

# Study on Soil Composition and Agronomic Characters of Mung Bean by Different Biochar Bacterial Fertilizer

Chengpu Li\*, Yang Zhang, Zhanmin Xing, Xin Yin, Jiaqi Li, Yaoting Wen

Chengde Academy of Agriculture and Forestry, Chengde Hebei

Email: \*lichengpu200@126.com

Received: Aug. 15<sup>th</sup>, 2018; accepted: Aug. 30<sup>th</sup>, 2018; published: Sep. 6<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Through field experiments, biochar bacterial fertilizer with different components from bamboo biochar was applied in one time to study its effects on the growth, agronomic characters, yield and soil composition of mung bean, providing a scientific basis for organic planting of mung bean and the application of soil improvement. 4 treatments were used for different biochar bacterial fertilizers, 3 times repeated, and fertilizer dosage was set as: 1) CK: no fertilizer was used; 2) treatment of 1:100% bamboo charcoal powder: 4500 kg/hm<sup>2</sup> 3) treatment of 2 bamboo charcoal soil conditioner: 3450 kg/hm<sup>2</sup> 4) treatment of 3 bamboo charcoal bio-organic fertilizer: 2250 kg/hm<sup>2</sup>. Field experiments were conducted on mung bean in 2017 to investigate agronomic characters of growing period and determine yield at harvest time. Meanwhile, soil samples from each community before and after planting were collected to determine PH value, organic matter, quick-acting nitrogen, quick-acting potassium, organophosphorus, iron and water-soluble salt content. The results show that the changes of soil composition after harvest of biochar bacterial fertilizers with different formulations are as follows: the PH value can be increased by 0.2 unit in treatment 3, and there is no difference in other treatments. Organic matter content treatment 2 < CK < treatment 3 < treatment 1; quick-acting nitrogen treatment 3 < treatment 2 < CK < treatment 1; quick-acting potassium treatment 3 < treatment 2 = CK < treatment 1; organophosphorus CK < treatment 2 < treatment 3 < treatment 1. The yield of mung bean treated 1 and 2 decreased by 15% - 16% compared with CK, and the yield of 16% increased by 3 compared with CK. The plant height and pod number of different treatments were all higher than that of treatment 1. Therefore, one-time application of biochar can effectively slow down the reduction of organic matter, quick-acting nitrogen and quick-acting potassium. One-time application of biochar bacterial fertilizer could increase plant height, plant pod number and yield, and reduce the height of first flowering.

## Keywords

Biochar Bacterial Fertilizer, Mung Bean, Yield, Soil Improvement

---

\*通讯作者。

# 不同生物炭菌肥对绿豆农艺性状及土壤成分的研究

李成璞\*, 张 扬, 邢占民, 尹 鑫, 李嘉琪, 温耀庭

承德市农林科学院, 河北 承德

Email: \*lichengpu200@126.com

收稿日期: 2018年8月15日; 录用日期: 2018年8月30日; 发布日期: 2018年9月6日

## 摘 要

通过田间试验, 一次性施入竹制生物炭来源的不同组成成分的生物炭菌肥, 研究其对绿豆生长、农艺性状、产量及土壤成分的影响, 为绿豆有机种植及土壤改良的应用提供科学依据。不同生物炭菌肥设4个处理, 3次重复, 肥料用量设置分别为: 1) 对照: 不使用任何肥料。2) 处理1: 100%竹炭粉: 4500 kg/hm<sup>2</sup>。3) 处理2: 竹炭土壤改良剂: 3450 kg/hm<sup>2</sup>。4) 处理3: 竹炭生物有机肥: 2250 kg/hm<sup>2</sup>。2017年对绿豆进行田间试验, 调查生长期的农艺性状及收获时测定产量, 同时采集播种前及收获后各小区的土壤样本测定PH值、有机质、速效氮、速效钾、有机磷、铁、水溶性盐含量。研究结果表明, 不同配方的生物炭菌肥收获后对土壤成分的变化如下: 处理3中可提高PH值0.2单位, 其他处理无差别; 有机质含量处理2 < 对照 < 处理3 < 处理1; 速效氮处理3 < 处理2 < 对照 < 处理1; 速效钾处理3 < 处理2 = 对照 < 处理1; 有效磷对照 < 处理2 < 处理3 < 处理1。处理1、处理2的绿豆产量较对照减产15%~16%, 处理3较对照增产16%。不同处理的株高、株荚数都较处理1有所增长。因此, 一次性施入生物炭能有效减缓有机质、速效氮、速效钾含量的减少; 一次性施入生物炭菌肥能够增加株高、株荚数及产量, 降低第一开花位置高度。

