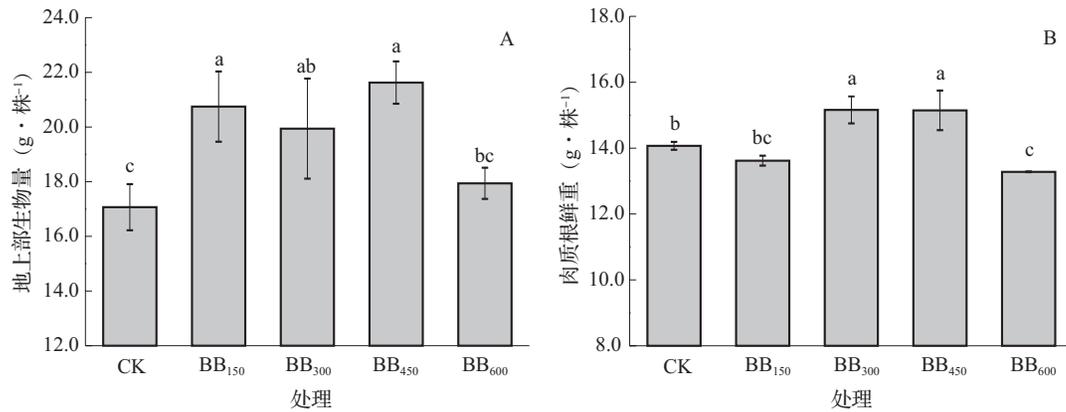


图1 骨炭对小萝卜地上部生物量和肉质根鲜重的影响

注：图中不同小写字母表示差异在5%水平显著。下同。

果明显，如图2所示，骨炭处理硝酸盐含量仅为不施骨炭的80%左右，但不同骨炭用量间硝酸盐含量无显著差异；骨炭处理显著提高了小萝卜肉质根维生素C含量，150、300、450和600 kg·hm<sup>-2</sup>骨炭用量维生素C含量分别较不施骨炭增加18.86%、14.76%、14.87%和14.61%，但不同骨炭用量间维生素C含量相近。

#### 2.4 骨炭对小萝卜可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

与不施骨炭相比，骨炭处理显著提高了小萝卜肉质根可溶性糖的含量，但不同骨炭用量间可溶性糖含量差异不大，均集中分布在3.23%~3.50%之间（图3A）；施用骨炭小萝卜肉质根可溶性蛋白含量显著高于不施骨炭处理，且随着骨炭用量的提高而显著增加。

