

生物炭对关中壤土不同形态钾素含量的影响

王亚琼^{1,2,3}, 牛文全^{1,4*}, 段晓辉⁴, 邹小阳¹, 刘璐³, 张明智³, 古君⁴

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国旱区节水农业研究院, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了解生物炭影响土壤肥力的机理, 通过盆栽实验, 设置6个生物炭水平(0、10、30、50、70、90 t/hm²), 测试壤土4个钾离子指标: 水溶性钾离子、交换性钾离子、速效钾、全钾含量。结果表明, 在壤土中添加生物炭后, 土壤水溶性钾、速效钾、交换性钾离子含量与生物炭添加量之间呈现 $y=ae^{bx}$ 指数关系, 土壤pH和土壤速效钾、交换性钾离子含量显著相关, 与水溶性钾离子、全钾含量无显著相关关系。在关中壤土中添加生物炭, 可以显著提升土壤速效钾、水溶性钾、交换性钾离子含量。考虑到土壤钾离子、酸碱度、经济因素, 提前30天, 在壤土中施入50 t/hm²生物炭效果最好。

关键词: 壤土; 生物炭; 土壤钾

中图分类号: S158

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)02-0043-04

Effect of Biochar on Different Potassium Forms in Guanzhong Lou Soil

WANG Yaqiong^{1,2,3}, NIU Wenquan^{1,4*}, DUAN Xiaohui⁴, ZOU Xiaoyang¹, LIU Lu³, ZHANG Mingzhi³, GU Jun⁴

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, Yangling 712100; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Institute of Water-saving Agriculture in Arid Areas of China, Yangling 712100; 4. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: In order to understand the mechanism of biochar affecting soil fertility, six biochar levels, 0, 10, 30, 50, 70 and 90 t/ha were set up in pot experiment, and four potassium indexes of Lou soil were tested by flame photometer: water soluble potassium, exchangeable potassium, available potassium and total potassium. The results showed that: after biochar was added to Lou soil, the contents of water-soluble potassium, available potassium, exchangeable potassium and biochar showed an $y=ae^{bx}$ index relationship, and soil pH was significantly correlated with the contents of available potassium and exchangeable potassium, but not with the contents of water-soluble potassium and total potassium. Adding biochar to Guanzhong Lou soil can significantly increase the content of soil available potassium, water-soluble potassium and exchangeable potassium. Taking into account the potassium ion, pH and economic factors, 50 t/ha biochar was applied 30 days in advance in Lou soil is the best.

Key words: Lou soil; Biochar; Soil potassium

土壤钾含量与植物钾含量密切相关, 缺钾导致植物叶片变黄、组织坏死, 影响植物的光合作用和呼吸作用, 降低氮肥、磷肥的利用效率, 显著抑制作物生长。土壤钾元素含量降低已经成为制约农业发展的主要原因之一^[1-3]。土壤缺钾的原因是多方面的。一方面, 在我国农业生产中, 钾

肥施入量不足, 存在重磷、氮肥, 轻钾肥的现象^[4-5]。从氮和磷的作用上来看, N和P分别是构成蛋白质和核酸的基本元素, 对生命的形成有重要作用, 与氮肥、磷肥相比, 人们普遍忽视钾肥的使用。另一方面, 因为复种指数增多、农作物产量提高, 即使土壤中投入的钾肥在逐渐增多, 我国土壤库的速效钾含量仍在减小。除此之外, 可溶性钾离子随水分流失也是钾损失的原因之一^[6]。

土壤中通常施入化学肥料、有机肥、绿肥等补充土壤钾。大量化学肥料的使用不仅导致能源浪费, 还导致土壤团聚体结构恶化, 土壤持水能力

收稿日期: 2019-04-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0400202); 国家自然科学基金项目(51679205)