## 关键词

生物炭菌肥, 绿豆, 产量, 土壤改良

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

生物炭是农作物秸秆、木材、家禽粪便和其他材料等生物有机材料在缺氧或者绝氧环境中, 经高温(通常为350°C~600°C)热裂解后生成的一种富含碳素的黑色固态产物[1]。生物炭一般为碱性, PH 值在 4~12 [2], 该特性使其多用于酸性土壤的改良[3] [4] [5]。生物炭施入土壤能够提升土壤肥力, 提高农作物产量及抗病的作用[6]-[12]。

肥料是作物生长必不可少的因素之一[13], 在提高作物产量上起到重要的作用, 随着环保、高效农业发展的要求, 新兴了不少不同种类的肥料。近年来, 市面上出现的菌肥种类越来越多, 对其作用效果说法不一。

目前对生物炭用量及其施用效果的研究较多, 但对生物炭有机生物菌肥施用效果的研究很少, 所以本试验通过对绿豆施用不同生物炭含量的有机菌肥进行研究, 探讨不同生物炭含量的有机菌肥对该土壤成分及绿豆农艺性状和产量的影响, 从而为生物炭菌肥的施用及其对土壤改良作用提供参考。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 供试土壤、生物炭菌肥

试验设在 2017 年承德市农林科学院中关试验基地，位于隆化县中关镇大铺村，东经 117°7'58.21"，北纬 41°12'14.05"。平均海拔高度 510 米，属于中温带半湿润半干旱大陆性季风型冀北山地气候，多年平均气温 7.7℃，生育期平均 130 天，无霜期 145 天，年平均降雨量 550 毫米，降雨量集中在每年 6~8 月，7 月最多。

供试土壤为沙壤土，试验前取样化验，采样深度为 20 cm，S 形采集土壤后，充分混匀，送至天津市农产品质量监督检验测试中心完成土壤成分检测。土壤成分情况：PH 值 7.2，有机质 20.1 g/kg，速效氮 91.3 mg/kg，速效钾 239 mg/kg，有效磷 35.8 mg/kg，铁 0.89%，水溶性盐总量 1.37 g/kg。

供试肥料：统一够买上海“SEED”炭基肥系列：100%竹炭粉；竹炭土壤改良剂；竹炭生物有机肥(生物炭成分均为竹炭)。主要成分(见表 1)。

### 2.2. 试验设计

试验采用小区随机区组设计，三次重复，每个小区面积 20 m<sup>2</sup>，设 4 个处理。根据购买品牌提供的肥料用量，对小区施肥量做以下设计：1) 对照：不使用任何肥料；2) 处理 1：100%竹炭粉：4500 kg/hm<sup>2</sup>；3) 处理 2：竹炭土壤改良剂：3450 kg/hm<sup>2</sup>；4) 处理 3：竹炭生物有机肥：2250 kg/hm<sup>2</sup>。各处理间设置 1 m 的隔离带。各小区间统一设滴灌带统一滴灌。

2017 年 3 月以机器翻地并施以鸡粪做底肥，用量 15 t/hm<sup>2</sup>。4 月 28 日整地，以试验肥料为基肥，5 月 23 日点播，株距 16.7 cm，行距 50 cm，密度为 105,000 株/hm<sup>2</sup>，出苗后间苗。除基肥外，各小区其他田间管理措施均相同，8 月 14 日、8 月 23 日两次统一收获。同时，植株取样，收获时分小区单收、单独称重，计算小区产量。

