

生物质炭浸提液对大蒜生长品质及土壤的影响

卓亚鲁, 李磊, 郑金伟, 刘晓雨, 李恋卿, 潘根兴

(南京农业大学 农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210095)

摘要: [目的] 证实生物质炭中的水溶性有机碳对作物生长和品质的作用, 为生物质炭的应用开辟新的途径。[方法] 在实验室制取 400, 450, 500 °C 小麦秸秆生物质炭, 以 KOH 溶液浸提水溶性有机碳获得生物质炭浸提液 W_{400} , W_{450} , W_{500} , 并应用于盆栽大蒜试验, 研究其对大蒜生长、品质及土壤的影响。[结果] (1) W_{400} , W_{450} , W_{500} 对大蒜的生长都没有显著影响; (2) W_{400} 处理使大蒜可溶性糖的含量显著提高了 27.53%, 土壤有机质和速效磷含量分别提高 37%, 26%; (3) W_{450} 处理下大蒜维生素 C、大蒜素含量分别显著提高 34.9% 和 8.2%。[结论] 生物质炭浸提液对大蒜生长没有影响, 但可以提高大蒜品质。

关键词: 小麦炭浸提液; 温度; 大蒜; 品质; 土壤理化性质

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)05-0081-05

中图分类号: S145.2

文献参数: 卓亚鲁, 李磊, 郑金伟, 等. 生物质炭浸提液对大蒜生长品质及土壤的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 81-85. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.014; Zhuo Yalu, Li Lei, Zheng Jinwei, et al. Effects of biochar extract on growth quality of garlic and soil properties[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 81-85. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.014

Effects of Biochar Extract on Growth Quality of Garlic and Soil Properties

ZHUO Yalu, LI Lei, ZHENG Jinwei, LIU Xiaoyu, LI Lianqing, PAN Genxing

(Institute of Resources, Ecosystem and Environment of Agriculture,
Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

Abstract: [Objective] To demonstrate the effects of water-soluble organic carbon in biochar for crop growth and quality and to open up new pathway for the application of biochar. [Methods] Three wheat straw biochar samples at 400 °C, 450 °C, 500 °C were prepared in laboratory, and corresponding water-soluble organic carbons were extracted with KOH solution to obtain biochar extracts of W_{400} , W_{450} , W_{500} . Furthermore, the extracts were applied in potted garlic test and the effects on garlic growth, quality and soil were measured. [Results] (1) W_{400} , W_{450} , W_{500} had no significant effects on the growth of garlic. (2) W_{400} treatment increased the content of garlic soluble sugar by 27.53%, increased soil organic matter and available phosphorus by 37%, 26%. (3) Garlic vitamin C, allicin content in the treatment of W_{450} was significantly increased by 34.9% and 8.2%. [Conclusion] Biochar extract has no effect on the growth of garlic, but it can improve the quality of garlic.

Keywords: wheat carbon extract; temperature; garlic; quality; soil properties

大蒜别名胡蒜、独蒜等, 为广义百合科植物大蒜的鳞茎, 因其独特的风味和具有防治心血管疾病、抗肿瘤等多重功效而成为重要食物。在中国, 大蒜种植效益较高, 近年来种植面积不断扩大。但是由于长年的连作, 大蒜重茬病害面积呈逐年上升趋势, 化肥、农药依赖性增强, 严重影响着大蒜的产量和品质^[1]。在

国家出台“减肥减药”政策大背景下, 有利于植物健康生长和土壤可持续利用的肥料产品将越来越受重视。

近年来, 生物质炭因其在农业生态与环保方面的显著作用而成为研究者关注的焦点^[2-3]。生物质炭是由生物质在完全或部分缺氧以及相对较低的温度条件下, 经热解炭化形成的一类含碳量极其丰富的、稳

收稿日期: 2017-03-06

修回日期: 2017-03-20

资助项目: 国家科技支撑计划“典型陆地生态系统减排增汇增产关键技术及示范”(2015BAC02B00)

第一作者: 卓亚鲁(1990—), 男(汉族), 山东省济宁市人, 硕士研究生, 主要从事生物质炭浸提液的农业应用。E-mail: 2014103106@njau.edu.cn。