作者简介: 王亚琼(1993-), 女, 在读硕士, 主要从事水土资源高效利用研究。

通讯作者: 牛文全, 男, 博士, 教授, E-mail: nwq@nwfau.edu.cn

减弱,水土流失严重^[7]。有机肥具有缓效的特点,需提前施入土壤,避免烧苗现象发生。绿肥需提前40天播种,虽然消除植物连坐障碍,但是造成土地空闲期缩短、人力物力损失。生物炭是一种土壤改良剂,富含N、P、K元素,有代替化学肥料的潜力。因为生物炭比重、添加量的限制,加入生物炭后,混合土样中的钾元素仍以土壤中原有的钾元素为主。生物炭对土壤中氮磷钾等大量元素的增加没有显著效果。但是生物炭可以通过改良土壤物理性质来改变土壤氮磷钾元素的转化过程,增加土壤速效养分含量。生物炭施入土壤后,可以直接释放表面的土壤钾素,迅速补充土壤养分^[8]。生物炭还具有巨大的表面积和多孔结构,不仅可以吸附土壤中的钾素,维持土壤钾素含量,还可以改变土壤孔隙度,阻碍土壤水分下渗,减小可溶性钾素的流失。土壤水分、温度、酸碱度是影响土壤钾含量的主要因素。生物炭能够维持土壤水分、温度,升高酸性土壤的pH值,改变土壤生化反应,有利于提升土壤钾含量、促进土壤钾素转化^[9]。生物炭还能提高土壤细菌数量,影响菌落结构^[10]。微生物解钾菌刺激土壤矿物钾分解,提高植物可利用钾含量^[11]。生物炭具有稳定的芳香化结构,微生物分解和化学转化极慢,能够在土壤中保存长达两千年的时间^[12],因此,生物炭对土壤改良效果将会维持较长时间。

陕西关中地区土壤钾肥施入量不足^[13],阻碍作物生长^[14]。加入生物炭后土壤速效钾、交换性钾、水溶性钾含量之间的关系少见报道。本文采用盆栽实验,研究了不同生物炭添加量对土壤钾素含量的影响,旨在提出适宜杨凌壤土的生物炭添加量,为生物炭改善土壤肥力提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 试验地点与设计

试验地位于陕西省杨凌高新技术示范区寨西村(108.02°E, 34.17°N)。为了控制温度、水分等条件一致,将试验设置于日光大棚内。取大棚内表层土壤,过2 mm筛后装入体积为0.02 m³的圆桶中。供试土壤化学性质为:全钾23.74 g/kg、交换性钾496.73 mg/kg、水溶性钾93.90 mg/kg,速效钾520.25 mg/kg, pH 7.93。生物炭含有全钾120.51 g/kg,速效钾103 427.32 mg/kg,交换性钾54 085.06 mg/kg,水溶性钾10 902.43 mg/kg, pH 10.51。

生物炭为陕西亿鑫能源科技有限公司生产的

果木炭。生物炭施用量共设6个处理:0、10、30、50、70、90 t/hm²,分别记为CK, C₁₀, C₃₀, C₅₀, C₇₀和C₉₀(即每千克土样分别添加生物炭0.00、3.21、9.69、16.16、22.62、29.08 g),不施生物炭处理CK为对照试验,每个处理设置4个重复。按照容重为1.39 g/cm³分层填装到试验用桶中,试验于2017年11月29日开始,2018年1月27日结束,共60天,分别在试验开始的第15、30、45、60天取土。

1.2 测定方法

水溶性钾离子采用1:5土水比浸提,交换性钾离子和速效钾采用中性乙酸铵溶液浸提,全钾采用氢氧化钠熔融法。钾离子用火焰光度计测定。

1.3 数据处理

采用SPSS软件进行Duncan方差统计和T检验,非参数比较采用Kruskal-Wallis方法,数据和表采用WPS软件制作。

2 结果与分析

2.1 生物炭对土壤全钾含量的影响

表1为生物炭与理论壤土全钾含量和实际壤土全钾含量的关系,理论全钾含量是通过生物炭全钾含量与生物炭添加量计算得出,实际全钾含量是通过试验得出的结果。经过T检验发现,添加生物炭与不添加生物炭差异不显著($P>0.05$)。通过测试第30天和第60天土样进行验证结果表明,添加生物炭后,虽然壤土全钾含量呈现升高趋势,但对全钾含量没有显著影响($P>0.05$)。

