

生物炭对新疆沙土微生物区系及土壤酶活性的影响

顾美英¹, 葛春辉², 马海刚², 唐光木², 张志东¹, 徐万里²

(1. 新疆农业科学院微生物应用研究所 新疆特殊环境微生物实验室 绿洲养分与水土资源高效利用重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830091;
2. 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要: 为评估生物炭在新疆改良沙土的潜力, 在新疆和田设生物炭施用量为 0(CK)、22 500、67 500、112 500 kg·hm⁻²和 225 000 kg·hm⁻² 5 个处理的微区试验, 轮作方式为绿豆-冬小麦。通过对试验结束后小区土壤可培养微生物和生理菌群计数、土壤酶活性测定, 研究不同用量生物炭对沙土土壤微生物区系及土壤酶活性影响。结果表明: 施用生物炭对沙土土壤养分含量、微生物区系和土壤酶产生显著影响。22 500~67 500 kg·hm⁻² 生物炭施用量能显著提高沙土土壤有机碳、速效磷和速效钾含量。生物炭影响沙土中可培养细菌、真菌及放线菌数量, 在生物炭施用量为 67 500 kg·hm⁻² 下细菌数量最高, 比 CK 增加了 63.83%; 施用量为 22 500 kg·hm⁻² 放线菌数量最高, 增加了 250.00%; 施用量为 67 500 kg·hm⁻² 真菌数量最少, 降低了 71.43%。生物炭影响沙土中纤维素分解菌和自生固氮菌数量, 随着施用量增加, 其数量呈先增加后降低趋势, 其中施用量为 112 500 kg·hm⁻² 纤维素分解菌和自生固氮菌数量最多, 分别比 CK 增加了 211.11% 和 1 057.89%。土壤中添加 67 500~112 500 kg·hm⁻² 的生物炭土壤中蔗糖酶、过氧化氢酶和蛋白酶活性最高。相关分析表明, 不同生物炭施用量条件下, 土壤养分与细菌、亚硝化细菌、反硝化细菌、土壤酶(磷酸酶除外)关系密切。因此, 适量施用生物炭能提高沙土土壤养分、增加微生物菌群数量和土壤酶活性, 在本试验点最适生物炭用量为 67 500 kg·hm⁻²。

关键词: 生物炭; 微生物区系; 土壤酶; 沙土

中图分类号: X172; S182 **文献标志码:** A

Effects of biochar application amount on microbial flora and soil enzyme activities in sandy soil of Xinjiang

GU Mei-ying¹, GE Chun-hui², MA Hai-gang², TANG Guang-mu², ZHANG Zhi-dong¹, XU Wan-li²

(1. Institute of Microbiology, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/Xinjiang Laboratory of Special Environmental Microbiology

Key Laboratory of Nutrient and Water Resources Efficient Utilization of Oasis, Urumqi, Xinjiang 830091 China;

2. Institute of Soil and Fertilizer and Agricultural Sparing Water, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

Abstract: In order to assess the potential of biochar application to sandy soil, a two-year bean-wheat rotation plot field experiment was conducted in Hetian, Xinjiang Province. Through analyzing the amount of soil culturable microorganisms, the number of bacterial physiological groups and soil enzyme activities, and the influence of difference biochar application amount on sandy soil microbial flora and soil enzyme were studied. The experiment was designed to have five treatments in biochar application rates, including 0 kg·hm⁻² (CK), 22 500 kg·hm⁻², 67 500 kg·hm⁻², 112 500 kg·hm⁻² and 225 000 kg·hm⁻² of biochar application. Results showed that application of 22 500~67 500 kg·hm⁻² biochar could significantly improve content of OM, available P, and available K. In addition, the number of bacteria and actinomycetes by applications of different amounts of biochar soils were increased first and then became decreased. The number of bacteria with application of 67 500 kg·hm⁻² biochar was increased by 63.83%. The number of actinomycetes with application of 22 500 kg·hm⁻² biochar was increased by 250.00%. The number of fungi was decreased first and then increased. The number of fungi with application of 67 500 kg·hm⁻² biochar was decreased by 71.43%. Further-

收稿日期: 2015-07-10

基金项目: 国家自然科学基金(31460148, 41161055, 41261059); 新疆维吾尔自治区科技支撑计划项目(201431108); 自治区公益性科研院所基本科研业务经费(ky2012059)