通讯作者: 郑金伟(1973—), 男(汉族), 江苏省南京市人, 博士, 副教授, 主要从事土壤微生物及农业废弃物利用方面的研究。E-mail: zhengjw@njau.edu.cn。

定的、高度芳香化难溶性固态物质^[4]。很多研究结果显示,生物质炭施入土壤能促进作物根系生长、提高作物的产量和品质^[5-7],究其原因,主要是从生物质炭改善土壤结构,含有一定量 N, K, P 等养分元素,提高土壤 CEC 和 pH 值,丰富土壤微生物群落结构等方面予以解释。而很少从生物质炭中含有的水溶性有机碳的作用方面去考虑,虽然不同温度生物质炭中水溶性有机碳含量有较大差异的事实客观存在。目前为止,对于生物质炭水溶性有机碳的成份的研究还较少,这主要是因为其组成复杂,至少有上百种有机碳组分,对其中的有效成分更是难以分析确认。而且,生物质炭中有机碳组分受原料和热裂解温度的影响,不同温度下生产的生物质炭的有机碳组分存在很大差异^[8-9]。Graber 等^[8]研究发现,生物质炭的水溶性组分包括多种可溶性盐、小分子有机酸、类腐殖酸的大分子有机化合物等。另外,已有一些研究指出腐殖酸及有机酸类物质能够刺激作物生长,提高其养分

利用率,增加作物产量并改善其品质^[10-11]。本研究利用浸提的方法提取不同温度生物质炭中水溶性有机碳并进行盆栽试验,试图证实生物质炭中的水溶性有机碳对作物生长和品质的作用,以期为生物质炭的应用开辟新的途径。

1 试验与材料

1.1 供试材料

供试大蒜品种为金育 3 号。

(1) 生物质炭。利用马弗炉将小麦秸秆分别在 400, 450, 500 °C 条件下炭化得到生物质炭,其理化性质见(表 1)。

(2) 浸提液。将生物质炭和 0.02 M 的 KOH 溶液按照 1 : 20 的固液比进行混合,在摇床上震荡 1 h。用抽滤瓶进行固液分离,得到的溶液用磷酸调节 pH 值至中性,制得 W₄₀₀, W₄₅₀, W₅₀₀ 3 种生物质炭浸提液,其有机组分见(表 2)稀释 100 倍后用于本试验。

表 1 不同温度生物质炭基本性质

处理	C/%	N/%	灰分/%	挥发分/%	固定碳/%	速效 P/%	速效 K/%	pH 值
W ₄₀₀	56.48	0.776	19.1	33.65	47.25	6.30	6.30	9.74
W ₄₅₀	57.55	0.792	19.7	28.51	51.79	5.70	6.70	10.17
W ₅₀₀	57.81	0.899	22.3	23.27	54.43	5.20	6.50	10.45

表 2 生物质炭浸提液的组成成分

处理	总可溶性 有机物	疏水性可溶性 有机物	亲水性可溶性有机物				
			生物聚合物	腐殖质	腐殖质氧化产物	小分子中性物	小分子酸
W ₄₀₀	302.60	66.01	4.05	44.70	47.08	88.15	52.61
W ₄₅₀	241.70	61.43	2.30	5.38	24.23	113.10	35.59
W ₅₀₀	178.20	59.04	1.10	7.21	19.20	61.63	30.07

1.2 试验处理

试验在玻璃温室内进行,盆栽土壤为粘壤土,土壤风干磨碎过 5 mm 筛后装盆使用,每盆装土 10 kg。土壤基础理化性质见(表 3)。试验共设 4 个处理,分别为 CK, W₄₀₀, W₄₅₀, W₅₀₀ 每个处理 3 次重复。每盆施入 10 g 的硫酸钾型复合肥(N : P₂O₅ : K₂O = 15 : 15 : 15)做基肥,与土充分混匀。2016 年 1 月 14 日播种,每盆定植 4 棵,用根施的方式施用浸提液,每隔 2 周施用 1 次。于 2016 年 5 月 2 日收获。

表 3 试验土壤理化性质

pH 值	有机碳/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
6.03	4.33	0.32	15.15	95.22