表1 生物炭对土壤全钾含量的影响 g/kg

处理	全钾含量		
	理论	第30天	第60天
CK	23.74a	23.59±0.29a	23.28±0.96a
C ₁₀	24.13a	22.58±0.95a	25.29±0.61a
C ₃₀	24.90a	24.53±1.28a	23.49±0.84a
C ₅₀	25.67a	23.51±0.20a	24.47±0.78a
C ₇₀	26.45a	24.00±0.44a	24.96±0.37a
C ₉₀	27.22a	24.32±0.48a	24.19±0.53a

2.2 生物炭对土壤水溶性钾离子含量的影响

水溶性钾离子是在介质为水的条件下,提取出来的土壤钾离子。由图1可知,与不添加生物炭相比,添加生物炭显著增加壤土水溶性钾离子含量($P<0.05$),增幅为11.00%~362.49%。水溶性钾离子含量随着生物炭添加量的增加而增加,C₉₀处理增幅最大。

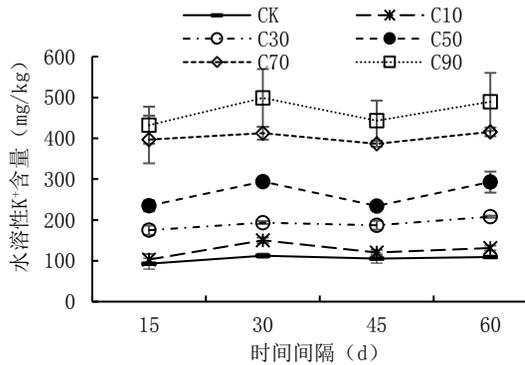


图1 不同处理对土壤水溶性钾离子的影响

2.3 生物炭对土壤交换性钾离子含量的影响

交换性钾离子是衡量土壤肥力的重要指标之一。由图2可知,生物炭对壤土交换性钾离子含量有显著影响($P<0.05$)。壤土交换性钾含量随着生物炭添加量的增加而增加,增幅为8.99%~214.81%。

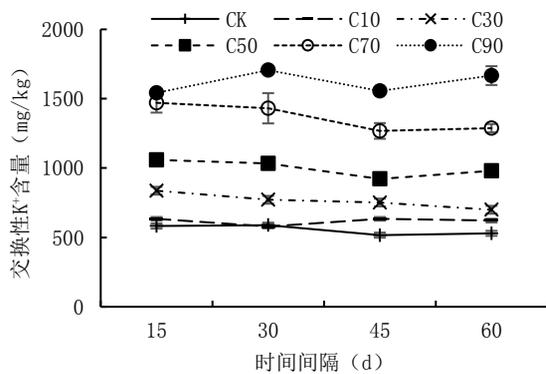


图2 不同处理对交换性钾离子的影响

表2 土壤钾离子含量与生物炭添加量的指数拟合关系

时间间隔(d)	水溶性钾离子			速效钾离子			交换性钾离子		
	a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²
15	60.62	0.34	0.97**	421.44	0.22	0.98**	60.62	0.34	0.97**
30	81.24	0.31	0.99**	376.65	0.24	0.98**	80.24	0.31	0.99**
45	71.85	0.31	0.98**	403.88	0.22	0.96**	71.85	0.31	0.97**
60	76.82	0.32	0.98**	392.84	0.23	0.98**	76.82	0.32	0.98**

注:**代表 $P<0.01$,表示在0.01水平下差异显著,*代表 $P<0.05$,表示在0.05水平下差异显著,下同

2.6 生物炭对土壤酸碱度的影响

生物炭含有大量碱性基团,加入土壤后显著提升壤土pH。图4为生物炭对土壤pH的影响。采用Kruskal-Wallis检验,当时间间隔为15天、30天和45天时,不同的生物炭添加量,壤土的pH不同($P<0.05$);当时间间隔为60天时,土壤pH未见显著性差异($P>0.05$)。第15天时,生物炭对土壤影响最大,土壤pH为7.61~8.33,第60天生物炭对土壤pH的影响减小,土壤pH为7.94~8.06。