作者简介: 顾美英(1974—), 女, 江苏无锡人, 副研究员, 主要从事土壤微生物生态方面的研究。E-mail: gmyxj2008@163.com。

通信作者: 徐万里(1971—), 男, 陕西宝鸡人, 研究员, 主要从事农业废弃物资源化利用方面的研究。E-mail: wxu2005@163.com。

more, the numbers of cytophaga and azotobacter with applications of different amounts of biochar soils were increased first and then decreased. The number of bacteria with application of $112500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ biochar was increased by 211.11% and 1 057.89%, respectively. Also, invertase, catalase and protease activities with applications of $67\ 500 \sim 112\ 500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ biochar were the highest. Correlation analysis also showed that soil nutrition and bacteria, nitrifying bacteria, denitrifying bacteria, soil enzyme activities (except for phosphatase) were related closely. The results showed that biochar at $67\ 500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ caused the greatest effects in increasing soil nutrient contents, improving the number of microbial community and enhancing soil enzyme activities supply in sandy soil.

Keywords: biochar; microbial flora; soil enzyme; sandy soil

我国农业粮食产量已达 9 亿吨,作物生产的经济系数决定了有同样规模的秸秆资源总量。随着工业化和城镇化的快速发展,农村劳动力不断减少,导致农田秸秆多被废弃。据调查统计,当前中国秸秆露天焚烧约占 40%,达到每年 3 亿多吨,这不仅造成了资源的浪费,还带来了严重的环境污染^[1]。因此农业秸秆的合理利用已成为农业资源合理利用与环境保护亟待解决的重大问题。

生物炭是秸秆、稻壳、竹木和动物粪便等有机废弃物料在限氧或绝氧条件下,通过 $300^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ 高温裂解形成的一种理化性质稳定、富含高度羧酸酯化和芳香化结构的固体产物^[2]。近些年来,由于生物炭生产原料来源广,施入土壤改良效果显著而被人们所关注。秸秆炭化后具有较大的孔隙度和比表面积,有较强的离子交换性能,且富含化学反应性官能团,能够改善土壤理化性质,提高肥料利用效率,进而增加作物产量^[3-6]。

土壤微生物作为土壤中活的生物体,对环境变化敏感,能够较早地指示出生态系统功能的变化^[7]。生物炭由于自身特性(材料来源、热解温度和时间等)、不同施用量、土壤质地肥力、不同作物等因素的差异导致对土壤微生物的影响差异较大^[8],其中不同生物炭的添加量对土壤微生物有一定的影响。陈心想等^[9]研究表明,随着废弃果树枝干条制成的生物炭施用量增加,土壤三大类微生物的数量、土壤脲酶和过氧化氢酶活性显著增加。谷思玉等^[10]研究表明玉米秸秆生物炭处理提高了成熟期大豆根际土壤中细菌和放线菌数量,真菌数量减少;且促进了土壤中蔗糖酶、过氧化氢酶、脲酶的活性,尤其生物炭用量在 $900 \sim 1\ 200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,酶的活性最高。添加不同量木炭($0.5\ 000, 25\ 000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}, 600^\circ\text{C}$)的室内培养试验表明^[11],高用量生物炭处理较对照显著降低了微生物量碳。因此,适量的生物炭可增加土壤酶活性,进而提高土壤肥力和肥料利用率。

沙土是典型的干旱荒漠地带土壤,是新疆主要农业耕作土壤之一。由于土壤颗粒粗大、土质松散、

水肥易流失,潜在养分含量低,因此这类土壤宜多施有机肥、秸秆还田或绿肥,逐步改善土壤性状^[12]。目前,国内外已有关于生物炭对风沙土微域土壤环境影响的研究^[13-16],但尚无生物炭对新疆南疆沙土中土壤微生物的影响研究报道。

本文以小麦秸秆生物炭为材料,初步研究了施用不同量生物炭对新疆和田地区沙土土壤养分、微生物数量及土壤酶活性的影响。旨在确定适合沙土土壤改良的最佳生物炭施用量,为深入研究生物炭对风沙土土壤微生态环境、土壤质量提升和维持其可持续生产力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与施肥处理

试验于 2011—2012 年在和田地区农科所试验田中进行。土壤类型为风沙土,砂粒、粉粒和粘粒含量分别为 39.06%、54.00% 和 6.94%。土壤基本理化性质:pH 8.28,有机质 $13.49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $0.76 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效氮 $58.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $8.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $134.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。生物炭为河南三利新能源有限公司提供的小麦秸秆炭,特性如下:有机碳 $670 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $82.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $1\ 590 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、pH 9.9;热解温度 $350^\circ\text{C} \sim 550^\circ\text{C}$,裂解时间 4~8 h。将生物炭磨碎并通过 2 mm 筛,使其混合均匀后施入大田。