1.3 土壤样品采集和理化性质的测定

大蒜收获后将盆内土壤倒出混匀并采集 500 g 土样,自然风干去根,0.85 和 0.15 mm 孔径过筛备用。pH 值采用电位法^[12],水 : 土 = 5 : 1;全氮采用凯氏定氮法^[12];有机质采用重铬酸钾容量法—外加加热法;速效磷采用碳酸氢钠法测定^[12];速效钾采用乙酸铵提取—火焰光度计法^[12]。

1.4 大蒜样品采集和测定

挖出完整根系,洗净,从鳞茎上部膨大处向上 2 cm 处剪去上部假茎后,自然风干 20 d。选取的蒜头剪碎混匀,称取鲜样测定可溶性糖、维生素 C、大蒜素。维生素 C 采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^[13]测定;可溶性糖采用苯酚法^[13]测定;大蒜素采用苯胺比色法^[14]测定。

1.5 数据分析

采用 Excel 2013 软件对试验数据进行统计处理,采用 SPSS 16.0 软件进行方差分析。各处理与对照间的差异采用单因素方差分析和多重比较(LSD 检验),处理之间的显著性分析均在 $p < 0.05$ 水平下。

2 结果与分析

2.1 生物质炭浸提液对大蒜生长的影响

本研究盆栽试验中,生物质炭浸提液对大蒜生长的影响如表 4 所示。不同炭化温度下生物质炭浸提液处理于对照相比,在大蒜株高和生物量上都没有显著性差异,说明浸提液对大蒜植株生长没有显著影响。

表 4 不同炭化温度生物质炭浸提液对大蒜生长的影响

处理	株高/cm	生物量/g
CK	63.67 ± 4.61 ^a	29.83 ± 2.70 ^a
W ₄₀₀	69.3 ± 4.04 ^a	32.25 ± 3.26 ^a
W ₄₅₀	59.33 ± 5.56 ^a	25.47 ± 2.27 ^a
W ₅₀₀	72.0 ± 1.73 ^a	28.28 ± 3.90 ^a

注:同一列数据后标识不同字母表示差异显著($p < 0.05$); W₄₀₀, W₄₅₀, W₅₀₀ 分别表示 400, 450, 500 °C 的生物质炭浸提液。下同。

2.2 不同炭化温度下生物质炭浸提液对大蒜品质的影响

可溶性糖、维生素 C、大蒜素是大蒜重要的品质指标,其中大蒜素具有很强的抗菌作用,被称为天然的光谱抗生素^[15]。不同温度生物质炭浸提液对大蒜品质的影响如图 1 所示。W₄₀₀ 和 W₄₅₀ 处理都提高了大蒜素含量,但 W₄₀₀ 效果不显著,而 W₄₅₀ 显著提高了

大蒜中大蒜素的含量。W₄₀₀ 处理显著提高了大蒜可溶性糖含量,提高幅度 27.53%,W₄₅₀ 处理虽然使大蒜可溶性糖含量有所提高,但没有达到显著水平,而 W₅₀₀ 处理则降低了大蒜可溶性糖含量,但无显著差异。与对照相比,W₄₀₀,W₄₅₀,W₅₀₀ 这 3 个处理都显著提高了大蒜维生素 C 的含量,其中,W₄₅₀ 处理大蒜维生素 C 含量达到最高,相比对照提高了 34.9%。

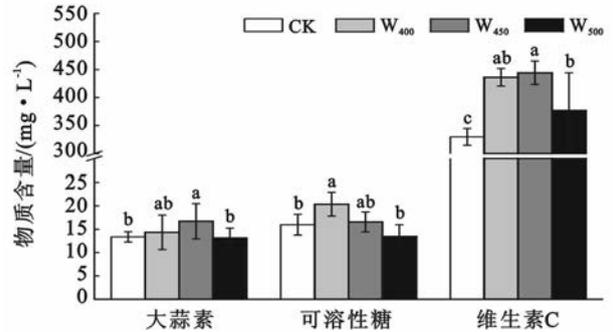


图 1 不同炭化温度下生物质炭浸提液对大蒜品质的影响

2.3 不同炭化温度生物质炭浸提液对土壤理化性质的影响

不同炭化温度生物质炭浸提液对土壤理化性质的影响如表 5 所示。可以看出,与对照相比,W₄₀₀,W₄₅₀,W₅₀₀ 这 3 种浸提液都显著提高了土壤 pH 值。同时,也使土壤有机质含量得到了提高,但只有 W₄₀₀ 处理达到显著水平。对土壤 N, P, K 等养分指标,W₄₀₀,W₄₅₀,W₅₀₀ 3 种浸提液处理都显著提高了土壤速效磷含量;W₄₀₀,W₄₅₀ 处理虽然提高了土壤全氮含量,但都未达到显著水平;除了 W₄₀₀ 以外,其他 3 种处理都显著提高了土壤中速效钾的含量。