2.4 生物炭对土壤速效钾含量的影响

土壤中钾主要以离子形态存在,根据能否被植物吸收利用,划分为速效钾、缓效钾和相对无效钾。速效钾是指很快能被植物吸收利用的钾,通常包括水溶性钾和交换性钾。由图3可知,生物炭对土壤速效钾含量有显著影响($P<0.05$)。

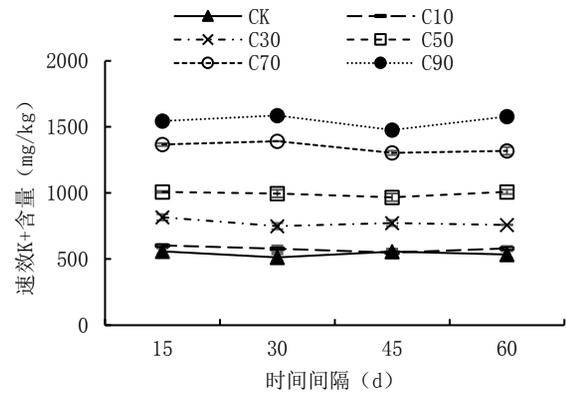


图3 生物炭土壤速效钾含量的影响

2.5 生物炭对土壤水溶性钾、速效钾、交换性钾离子含量的指数回归关系

通过WPS软件拟合,土壤水溶性钾、速效钾、交换性钾含量均与土壤生物炭添加量符合 $y=ae^{bx}$ 的指数回归关系,并且通过SPSS软件验证显著相关($P<0.01$)。表2为不同时间间隔下生物炭添加量与土壤钾离子的指数拟合关系结果。随着生物炭添加量的增加,土壤水溶性钾、速效钾、交换性钾离子转化加快。

C_{50} 处理土壤pH变化幅度较小,土壤酸碱度较稳定。

2.7 生物炭对土壤含水量的影响

由图5可知,添加生物炭后,显著提高土壤含水量($P<0.05$),生物炭具有保持壤土土壤水分、降低土壤蒸发的作用。不同时间间隔下, C_{90} 处理土壤含水量最高,CK处理土壤含水量最小。 C_{90} 处理土壤含水量为25.98%~30.38%,CK处理土壤含水量为17.16%~26.70%。

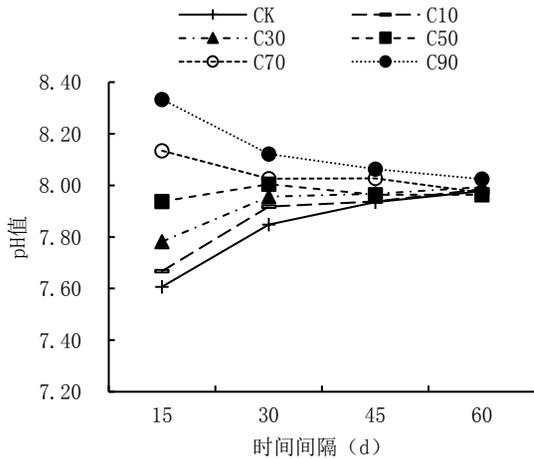


图4 生物炭对土壤pH的影响

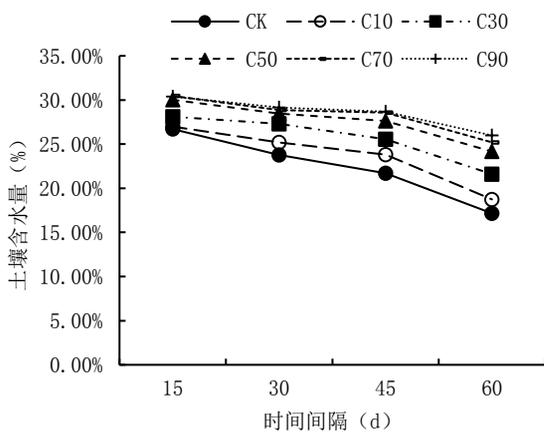


图5 生物炭对土壤含水量的影响

3 讨论

生物炭加入土壤后,增加壤土全钾含量,但是未见显著差异。出现这种情况的原因可能是取样不均匀或生物炭与土壤搅拌不均匀。曹雪娜^[15]研究也表明,在沈阳日光温室加入30、90 t/hm²玉米秸秆生物炭后,土壤全钾含量随着生物炭添加量的增加而增加,但是效果并不明显。