按耕层土重 $150\ 000 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 计算加入生物炭的量,试验共设 5 个处理:0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 生物炭(CK); 22500 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 生物炭(T_1); 67 500 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 生物炭(T_2); 112 500 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 生物炭(T_3); 225 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 生物炭(T_4)。5 个处理化肥施用量相同。每个微区面积 2.0 m^2 ,不设重复,种植模式为绿豆-冬小麦轮作。

1.2 土样的采集及测定方法

1.2.1 土样的采集 于 2012 年 8 月绿豆收获期采集以上 5 个土壤样品。将每个微区分成 3 块区域,每块区域采用 5 点法采集耕层 0~20 cm 土壤样品,

混合均匀后分成两份,一份鲜样于4℃保存,用于测定微生物和细菌生理类群数量。另一份风干过筛后用于测定土壤养分含量和土壤酶。

1.2.2 土壤 pH 值和养分测定 待采集的土壤样品自然风干后过 2 mm 筛,按照常规方法^[17]进行土壤 pH 值和养分的测定。pH 值测定采用电位法,有机碳测定采用重铬酸钾容量法,全氮测定采用半微量开氏法,速效氮测定采用碱解扩散法,速效磷测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,速效钾测定采用醋酸铵浸提-火焰光度法。

1.2.3 土壤微生物数量测定 细菌、放线菌和真菌采用稀释平板涂布培养计数法分析^[18]。细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,放线菌采用改良高氏一号培养基(每 300 mL 培养基中加 30 g·kg⁻¹重铬酸钾 1 mL),真菌采用 PDA 培养基(每 100 mL 培养基加 10 g·kg⁻¹链霉素溶液 0.3 mL)。微生物生理菌群数量均采用最大或然数法(MPN 法)计数^[18]。好氧性自生固氮菌采用阿须贝无氮培养基,纤维素分解菌采用赫奇逊氏培养基,氨化细菌用蛋白胨氨化培养基,亚硝化细菌用铵盐培养基,反硝化细菌采用柠檬酸钠培养基。

1.2.4 土壤酶活性测定 参照关松荫的方法^[19]:磷酸酶采用磷酸苯二钠法;蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法;脲酶采用苯酚-次氯酸钠比色法;过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法;蛋白酶采用茚三酮比色法。

1.2.5 数据处理及统计分析 数据采用 DPS v9.50 版软件进行方差分析和相关性分析等。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)、最小显著差数法(LSD)进行多重比较差异显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 生物炭对沙质土壤养分含量的影响

从表 1 可以看出,不同生物炭施用量对沙土土壤养分含量有一定的影响。施用生物炭能显著提高沙土土壤有机碳、速效磷(在一定施用量范围内)和速效钾含量。沙土土壤的 pH 值随着生物炭施用量的增加而升高,但差异不显著;其中 T4 处理 pH 值最高,为 8.42。随着生物炭施用量的增加,土壤有机碳和速效钾含量逐渐增加,与不施生物炭的处理相比差异显著,增幅分别为 8.15%~208.75%和 19.49%~55.93%;速效磷含量 T1 处理最大,与不施生物炭的处理相比增加了 7.68%,之后随着施用量的增加而降低,T4 处理降低了 10.52%。全氮含量 T1 处理最大,但与不施生物炭的处理相比差异不显著,之后随着施用量的增加而降低,T4 处理降低了 88.10%。速效氮含量与对照相比差异显著,不施生物炭的土壤最高,施生物炭后呈先增加后降低趋势,在施用量为 T3 处理时达到最大值 63.58 mg·kg⁻¹。可见土壤施用生物炭量在 22 500~67 500 kg·hm⁻²范围内,对改善沙土土壤环境,提高土壤的养分含量作用较大。

表 1 不同施炭量下沙土养分含量变化

Table 1 The changes of nutrients content in sandy soils with different amounts of biochar

处理 Treatment	pH	有机碳 TOC /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	速效氮 Avail. N /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Avail. P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Avail. K /(mg·kg ⁻¹)
CK	8.30 ± 0.13a	13.49 ± 0.07e	0.84 ± 0.01a	75.25 ± 0.06a	8.46 ± 0.02a	118.00 ± 3.00d
T1	8.33 ± 0.06a	14.59 ± 0.09d	0.88 ± 0.03a	50.75 ± 0.03e	9.11 ± 0.04a	141.00 ± 7.81c
T2	8.35 ± 0.04a	20.49 ± 0.07c	0.10 ± 0.05b	60.81 ± 0.04c	8.82 ± 0.08a	145.00 ± 4.58bc
T3	8.36 ± 0.06a	23.64 ± 0.06b	0.10 ± 0.05b	63.58 ± 0.05b	8.55 ± 0.07a	153.00 ± 5.20b
T4	8.42 ± 0.06a	41.65 ± 0.03a	0.12 ± 0.03b	56.38 ± 0.04d	7.57 ± 0.02b	184.00 ± 4.58a

注:同列不同小写字母为 5%显著水平。下同。

Note: Different small letters in same column represented significant differences at $P < 0.05$. The same below.