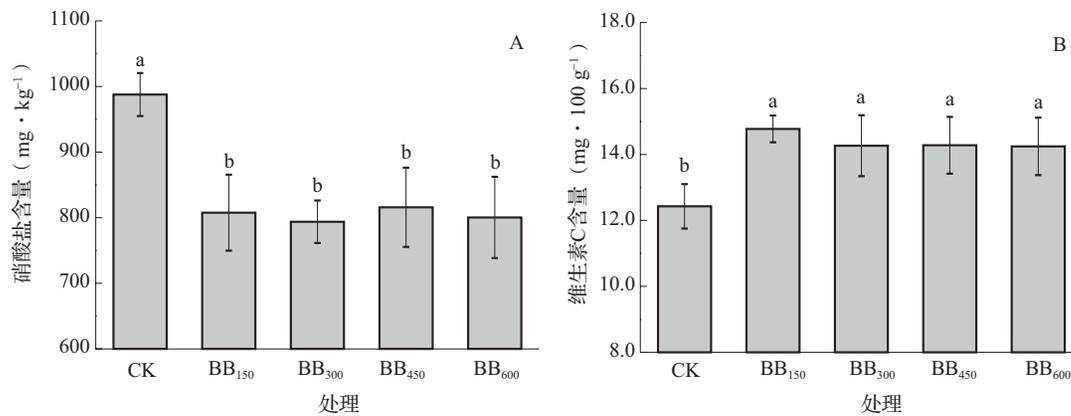


图2 骨炭对小萝卜肉质根硝酸盐和维生素C含量的影响

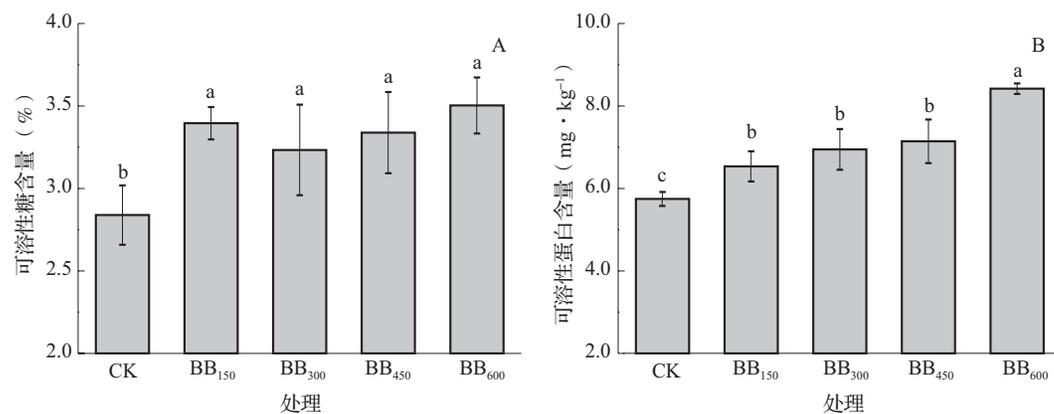


图3 骨炭对小萝卜肉质根可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

### 3 讨论

土壤有机质可以改良土壤结构,提高土壤保水保肥能力,改善土壤通气性和透水性,支持微生物活动以及为植物提供营养等,是土壤肥力的重要指标之一。有研究报道,土壤有机质含量随着油菜秸秆炭和玉米秸秆炭施用量的增加显著提高<sup>[17-18]</sup>。本研究发现,土壤有机质含量随着骨炭施用量的增加逐渐提高,骨炭用量增至 $450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时土壤有机质含量显著高于不施骨炭处理(表2)。这可能是由于生物质炭吸附了土壤中的有机分子,并通过表面催化活性促进有机小分子聚合形成土壤有机质<sup>[19]</sup>。此外,生物质炭的多孔结构为土壤生物提供了较好的栖息环境,提高了微生物丰度<sup>[20]</sup>,进一步促进了土壤有机质的形成<sup>[21]</sup>。

生物质炭的多孔特性可截留更多的养分,施入土壤后通过缓解养分流失进而影响养分含量。本研究显示,在各处理氮、磷、钾用量相同的条件下,不同用量的骨炭对土壤全氮、有效磷含量影响显著。如表2所示,土壤全氮和有效磷含量均随着骨炭用量的提高逐渐增加, $300\sim 600\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 骨炭处理土壤全氮和有效磷含量均显著高于不施炭处理,可能是因为骨炭具有丰富的孔隙结构和含氧官能团,可通过吸附、离子键作用固定土壤中的 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、磷酸盐和可溶性有机磷,从而增加土壤氮、磷含量<sup>[22-23]</sup>。

土壤pH值受生物质炭种类和用量的影响<sup>[24]</sup>。研究发现椰壳生物质炭可改良酸性土壤<sup>[25]</sup>,低量的花生壳生物质炭对酸性土壤pH值无明显影响,用量为 $5000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时土壤pH值显著提高<sup>[26]</sup>;张祥等<sup>[27]</sup>的研究证实施用生物质炭可明显提高酸性红壤pH值,降低土壤酸度,且改良效果随着生物质炭用量的增加不断加强。本研究中施用少量骨炭( $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )土壤pH值无显著变化,骨炭用量增至 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时土壤pH值显著提高,可能是由于骨炭的碱性属性(pH值7.87,表1)使其能够提高土壤的pH值,也可能是由于骨炭富含的盐基离子可交换土壤中的 $\text{H}^+$ 和 $\text{Al}^{3+}$ ,降低其在土壤中的浓度从而提高土壤pH值<sup>[28]</sup>。

多数研究证实,生物质炭对作物生长和产量具有促进作用,如施用生物质炭显著提高了菠菜生物量<sup>[29]</sup>,稻秆炭和竹炭可促进小青菜增产<sup>[10]</sup>,中、高量秸秆生物质炭每季还田对作物有小幅增产