### 2.3. 数据统计及分析

试验数据应用 Excel 2007 软件进行处理及作图，用 DPS7.05 软件进行数据分析，用最小显著差法 LSD (P = 0.05)检验平均数。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 不同生物炭菌肥对土壤的改良作用

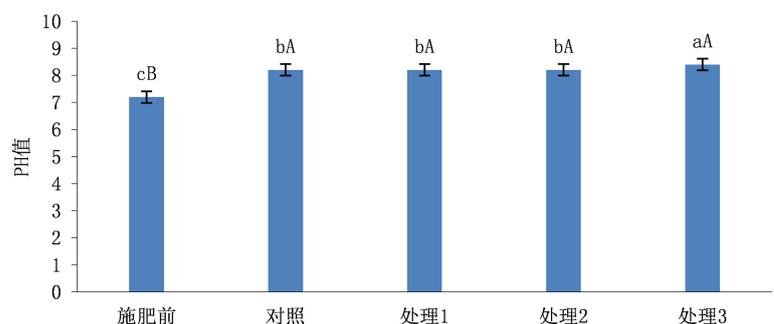
#### 3.1.1. 土壤 PH 值

不同生物炭菌肥的施用前后土壤 PH 值得变化见图 1 和表 2，从该图中可知，播种施肥前 PH 值为 7.2，

Table 1. Composition of biochar bacterial fertilizer

表 1. 生物炭菌肥成分表

主要成分	处理	100%竹炭粉	竹炭土壤改良剂	竹炭生物有机肥
有效活菌数		0	≥0.2 亿/g	≥0.2 亿/g
生物炭		100%	≥35%	≥10%
有机质		0	≥45%	≥45%
其他成分		0	Ca≥3.3%; Mg≥0.5% Si≥2.6%; K≥2.3%	氨基酸 ≥5%; 腐植酸 ≥10% (原生一代の复合菌群)



注: 不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示处理间差异极显著( $P < 0.01$ )。

**Figure 1.** Soil PH value before and after different biochar fertilizer application  
**图 1.** 不同生物炭菌肥施用前后土壤 PH 值

**Table 2.** Contents of different components in soil before and after fertilization

**表 2.** 施肥前后土壤不同成分含量表

处理	项目	PH 值	有机质 g/kg	速效氮 mg/kg	速效钾 mg/kg	有效磷 mg/kg	铁%	水溶性盐总量 g/kg
施肥前		7.2	20.1	91.3	239	35.8	0.89	1.37
对照		8.2	12.8	58.0	198	2.0	0.97	0.1
处理 1		8.2	19.5	69.0	277	10.2	0.93	0.3
处理 2		8.2	12.7	53.0	198	3.1	0.92	0.1
处理 3		8.4	13.6	52.0	212	5.0	0.92	0.2

施肥收获后土壤 PH 值均有不同程度的升高, 对照、处理 1、处理 2 的 PH 值为 8.2, 处理 3 为 8.4。种植前后土壤 PH 值差异极显著。收获后, 处理 3 与对照及处理 1、2 间的差异显著。

### 3.1.2. 土壤有机质

土壤有机质是植物营养的主要来源, 能够增强植物抗性 & 改善土壤物理性质等作用。不同生物炭菌肥施用前后土壤有机质含量变化见图 2。从图 2 和表 1 中可知施肥前土壤有机质含量为 20.1 g/kg, 施用不同生物炭菌肥后土壤有机质含量较施用前有显著的降低。对照的有机质含量为 12.8 g/kg, 处理 1 为 19.5 g/kg, 处理 2 为 12.7 g/kg, 处理 3 为 13.6 g/kg。与施肥前相比有机质减少的含量依次为处理 2 > 对照 > 处理 3 > 处理 1, 施肥前与处理 1 差异显著, 与对照、处理 2、处理 3 差异极显著, 处理 1 与对照、处理 2、处理 3 差异极显著, 处理 3 与对照差异极显著。生物炭及生物炭菌肥的施用能够减缓土壤中有机的消耗。