2.2 生物炭对沙质土壤微生物数量的影响

从图 1 可以看出不同生物炭施用量对土壤三大类群微生物数量有一定的影响。与不施生物炭的处理相比,施用生物炭增加了土壤中细菌和放线菌数量。土壤细菌数量随着生物炭施入量的增加呈现先上升后下降的趋势,T2 处理细菌数量最高,达到 7.70×10^6 cfu·g⁻¹,比 CK 增加了 63.83%。土壤放

线菌数量随着生物炭施入量的增加呈逐渐降低的趋势,T1 处理放线菌数量最高,达到 4.90×10^5 cfu·g⁻¹,比 CK 提升了 250.00%。土壤真菌数量随生物炭施用量的增加呈先下降后上升的趋势,T2 处理真菌数量最少,显著低于对照,为 2.00×10^3 cfu·g⁻¹,降低了 71.43%;T4 处理真菌数量最多,为 10.00×10^3 cfu·g⁻¹,比 CK 提高了 42.86%。

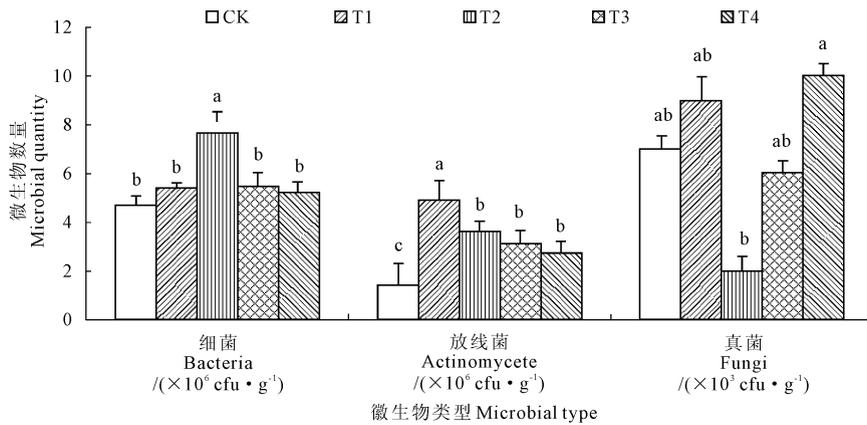


图 1 生物炭处理对沙土土壤微生物数量的影响

Fig.1 Effects of biochar on populations of microorganisms in sandy soils

从图 2 可以看出,不同生物炭施用量对沙土中不同微生物生理类群数量有不同影响。其中纤维素分解菌与自生固氮菌数量的变化规律相似,在一定施用量范围内高于不施生物炭的处理,随着生物炭施用量的增加,这两类生理菌群数量呈现先增加后降低的趋势,其中 T3 处理这两类生理菌群数量最

多,分别比 CK 增加了 211.11% 和 1 057.89%。随着生物炭施用量的增加,氨化细菌、亚硝化细菌和反硝化细菌数量均呈先上升后下降再上升的波浪式起伏趋势,其中 T4 处理这 3 类菌群数量最高,分别比不施生物炭的处理高 837.50%、900.00% 和 1 900.00%。