作用<sup>[30]</sup>,花生壳生物质炭提高了小白菜株高和产量<sup>[31]</sup>,但也有研究持相反结论,如Rondon等<sup>[32]</sup>分别施用 $5000$ 和 $15000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 生物质炭后,大豆和玉米的产量都有所下降。生物质炭对作物产量提升作用的差异,可能是由于不同研究中供试生物质炭材质、施炭量、土壤类型、年际效应和环境条件的不同导致的<sup>[33]</sup>。本试验中,小萝卜地上部和肉质根鲜重均随着骨炭用量的增加呈先增加后降低的趋势(图1), $300$ 和 $450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 骨炭用量小萝卜产量最高,这一结果与生物质炭用量对番茄生长的影响一致<sup>[34]</sup>,可能是由于生物质炭施入土壤后改变了土壤有机质、全氮、有效磷含量和土壤pH值(表1),改善了土壤物理特性,增强了营养元素有效性,进而可提高作物生产能力,但作物对养分的需求并非越多越好,只有在水、肥、气相对适宜的条件下才能达到高产效果,因此小萝卜产量随着骨炭用量先增加后降低。

硝酸盐易引发肠胃癌、高铁血红蛋白症等疾病,通过农艺措施调控蔬菜硝酸盐含量具有重要意义<sup>[35]</sup>。刘玉学等<sup>[10]</sup>的研究发现添加稻秆炭可降低小青菜硝酸盐含量,但低水平添加量无明显效果;但也有研究认为施用生物质炭显著提高了菠菜硝酸盐含量,且硝酸盐含量随生物质炭施用量增加而增加<sup>[29]</sup>,研究结论的差异可能是由于肥料种类、土壤特性或生物质炭性质造成的。本研究发现骨炭的施用显著降低了小萝卜硝酸盐含量,可能是由于生物质炭的吸附固持了土壤中的氮素,减缓 $\text{NH}_4^+$ 向 $\text{NO}_3^-$ 的转化速率,减少了小萝卜硝态氮大量的积累;也可能是由于施用骨炭的土壤养分全面、代谢活跃,促进了氮素同化过程,加快了植物体硝酸盐转化成氨基酸这一过程,进而减少了植株体内硝酸盐的积累<sup>[36]</sup>。

维生素C、可溶性糖和可溶性蛋白含量是衡量蔬菜营养品质的重要指标,王凤婷等<sup>[37]</sup>研究发现,添加高量稻秆炭可显著提高白菜维生素C含量。本研究发现施用骨炭有效提高了小萝卜肉质根维生素C、可溶性糖和可溶性蛋白含量,这与前人研究结果一致。主要是由于骨炭处理提高了土壤有机质、全氮和有效磷水平,改善了土壤酸碱度,优化了土壤整体养分条件(表1)。此外,生物质炭含有较多的可提高蔬菜内在品质的微量元素<sup>[24]</sup>,也可能是骨炭处理小萝卜品质高于对照的重要原因。

#### 4 结论

土壤有机质、全氮、有效磷含量和土壤 pH 值均随着骨炭用量的增加而提高,骨炭用量为 450 和 600 kg·hm<sup>-2</sup> 时土壤有机质含量显著高于对照,骨炭用量 300 ~ 600 kg·hm<sup>-2</sup> 时,土壤全氮、有效磷含量和土壤 pH 值显著高于不施氮。可见,骨炭用量为 450 和 600 kg·hm<sup>-2</sup> 时具有最佳土壤培肥改良效果。

骨炭的施用影响小萝卜生物量,小萝卜地上部生物量和肉质根鲜重均随着骨炭用量的增加呈先增加后降低趋势,300 和 450 kg·hm<sup>-2</sup> 骨炭用量小萝卜产量最高。

骨炭施用量高于 150 kg·hm<sup>-2</sup> 时小萝卜硝酸盐含量显著降低,维生素 C、可溶性糖和可溶性蛋白含量有效提高,可见,施用骨炭有利于硝酸盐的减控和维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白等营养物质的积累。