生物炭对不同类型钾离子的影响是即时产生的。生物炭加入土壤后,土壤钾离子立即释放。生物炭的钾元素释放过程与时间间隔无明显关系。生物炭对壤土全钾含量没有显著影响,但是却显著影响壤土水溶性钾离子、速效钾离子、交换性钾离子,说明生物炭影响土壤钾素之间的相互转化。生物炭施入壤土后,可能会增加壤土微生物解钾菌的活性,提高可溶性钾离子含量。并且生物炭与土壤水溶性钾离子、交换性钾离子、速效钾离子呈现指数关系,说明随着生物炭添加量的增加,土壤钾离子转化速率加快,可能是较多的生物炭影响土壤生化反应所致。生物炭添加

到土壤中,水溶性钾离子含量显著升高,可能原因是生物炭添加到壤土中影响土壤的容重和孔隙度,改变土壤含水量,增加土壤持水能力,减小水溶性钾离子的淋失。此结果也在其他类型土壤中适用。生物炭对壤土速效钾离子含量的影响与生物炭对壤土水溶性钾离子的影响近似,均是在C₇₀处理时增幅最高,C₁₀处理时增幅最小。生物炭显著增加壤土速效钾含量,其原因可能是生物炭本身就含有一定的营养元素;另一方面可能是生物炭发达的孔隙结构增强了对易淋失钾离子的吸附能力;也可能是生物炭表面含有大量的阴离子,能够吸引钾、钠、铵等阳离子。此结果也在其他类型土壤中适用^[16]。

生物炭显著增加壤土交换性钾离子含量,其原因可能是生物炭含有碱性基团,提高土壤pH,增加土壤交换性盐基离子含量。由表3可知,土壤酸碱度与土壤交换性钾离子和速效钾离子有显著关系($P<0.01$),说明生物炭可以通过影响壤土pH来影响土壤速效钾和交换性钾离子。本次研究结果与聂新星等^[17]研究结果相似。土壤含水量与土壤交换性钾离子含量有显著相关关系($P<0.05$)。

表3 pH、土壤含水量与钾素的相关系数

	水溶性K ⁺	交换性K ⁺	速效K ⁺	pH	含水量
水溶性K ⁺	1	-0.13	-0.17	-0.18	0.17
交换性K ⁺		1	0.99**	0.66**	-0.35*
速效K ⁺			1	0.67**	-0.28
pH				1	-0.20
含水量					1

生物炭对壤土pH的影响主要集中在前30天,30天后,生物炭对壤土pH的影响不再显著。因此,在关中地区,如果农作物需要较稳定的酸碱度时,可将生物炭提前30天施入土壤中;在紧急情况下,C₅₀处理壤土pH变化幅度较小,土壤酸碱度较稳定,可选择50 t/hm²生物炭处理。从土壤钾离子含量来看,90 t/hm²生物炭添加量较优,因为生物炭添加量越多,土壤钾离子含量越多。但是考虑到生物炭的市场售价为5元/kg,采用90 t/hm²生物炭添加量需付出较大的经济代价。但是50 t/hm²生物炭添加量与90 t/hm²生物炭添加量相比,生物炭的成本降低了一半左右,并且也含有较高的钾离子含量。因此,考虑到经济因素,推荐在杨凌地区采用50 t/hm²生物炭添加量处理。至于生物炭的添加次数和添加时间,对农作物的生长和土壤钾素的转化有较大影响,还需进行深入研究。

(下转第144页)