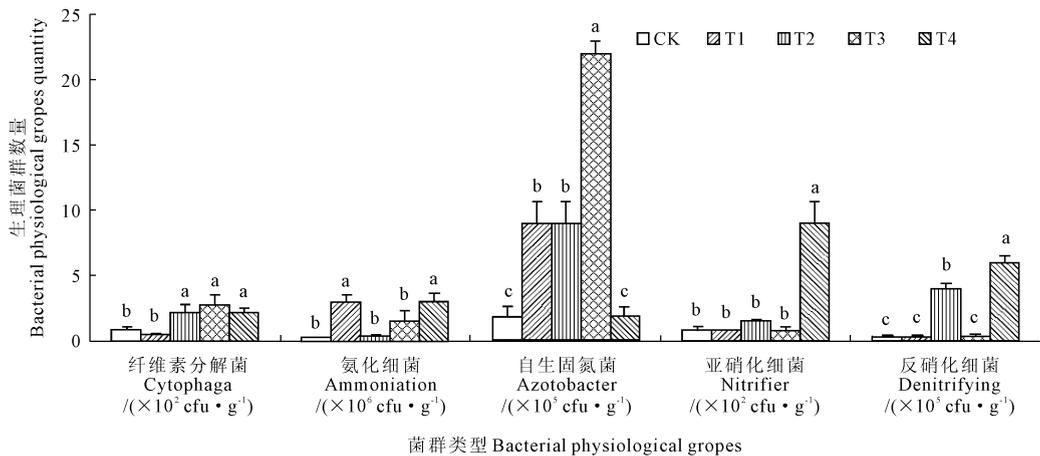


图 2 生物炭对沙土土壤生理菌群数量的影响

Fig.2 Effects of biochar on bacterial physiological gropes in sandy soils

2.3 生物炭对沙质土壤酶活性的影响

不同生物炭施用量对沙土土壤酶活性也有一定的影响(表 2)。施用生物炭明显增加了蔗糖酶活性,且随着施用量的增加呈先上升后下降趋势,T3 处理蔗糖酶活性最大,比对照显著增加了 80.04%;蛋白酶活性除 T2 处理低于不施生物炭的对照外,其余均显著高于对照,且呈先下降再上升的趋势,T4 处理比对照增加了 15.12%;过氧化氢酶活性随生物炭施用量的增加,呈先上升后下降趋势,但仅 T2 处理过氧化氢酶活性比对照增加了 4.76%,其余均低于对照;脲酶活性与对照差异不显著;磷酸酶活性呈下降-上升-下降趋势,且与对照差异不显著。

因此土壤中添加生物炭能促进土壤中蔗糖酶、过氧化氢酶和蛋白酶的活性,尤其以添加 $67\ 500 \sim 112\ 500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的生物炭酶活性最高。因此适量的生物炭可增加土壤酶活性,进而提高土壤肥力和肥料利用率。

2.4 土壤养分与土壤微生物及酶活性的相关性

表 3 表明,向沙土中加入生物炭后土壤养分与土壤微生物及土壤酶活性间仍存在一定的相关性。其中,pH 值与细菌、氨化细菌、过氧化氢酶、脲酶、蛋白酶和过氧化氢酶呈显著负相关;有机质与亚硝化细菌呈极显著正相关,与脲酶呈显著负相关;全氮与蔗糖酶呈显著负相关;速效氮与细菌、放线菌呈显著

负相关;速效磷与脲酶呈极显著正相关,与细菌、反硝化细菌、过氧化氢酶呈显著正相关,与亚硝化细菌呈显著负相关;速效钾与亚硝化细菌、反硝化细菌呈

显著正相关。由此可以看出不同生物炭施用量条件下,土壤养分对细菌、亚硝化细菌、反硝化细菌、土壤酶(磷酸酶除外)的影响明显。

表2 生物炭对沙土土壤酶活性的影响

Table 2 Effects of biochar on soil enzyme activities in sandy soils

处理 Treatment	过氧化氢酶 Catalase $/(\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 20\text{min}^{-1})$	蔗糖酶 Invertase $(\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1})$	脲酶 Urease $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1})$	蛋白酶 Protease $/(\text{mg}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1})$	磷酸酶 Alkaline phosphatase $/(\text{mL}\cdot 100\text{g}^{-1}\cdot 2\text{h}^{-1})$
CK	3.15 ± 0.03b	10.57 ± 0.05e	0.16 ± 0.02a	8.07 ± 0.04d	0.46 ± 0.01ab
T1	3.00 ± 0.04c	10.88 ± 0.05d	0.15 ± 0.01a	8.37 ± 0.05c	0.43 ± 0.03abc
T2	3.30 ± 0.04a	11.79 ± 0.09c	0.16 ± 0.01a	6.65 ± 0.02e	0.41 ± 0.02c
T3	3.15 ± 0.05b	19.03 ± 0.06a	0.15 ± 0.03a	8.45 ± 0.04b	0.47 ± 0.04a
T4	3.05 ± 0.08c	12.46 ± 0.04b	0.14 ± 0.01a	9.29 ± 0.05a	0.42 ± 0.01bc

表3 土壤微生物、酶活性与养分相关性分析

Table 3 Correlation analyses among soil microbes, enzyme activities and nutrients