表 5 不同温度下小麦炭浸提液对土壤理化性质的影响

处理	pH 值	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
CK	5.98 ± 0.17 ^c	4.08 ± 0.54 ^b	0.49 ± 0.04 ^b	81.63 ± 5.42 ^b	58.75 ± 2.90 ^c
W ₄₀₀	6.33 ± 0.07 ^a	5.58 ± 0.43 ^a	0.52 ± 0.02 ^{ab}	102.91 ± 3.62 ^a	70.42 ± 9.41 ^{bc}
W ₄₅₀	6.30 ± 0.07 ^{ab}	4.88 ± 0.94 ^{ab}	0.52 ± 0.02 ^{ab}	104.46 ± 8.03 ^a	87.81 ± 7.33 ^a
W ₅₀₀	6.29 ± 0.06 ^a	4.95 ± 0.28 ^{ab}	0.48 ± 0.01 ^c	105.76 ± 3.57 ^a	80.75 ± 3.62 ^{ab}

3 讨论

生物质炭的理化特性受炭化温度的影响较大,炭化温度与生物质炭 pH 值、有机碳含量和稳定性等指标呈正相关,而与易挥发的水溶性有机碳含量呈负相关^[16]。王英惠等^[17]发现施用低温生物质炭增加了土壤腐植酸和胡敏酸含量,而施用高温生物质炭的土壤其腐植酸和胡敏酸含量的变化不显著。Zimmer-

man^[18]的培养试验也发现低温制备的生物质炭更易被土壤中微生物分解利用。这主要是由生物质炭中挥发性物质和可溶性碳含量决定的^[19]。从浸提液组成成分的结果表明低温生物质炭含有较多的水溶性有机碳和一些小分子酸,这些有机碳施入土壤后因其可溶性和极易获取性很容易被土壤微生物利用。

3.1 生物质炭浸提液对大蒜生长及品质的影响

本研究中,W₄₀₀,W₄₅₀,W₅₀₀ 这 3 种生物质炭浸提

液对大蒜的生长指标如株高、生物量均没有显著影响,但有研究发现喷施生物质炭热水浸提液能显著提高小白菜的产量和品质^[20]。这说明生物质炭中水溶性的有机碳对不同植物的作用有差异,也可能跟施用方式有关,浸提液中的一些活性物质喷施在叶面上能被作物直接吸收利用,而本研究采用施用于土壤的方式可能使水溶性有机碳被土壤微生物所利用,从而影响效果。有研究报道称使用腐殖质能够改变洋葱的品质,提高作物的可溶性糖、淀粉含量^[21]。本研究中,低于 450 °C 的生物质炭所制取浸提液能够不同程度的提高大蒜的维生素 C、可溶性糖和大蒜素的含量等。这些作用可能和浸提液中含有的活性有机碳有关。生物质炭的水溶性有机碳组分包括多种小分子有机酸、类腐殖酸的大分子有机化合物,这些有机组分同自然状态下溶解的有机物具有相似的性质,均具有一定的氧化还原活性。其结构中以醌型、芳香族、半硫醇为主,这类物质是微生物新陈代谢过程的重要媒介,也可以通过多种氧化过程为微量元素在植物体内的生物循环提供便利^[22]。腐殖酸有影响植物生理生化,促进植物的生长的效果,因此被认为是植物的生物刺激素。而浸提液中不仅含有类腐殖酸的物质还有一些微量元素同样会影响作物的品质。王越^[23]研究称浇施含 10 μmol/l 硒和 6 mmol/l 硫的营养液,可显著提高蒜苗叶片和假茎中的可溶性糖、维生素 C 和大蒜素含量。本研究利用 KOH 浸提过程中加入的 K,以及调节浸提液 pH 值时加入的 P 相对于土壤中本身 P 和 K 的含量是非常微量的,不应该是本研究中大蒜品质指标变化的主要原因。生物质炭浸提液提高大蒜可溶性糖、维生素 C 和大蒜素等重要品质指标的确定性和作用机理可能还需更多的研究来明确。