#### 参考文献:

- [1] Qian Y, Song K H, Hu T, et al. Environmental status of livestock and poultry sectors in China under current transformation stage [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 622: 702-709.
- [2] 周海滨,沈玉君,孟海波,等.病死畜禽无害化处理产物及其应用研究进展[J].*家畜生态学报*,2018,39(2):86-90.
- [3] 王煌平,张青,李昱,等.热解温度对畜禽粪便生物炭产率及理化特性的影响[J].*农业环境科学学报*,2015,34(11):2208-2214.
- [4] Abdulaziz G A, Muhammad R, et al. Biochar as a potential soil additive for improving soil physical properties—a review [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2018, 11 (24): 448-471.
- [5] 郭文杰,邵前前,杜健,等.不同温度热解牛骨炭对菜园土壤磷素转化及小白菜产量的影响[J].*土壤通报*,2019,50(6):1391-1399.
- [6] 郭俊梅,姜慧敏,张建峰,等.玉米秸秆炭还田对黑土土壤肥力特性和氮素农学效应的影响[J].*植物营养与肥料学报*,2016,22(1):67-75.
- [7] 李明,李忠佩,刘明,等.不同秸秆生物炭对红壤性水稻土养分及微生物群落结构的影响[J].*中国农业科学*,2015,48(7):1361-1369.
- [8] 李九玉,赵安珍,袁金华,等.农业废弃物制备的生物质炭对红壤酸度和油菜产量的影响[J].*土壤*,2015,47(2):334-339.
- [9] 黄益宗,胡莹,刘云霞,等.重金属污染土壤添加骨炭对苗期水稻吸收重金属的影响[J].*农业环境科学学报*,2006,25(6):1481-1486.
- [10] 刘玉学,王耀锋,吕豪豪,等.不同稻秆炭和竹炭施用水平对小白菜产量、品质以及土壤理化性质的影响[J].*植物营养与肥料学报*,2013,19(6):1438-1444.
- [11] 付嘉英,乔志刚,郑金伟,等.不同炭基肥料对小白菜硝酸盐含量、产量及品质的影响[J].*中国农学通报*,2013,29(34):162-165.
- [12] Getachew A, Srivastava A K, Michael I B. The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review [J]. *Applied Soil Ecology*, 2017, 119: 156-170.
- [13] Yan Y, Liu C, Lin Q M. Efficiency of sewage sludge biochar in improving urban soil properties and promoting grass growth [J]. *Chemosphere*, 2017, 173 (4): 551-556.
- [14] Abhay K, Yigal E, Ludmila T, et al. Biochar potential in intensive cultivation of *Capsicum annum* L. (sweet pepper): crop yield and plant protection [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98 (2): 495-503.
- [15] 焦晓光,高崇升,隋跃宇,等.不同有机质含量农田土壤微生物生态特征[J].*中国农业科学*,2011,44(18):3759-3767.
- [16] Yang Q L, Zheng F X, Jia X C, et al. The combined application of organic and inorganic fertilizers increases soil organic matter and improves soil microenvironment in wheat-maize field [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2020, 20: 2395-2404.
- [17] 房彬,李心清,赵斌,等.生物炭对旱作农田土壤理化性质及作物产量的影响[J].*生态环境学报*,2014,23(8):1292-1297.
- [18] 王冲,王玉峰,谷学佳,等.连续施用生物炭对黑土基础理化性质的影响[J].*土壤通报*,2018,49(2):428-434.
- [19] 勾芒芒,屈忠义.生物炭对改善土壤理化性质及作物产量影响的研究进展[J].*中国土壤与肥料*,2013(5):1-5.
- [20] 陈坤,徐晓楠,彭靖,等.生物炭及炭基肥对土壤微生物群落结构的影响[J].*中国农业科学*,2018,51(10):1920-1930.
- [21] 董炜华,李晓强,宋扬.土壤动物在土壤有机质形成中的作用[J].*土壤*,2016,48(2):211-218.
- [22] 蒋旭涛,迟杰.铁改性生物炭对磷的吸附及磷形态的变化特征[J].*农业环境科学学报*,2014,33(9):1817-1822.
- [23] 索桂芳,吕豪豪,汪玉瑛,等.不同生物炭对氮的吸附性能[J].*农业环境科学学报*,2018,37(6):1193-1202.
- [24] 武玉,徐刚,吕迎春,等.生物炭对土壤理化性质影响的研究进展[J].*地球科学进展*,2014,29(1):68-79.
- [25] 吴敏,韦家少,孙海东,等.植物物料及其生物炭对酸性土壤的改良[J].*热带作物学报*,2016,37(12):2276-2282.
- [26] 黄连喜,魏岚,李衍亮,等.花生壳生物炭对土壤改良、蔬菜增产及其持续效应研究[J].*中国土壤与肥料*,2018(1):101-107.
- [27] 张祥,王典,姜存仓,等.生物炭对我国南方红壤和黄棕壤理化性质的影响[J].*中国生态农业学报*,2013,21(8):979-984.
- [28] Zwieten L, Kimber S, Morris S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and