项目 Item	pH	有机质 OM	全氮 Total N	速效氮 Avail. N	速效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K
细菌 Bacteria	-0.71*	-0.36	0.22	-0.65*	0.78**	0.19
放线菌 Actinomycete	-0.06	-0.17	0.08	-0.59*	0.57	0.45
真菌 Fungi	-0.05	0.27	0.38	-0.32	-0.19	0.21
纤维素分解酶 Cytophaga	-0.20	0.30	-0.45	-0.27	0.17	0.54
氨化细菌 Ammoniation	0.59*	0.58	-0.24	-0.16	-0.40	0.54
自生固氮菌 Azotobacter	0.35	0.04	-0.50	0.20	-0.11	-0.04
亚硝化细菌 Nitrifier	0.55	0.93**	-0.50	0.01	-0.70*	0.65*
反硝化细菌 Denitrifying	-0.39	-0.08	0.17	-0.41	0.61*	0.63*
过氧化氢酶 Catalase	-0.64*	-0.40	0.13	-0.24	0.68*	0.07
蔗糖酶 Invertase	0.37	0.32	-0.62*	0.24	-0.20	0.33
脲酶 Urease	-0.72*	-0.62*	0.48	-0.30	0.87**	0.06
蛋白酶 Protease	-0.62*	-0.04	0.45	-0.57	0.13	-0.16
磷酸酶 Alkaline phosphatase	-0.05	-0.25	0.12	0.33	0.27	0.14

注: ** 代表相关性达到极显著性水平, $P < 0.01$; * 代表相关性达到显著性水平, $P < 0.05$ 。

Note: ** significant at $P < 0.01$; * significant at $P < 0.05$.

3 结论与讨论

生物炭可以通过对营养物质的吸附改善土壤环境^[20];改变土壤中生物群落的组成和丰度^[21],影响营养物质的循环以及土壤结构,进而间接影响作物产量^[22]。

生物炭可以提高土壤养分含量。一方面生物炭的组成元素主要为碳、氢、氧、氮等,此外 P、K、Na、Ca、Mg 等离子含量也较高^[23],这些营养成分进入土壤后可提高土壤中养分的含量;同时由于生物炭较小的密度,较大的比表面积及含有大量的含氧官能团等,加入土壤中可以减少土壤的容重、增加土壤的 pH 值、孔隙度和田间持水量,这些特性与生物炭改善土壤理化性质有一定的联系,可提高对养分的

吸附能力和生物有效性^[24-25]。本研究表明生物炭的施用提高了沙土土壤 pH 值,且随着施用量的增加,pH 值逐渐升高。Tammeorg 等^[26]研究表明,生物炭明显增加了沙土中碳和钾的含量,但没有提高产量和氮含量。本研究显示随着生物炭施用量的增加,土壤有机碳和速效钾含量逐渐增加,但全氮和速效磷含量则呈现先增加后下降的趋势。

生物炭对土壤微生物群落有调节作用,且施用量对微生物区系有一定的影响。适宜的生物炭用量对土壤微生物起着重要作用,一定程度上决定了土壤修复效果。但生物炭本身对土壤微生物存在“抑制浓度”,过量生物炭可能对微生物产生毒性^[27]。研究表明施用生物炭可显著增加瘠土土壤三大类微

生物类群的数量,且增幅随其用量的增加而增加^[9];随着木材生物炭施用量增加,土壤微生物组成出现明显差异,尤其是高生物炭施用量的根际土壤与对照差异明显^[28]。生物炭施用量在 $1\ 200\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,大豆根际土壤细菌、放线菌和真菌数量最多^[10]。本研究表明,随着生物炭施用量的增加,细菌和放线菌数量呈先增加后下降的趋势,真菌数量则有升高趋势。 $67\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 生物炭的施用可以很好地提升土壤中细菌和放线菌数量,同时降低了土壤中真菌的数量,使沙质土壤微生态环境有所改善。

土壤中的特殊功能菌如根瘤菌、硝化细菌等对生物炭的施加更敏感。韩光明的研究表明,添加生物炭处理菠菜根际氨化细菌、好氧自生固氮菌和反硝化细菌数量得到显著提高,但不同生物炭用量,其数量有所差异,这说明适量的生物质炭对促进氮代谢微生物的活性,提高根部的生物固氮能力,降低土壤中亚硝酸盐的含量可能具有一定作用^[29]。本研究表明生物炭的施用总体上改变了土壤中不同生理菌群的数量,但作用效果随着施用量的增加纤维素分解菌和自生固氮菌数量呈先升后降的趋势,其余没有明显的规律性。