3.2 生物质炭浸提液对土壤理化性质的影响

本研究显示,在生物质炭浸提液处理下,盆栽大蒜土壤 pH 值和有机质、速效磷含量与对照相比有明显变化,其中 W₄₀₀ 处理影响达显著水平。其原因可能是浸提液中不仅含有大量的类腐殖酸物质为微生物提供碳源,改善土壤生境,而且大量小分子的有机酸能够促进土壤中一些难溶性磷的溶解。靳志丽等^[24]的研究发现,腐殖酸不仅能提高土壤有机质含量,酸化根际土壤,还可提高土壤中磷酸酶和蔗糖酶的活性,从而有利于提高土壤的生物学活性,促进土壤中微生物的活动以及养分的转化和释放。曾婕等^[25]发现叶面喷施木醋液与根施的协同作用能提高烤烟土壤微生物利用碳源的能力和代谢活性,从而改善了植烟土壤微生物群系统的多样性和代谢活性。

4 结论

生物质炭浸提液对大蒜生长没有显著影响,但是能够改善大蒜品质,同时也有利于土壤理化性质的改善。①400 °C 生物质炭浸提液的处理使大蒜可溶性糖的含量显著提高了 27.53%,土壤有机质和速效磷含量分别提高 37%,26%;②450 °C 生物质炭浸提液的处理使大蒜维生素 C、大蒜素含量分别显著提高 34.9%和 8.2%。

本论文对生物质炭可溶性部分的作用提供科学依据,并且发现低温生物质炭所提取浸提液的应用效果较好,因此建议生物质炭在农用生产要尽可能的降低炭化温度。但这仅在盆栽试验基础上所得出的结果。对于生物质炭可溶性部分应用和在大蒜上应用的可行性,今后在大田试验还要进一步的研究予以阐释。

[参 考 文 献]

- [1] 王桂华. 金乡大蒜重茬病发生原因及防治措施[J]. 蔬菜, 2011(12):165-166.
- [2] Lehmann J, Pereira da Silva J, Steiner C, et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the central Amazon basin; fertilizer, manure and charcoal amendments [J]. *Plant and Soil*, 2003, 249(2):343-357.
- [3] Whitman T, Lehmann J. Biochar-One way forward for soil carbon in offset mechanisms in Africa [J]. *Environmental Science & Policy*, 2009, 12(7):1024-1027.
- [4] 陈红霞, 杜章留, 郭伟, 等. 施用生物炭对华北平原农田土壤容重, 阳离子交换量和颗粒有机质含量的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(11):2930-2934.
- [5] 吕伟波. 生物炭对土壤微生物生态特征的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [6] 周建斌, 叶汉玲, 张合玲, 等. 生物改性竹炭制备工艺及其应用的研究[J]. *水处理技术*, 2008, 34(10):38-41.
- [7] 付嘉英. 生物质炭基肥料的试制及其在蔬菜地的应用探讨[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [8] Graber E R, Tsechansky L, Lew B. Reducing capacity of water extracts of biochar and their solubilization of soil Mn and Fe[J]. *European Journal of Soil Science*, 2014, 65(1):162-172.
- [9] Fawzy Z F, El-Bassiony A M, Behairy A G, et al. Effect of foliar spraying by some bio and organic compounds on growth, yield and chemical composition of snap bean plants [J]. *Journal of Applied Sciences Research*, 2010, 6(12):2269-2274.
- [10] Sarhan T Z, Mohammad G H, Teli J A. Effects of humic acid and bread yeast on growth and yield of egg-