- soil fertility [J]. *Plant and Soil*, 2010, 327: 235–246.
- [29] 张万杰, 李志芳, 张庆忠, 等. 生物质炭和氮肥配施对菠菜产量和硝酸盐含量的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30 (10): 1946–1952.
- [30] 刘园, Jamal K M, 勒海洋, 等. 秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响 [J]. *土壤学报*, 2015, 52 (4): 849–858.
- [31] 李冬, 陈蕾, 夏阳, 等. 生物炭改良剂对小白菜生长及低质土壤氮磷利用的影响 [J]. *环境科学学报*, 2014, 34 (9): 2384–2391.
- [32] Rondon M A, Lehmann J, Ramírez J, et al. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 43 (6): 699–708.
- [33] 刘悦, 黎子涵, 邹博, 等. 生物炭影响作物生长及其与化肥混施的增效机制研究进展 [J]. *应用生态学报*, 2017, 28 (3): 1030–1038.
- [34] 李昌见, 屈忠义, 勾芒芒, 等. 生物炭对土壤水肥利用效率与番茄生长影响研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33 (11): 2187–2193.
- [35] Anjana, Umar S, Iqbal M. Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2007, 27(1): 45–57.
- [36] 许振柱, 周广胜. 植物氮代谢及其环境调节研究进展 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15 (3): 511–516.
- [37] 王凤婷, 艾希珍. 钾与蔬菜品质的相关性研究进展 [J]. *西北农业学报*, 2004, 13 (4): 183–186.

### Studies on the effects of bone-biochar on soil quality promotion and radish production improvement

LIU Xiao-xia, CHEN Hong-jin, YU Yi-jun\* (Cultivated Land Quality and Fertilizer Administration Station of Zhejiang Province, Hangzhou Zhejiang 310020)

**Abstract:** A field randomized block experiment was carried out to study the effects of bone-biochar on soil nutrients, radish yield and quality. Five treatments were designed in this experiment: no bone-biochar, 150 kg · hm<sup>-2</sup> bone-biochar, 300 kg · hm<sup>-2</sup> bone-biochar, 450 kg · hm<sup>-2</sup> bone-biochar, 600 kg · hm<sup>-2</sup> bone-biochar. Results showed that soil organic matter, total nitrogen, available phosphorus and soil pH increased with bone-biochar increasement, soil organic matter, total nitrogen, available phosphorus and soil pH were the highest when supplied 450 and 600 kg · hm<sup>-2</sup> bone-biochar. Compared with no bone-biochar, applied bone-biochar greatly increased radish bromass, vitamin C, soluble sugar and soluble protein content and also decreased nitrate content significantly. With the increase of bone-biochar, radish yield firstly increased and then decreased, vitamin C, soluble sugar and soluble protein content significantly increased, nitrate content of the fleshy root significantly decreased. Radish yield, nutrient content were the highest and nitrate content was the lowest when supplied 300 and 450 kg · hm<sup>-2</sup> bone-biochar. Taken together, these results suggested that application of bone-biochar is an effective measure to improve the quality of cultivated land, increase crop yield, and optimize crop quality. 450 kg · hm<sup>-2</sup> bone-biochar worked best in soil improvement and radish increasement.

**Key words:** bone-biochar; organic matter; total nitrogen; yield; nitrate