施用生物炭对土壤酶活性的影响研究比较少,主要集中在与碳氮物质循环相关的几种酶。由于生物炭的吸附性,使生物炭对土壤酶的作用比较复杂。一方面生物炭对反应底物的吸附有助于酶促反应而提高土壤酶活性,另一方面生物炭对酶分子的吸附对酶促反应结合位点形成保护,而阻止酶促反应的进行^[7]。生物炭对土壤酶活性的影响因生物炭用量和土壤类型而异。目前的研究表明,生物炭施用促进了碱性磷酸酶和反硝化酶活性,而降低了 β -D-葡萄糖苷酶、 β -D-纤维双糖苷酶活性^[30];显著提高糜土轮作土壤脲酶、过氧化氢酶和玉米收获后碱性磷酸酶活性,但对蔗糖酶和小麦季碱性磷酸酶活性影响不显著^[9]。砂土、壤土和盐土这三种土壤生物炭用量分别为 $45\ 000$ 、 $45\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $30\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时种植糜子的土壤总体酶活性达到最高^[31]。本研究表明生物炭施用量在 $67\ 500\sim 112\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,能显著提高沙土土壤蔗糖酶、过氧化氢酶和蛋白酶活性,但对脲酶和磷酸酶作用效果不明显。

综上所述,生物炭可以有效改善沙土土壤微生态环境,使其向有利于植株生长的方向转化。当土壤中生物炭用量在 $67\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,对土壤中养分含量、微生物数量和土壤酶活性有较好的促进作用。但由于生物炭偏碱性,在酸性土壤上有较好的

改良效果,但新疆的土壤多为碱性土壤,已有研究表明,即使在干旱区碱性土壤上,生物炭在短期也有显著效果^[16,32]。同时生物炭对土壤微生态的影响还与原材料、加工工艺、施用量以及土壤性质等有关,沙土土壤微生物区系和土壤酶对生物炭的响应机制还有待进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] 潘根兴,李恋卿,刘晓雨,等.热裂解生物质炭产业化:秸秆禁烧与绿色农业新途径[J].科技导报,2015,33(13):92-101.
- [2] 陈温福,张伟明,孟 军.农用生物炭研究进展与前景[J].中国农业科学,2013,46(16):3324-3333.
- [3] Schulz H, Dunst G, Glaser B. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2013, 33(4): 817-827.
- [4] Huang M, Yang L, Qin H D, et al. Fertilizer nitrogen uptake by rice increased by biochar application[J]. Biology and Fertility of Soils, 2014, 50(6): 997-1000.
- [5] Prayogo C, Jones J E, Baeyens J, et al. Impact of biochar on mineralisation of C and N from soil and willowlitter and its relationship with microbial community biomass and structure[J]. Biology and Fertility of Soils, 2014, 50(4): 695-702.
- [6] 李 晓,张吉旺,李恋卿,等.施用生物质炭对黄淮海地区玉米生长和土壤性质的影响[J].土壤,2014,46(2):269-274.
- [7] 丁艳丽,刘 杰,王莹莹.生物炭对农田土壤微生物生态的影响研究进展[J].应用生态学报,2013,24(11):3311-3317.
- [8] 卜晓莉,薛建辉.生物炭对土壤生境及植物生长影响的研究进展[J].生态环境学报,2014,23(3):535-540.
- [9] 陈心想,耿增超,王 森,等.施用生物炭后壤土土壤微生物及酶活性变化特征[J].农业环境科学学报,2014,33(4):751-758.
- [10] 谷思玉,李欣洁,魏 丹,等.生物炭对大豆根际土壤养分含量及微生物数量的影响[J].大豆科学,2014,33(3):393-540.
- [11] Dempster D N, Gleeson D B, Solaiman Z M, et al. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil[J]. Plant and Soil, 2011, 354(1/2): 311-324.
- [12] 程小丹,朱玉红,于艳霞.不同土壤如何施肥[J].新农业,2007,(6):43.
- [13] Tammeorg P, Simojoki A. Biochar application to a fertile sandy clay loam in boreal conditions: effects on soil properties and yield formation of wheat, turnip rape and faba bean[J]. Plant and Soil, 2014, 374(1/2): 89-107.
- [14] Sun Z C, Bruum E W, Arthur E, et al. Effect of biochar on aerobic processes, enzyme activity, and crop yields in two sandy loam soils [J]. Biology and Fertility of Soils, 2014, 50(7): 1087-1097.
- [15] Baiamonte G, Pasquale C D, Marsala V, et al. Structure alteration of a sandy-clay soil by biochar amendments[J]. Journal of Soils and Sediments, 2015, 15(4): 861-824.
- [16] 葛春辉,唐光木,徐万里.生物质炭对沙质土壤理化性质及作物产量的影响[J].新疆农业科学,2013,50(6):1108-1114.
- [17] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.