- 含量的研究[J]. 吉林农业科学, 2006, 31(6): 10-11.
- [21] 任广跃, 李秀娟, 尹君, 等. 稻米品质检测技术研究进展及展望[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(2): 115-120, 128.
- [22] Sheu S J, Hwang W Z, Chiang Y C, et al. Use of tuf gene-based primers for the PCR detection of probiotic bifidobacterium species and enumeration of bifidobacteria in fermented milk by cultural and quantitative real-time PCR methods[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(8): M521-528.
- [23] 刘宇佳, 贺丽苹, 张泳, 等. 近红外光谱-人工神经网络的模型优化用于银耳产地识别研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(3): 303-306, 311.
- [24] 丘祐玮. 机器学习与R语言实战[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 173-174.
- [25] 胡局新, 张功杰. 基于K折交叉验证的选择性集成分类算法[J]. 科技通报, 2013, 29(12): 115-117.
- [26] 魏益民, 郭波莉, 魏帅, 等. 食品产地溯源及确证技术研

(上接第46页)

4 结 论

生物炭显著提升壤土水溶性钾离子、速效钾离子、交换性钾离子含量, 且土壤水溶性钾离子、速效钾离子、交换性钾离子均与生物炭添加量之间呈指数相关关系。综合考虑土壤酸碱度、土壤钾素和经济因素, 推荐在杨凌壤土中提前30天施入50 t/hm²生物炭。

参考文献:

- [1] Cakmak I. Potassium for better crop production and quality[J]. Plant and Soil, 2010, 335(1-2): 1-2.
- [2] 李德忠, 吕岩, 朱明志, 等. 钾肥运筹对春玉米农学效应和钾素利用的研究[J]. 吉林农业科学, 2013, 38(4): 25-27.
- [3] 尹彩侠, 侯云鹏, 秦裕波, 等. 吉林省不同类型土壤玉米施用钾肥效应研究[J]. 吉林农业科学, 2010, 35(5): 22-24.
- [4] Xu X, He P, Pampolino M F, et al. Fertilizer recommendation for maize in China based on yield response and agronomic efficiency[J]. Field Crops Research, 2014, 157: 27-34.
- [5] Yang G, Tang H, Nie Y, et al. Responses of cotton growth, yield, and biomass to nitrogen split application ratio[J]. European Journal of Agronomy, 2011, 35(3): 164-170.
- [6] 王忠江, 张正, 刘卓, 等. 生物炭配施沼液对淋溶状态下土壤养分的影响[J]. 农业机械学报, 2018, 49(11): 260-267.
- [7] Wilhelm W W, Doran J W, Power J F. Corn and soybean yield response to crop residue management under no-tillage production systems[J]. Agronomy Journal, 1986, 78(1): 184-189.
- [8] Angst T E, Sohi S P. Establishing release dynamics for plant nutrients from biochar[J]. Global Change Biology Bioenergy, 2013, 5(2): 221-226.
- [9] 谢祖彬, 刘琦, 许燕萍, 等. 生物炭研究进展及其研究方向[J]. 土壤, 2011, 43(6): 857-861.
- [10] 郭大勇, 郭凯丽, 王旭刚, 等. 基于Web of Science和CNKI的生物炭研究文献计量分析[J]. 东北农业科学, 2017, 42(4): 49-54.
- [11] Sarikhani M R, Khoshru B, Oustan S. Efficiency of Some Bacterial Strains in Potassium Release from Mica and Phosphate Solubilization under In Vitro Conditions[J]. Geomicrobiology Journal, 2016, 33(9): 1-7.
- [12] Kuzyakov Y, Subbotina I, Chen H, et al. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41(2): 210-219.
- [13] 秦巧燕, 贾陈忠, 曲东, 等. 我国设施农业发展现状及施肥特点[J]. 湖北农学院学报, 2002, 22(4): 373-376.
- [14] 李俊, 李建明, 胡晓辉, 等. 亚低温及钾肥对温室番茄光合作用和品质的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(12): 2471-2478.
- [15] 曹雪娜. 生物炭对设施土壤养分及作物生长的影响初探[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [16] 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.
- [17] 聂新星, 李志国, 张润花, 等. 生物炭及其与化肥配施对灰潮土土壤理化性质、微生物数量和冬小麦产量的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(9): 27-32.

(责任编辑: 刘洪霞)