- plant(*Solanum melongena* L.)[J]. Journal of Agricultural Science and Technology B, 2011, 1(7): 1091-1096.
- [11] Taek K O, Yoshiyuki S, Jiro C, et al. Effect of Aqueous Extract of Biochar on Germination and Seedling Growth of Lettuce(*Lactuca sativa* L.)[J]. Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 2012, 57(1):55-60.
- [12] 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, 2002.
- [13] 李仲芳. 植物生理学试验指导[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010: 66-75.
- [14] 张丽霞, 张国强. 大蒜素含量的测定方法研究[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(3): 713-714.
- [15] 陈晓月, 赵承辉. 大蒜素体外抗菌活性研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(1): 108-110.
- [16] Angm D, Sensöz S. Effect of pyrolysis temperature on chemical and surface properties of biochar of rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. International Journal of Phytoremediation, 2014, 16(7/8): 684-693.
- [17] 王英惠, 杨旻. 不同温度制备的生物质炭对土壤有机碳矿化及腐殖质组成的影响[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(8): 1585-1591.
- [18] Zimmerman A R. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon(biochar)[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(4): 1295-1301.
- [19] Whitman T, Enders A, Lehmann J. Pyrogenic carbon additions to soil counteract positive priming of soil carbon mineralization by plants[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 73: 33-41.
- [20] Lou Yingmei, Joseph S, Li Lianqing, et al. Water extract from straw biochar used for plant growth promotion: An initial test[J]. Bioresources, 2015, 11(1): 249-266.
- [21] Fawzy Z F, El-Bassiony A M, Behairy A G, et al. Effect of foliar spraying by some bio and organic compounds on growth, yield and chemical composition of snap bean plants[J]. Journal of Applied Sciences Research, 2010, 6(12): 2269-2274.
- [22] Fimmen R L, Cory R M, Chin Yuping, et al. Probing the oxidation-reduction properties of terrestrially and microbially derived dissolved organic matter [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2007, 71(12): 3003-3015.
- [23] 王越. 硒硫配施对大蒜光合特性、产量及品质的影响[J]. 山东农业科学 2014, 46(5): 66-71.
- [24] 靳志丽, 刘国顺, 聂新柏. 腐殖酸对土壤环境和烤烟矿物质吸收影响的研究[J]. 中国烟草科学, 2002(3): 15-18.
- [25] 曾婕, 海梅荣, 王晓会. 木醋液对植烟土壤微生物多样性的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(1): 93-98.

(上接第 80 页)

- [13] 井大炜, 王明友, 张红, 等. 鸡粪对芸豆土壤有机碳氧化稳定性与碳库管理指数的影响[J]. 农业机械学报, 2016, 47(8): 192-200.
- [14] 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.
- [15] 代红翠, 陈源泉, 赵影星, 等. 不同有机物料还田对华北农田土壤固碳的影响及原因分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(S2): 103-110.
- [16] 郭金瑞, 宋振伟, 朱平, 等. 长期不同种植模式对东北黑土微生物群落结构与土壤理化性质的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(2): 353-359.
- [17] 井大炜, 王明友, 张红, 等. 蚯蚓粪配施尿素对豇豆根系特征与根际土壤腐殖质的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(1): 212-219.
- [18] 罗永清, 赵学勇, 王涛, 等. 植物根系分解及其对生物和非生物因素的响应机理研究进展[J]. 草业学报, 2017, 26(2): 197-207.
- [19] 刘晓. 配施鸡粪对杨树苗根系形态和根际土壤微环境特征的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(5): 80-84.
- [20] 井大炜, 王明友, 马海林, 等. 畦灌与保水剂配施对杨树根际土壤微环境特征及生长的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 62-70.
- [21] 王传杰, 肖婧, 蔡岸冬, 等. 不同气候与施肥条件下农田土壤微生物生物量特征与容量分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(6): 1067-1075.
- [22] 李猛, 张恩平, 张淑红, 等. 长期不同施肥设施菜地土壤酶活性与微生物碳源利用特征比较[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 44-53.
- [23] 叶桂梅, 井大炜, 邢尚军, 等. 味精废浆与化肥配施对杨树幼苗土壤活性有机碳与微生物活性的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(5): 291-296.
- [24] 井大炜, 邢尚军, 刘方春, 等. 保水剂—尿素凝胶对侧柏裸根苗细根生长和氮素利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1046-1052.
- [25] 石博文, 赖欣, 李洁, 等. 尿素与有机肥配施对棕红壤氮素转化的影响[J]. 核农学报, 2017, 31(5): 938-945.