- bution and chemical forms of cadmium in *Bechmeria nivea*(L.) Gaud [J]. Environmental and Experimental Botany, 2008, 62(3): 389-395.
- [21] 龙育堂,刘世凡,熊建平,等.苧麻对稻田土壤汞净化效果研究[J].农业环境保护,1994,13(1):30-33.
- [22] 余玮,揭雨成,邢虎成,等.湖南冷水江锑矿区苧麻对重金属的吸收和富集特性[J].农业环境科学学报,2010,29(1):91-96.
- [23] Davidson C M, Duncan A L, Littlejohn D, et al. A critical evaluation of the three-stage BCR sequential extraction procedure to assess the potential mobility and toxicity of heavy metals in industrially-contaminated land[J]. Analytica Chimica Acta, 1998,363(1):45-55.
- [24] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [25] Smith C, Hopmans P, Cook F. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia[J]. Environmental Pollution, 1996,94(3):317-323.
- [26] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [27] Ranhawa H S, Singh S P. Zinc fractions in soils and their availability to maize[J]. India Society of Soil Science, 1995,43(2):293-294.
- [28] Wallace A, Berry W L. Dose - Response Curves for Zinc, Cadmium, and Nickel in Combinations of One, Two, or Three[J]. Soil Science, 1989,147(6):411-412.
- [29] 章明奎,方利平,周翠.污染土壤重金属的生物有效性和移动性评价:四种方法比较[J].应用生态学报,2006,17(8):1501-1504.
- [30] 陈炳睿,徐超,吕高明,等.6种固化剂对土壤Pb Cd Cu Zn的固化效果[J].农业环境科学学报,2012,31(7):1330-1336.
- [31] 丁凌云,蓝崇钰,林建平,等.不同改良剂对重金属污染农田水稻产量和重金属吸收的影响[J].生态环境,2006,15(6):1204-1208.
- [32] 李瑞美,王果,等.钙镁磷肥与有机物料配施对作物镉铅吸收的控制效果[J].土壤与环境,2002,11(4):348-351.
- [33] Lin Z, Harsbo K, Ahlgren M, et al. The source and fate of Pb in contaminated soils at the urban area of Falun in central Sweden[J]. Science of the Total Environment, 1998,209(1):47-58.

(上接第230页)

- [18] 姚槐应,黄昌勇.土壤微生物生态学及其实验技术[M].北京:科学出版社,2006.
- [19] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [20] Major J, Rondon M, Molina D, et al. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol [J]. Plant and Soil, 2010, 333(1/2):117-128.
- [21] 王晓辉,郭光霞,郑瑞伦,等.生物炭对设施退化土壤氮相关功能微生物群落丰度的影响[J].土壤学报,2013,50(3):624-631.
- [22] 高海英,何绪生,陈心想,等.生物炭及炭基硝酸铵肥料对土壤化学性质及作物产量的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(10):1948-1955.
- [23] 孔丝纺,姚兴成,张江勇,等.生物质炭的特性及其应用的研究进展[J].农业环境科学学报,2015,34(4):716-723.
- [24] 郑瑞伦,王宁宁,孙国新,等.生物炭对京郊沙化地土壤性质和苜蓿生长、养分吸收的影响[J].农业环境科学学报,2015,34(5):904-912.
- [25] 刘玉学,王耀锋,吕豪豪,等.生物质炭化还田对稻田温室气体排放及土壤理化性质的影响[J].应用生态学报,2013,24(8):2166-2172.
- [26] Tammeorg P, Simojoki A, Mäkelä P, et al. Biochar application to a fertile sandy clay loam in boreal conditions: effects on soil properties and yield formation of wheat, turnip rape and faba bean[J]. Plant and Soil, 2014,374(1-2):89-107.
- [27] 姚玲丹,程广焕,王丽晓,等.施用生物炭对土壤微生物的影响[J].环境化学,2015,34(4):697-704.
- [28] Jin H. Characterization of microbial life colonizing biochar and biochar-amended soils[D]. Ithaca, NY: cornell University, 2010.
- [29] 韩光明,孟军,曹婷,等.生物炭对菠菜根际微生物及土壤理化性质的影响[J].沈阳农业大学学报,2012,43(5):515-520.
- [30] Wu F P, Jia Z K, Wang S G, et al. Contrasting effects of wheat straw and its biochar on greenhouse gas emissions and enzyme activities in a Chernozemic soil[J]. Biology and Fertility of Soil, 2013,49(5):555-565.
- [31] 尚杰,耿增超,陈心想,等.生物炭对土壤酶活性和糜子产量的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(2):146-151,158.
- [32] 唐光木,葛春辉,徐万里,等.施用生物黑炭对新疆灰漠土肥力与玉米生长的影响[J].农业环境科学学报,2011,30(9):1797-1802.