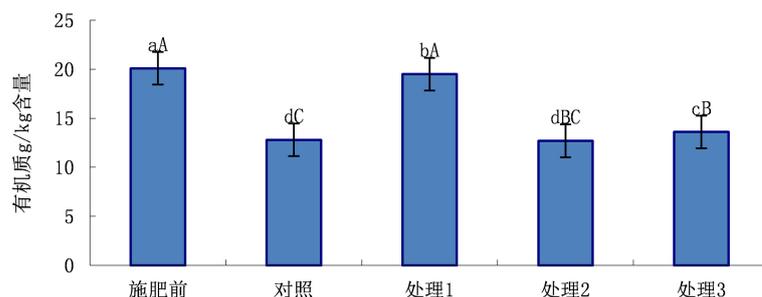
### 3.1.3. 土壤速效氮、速效钾、有效磷

氮磷钾是农作物生长不可或缺的营养元素, 在施用不同生物炭菌肥前后土壤速效氮、速效钾、有效磷含量变化见图 3、图 4、图 5 和表 1。施肥前土壤速效氮含量为 91.3 mg/kg, 施用不同生物炭菌肥后土壤速效氮含量较施用前降低极显著。对照的速效氮含量为 58.0 mg/kg, 处理 1 为 69.0 mg/kg, 处理 2 为 53.0 mg/kg, 处理 3 为 52.0 mg/kg。与施肥前相比速效氮减少的含量依次为处理 3 > 处理 2 > 对照 > 处理 1, 施肥前与对照、各处理差异极显著, 施肥后对照与处理 1、处理 2、处理 3 差异极显著, 处理 2 与处理 3 差异显著。生物炭能够有效减缓速效氮的消耗。

施肥前土壤速效钾含量为 239 mg/kg, 施用不同生物炭菌肥后土壤速效钾含量变化有所不同。对照的速效钾含量为 198 mg/kg, 处理 1 为 277 mg/kg, 处理 2 为 198 mg/kg, 处理 3 为 212 mg/kg。与施肥前相比处理 1 的速效钾含量增加 38 mg/kg, 对照、处理 2、处理 3 较施肥前均有减少, 依次为对照 = 处理 2 > 处理 3。施

肥前与对照、各处理差异极显著, 施肥后对照与处理 1、处理 3 差异极显著、与处理 2 差异不显著。生物炭能够提升土壤中速效钾的含量, 生物炭菌肥能够减缓土壤中速效钾消耗。

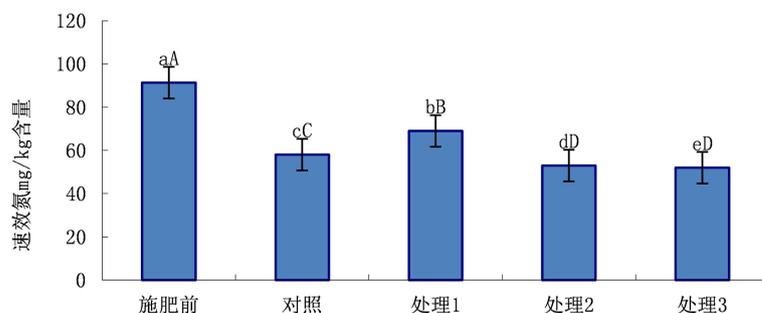
施肥前土壤有效磷含量为 35.8 mg/kg, 施用不同生物炭菌肥后土壤有效磷含量变化有所不同。对照的有效磷含量为 2.0 mg/kg, 处理 1 为 10.2 mg/kg, 处理 2 为 3.1 mg/kg, 处理 3 为 5.0 mg/kg。与施肥前相比各处理的速效钾含量均降低, 依次为对照 > 处理 2 > 处理 3 > 处理 1。施肥前与对照、各处理差异极显著, 施肥后对照与处理 1 差异极显著, 与处理 3 差异显著; 处理 1 与处理 2、处理 3 差异极显著;



注: 不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示处理间差异极显著( $P < 0.01$ )。

**Figure 2.** Soil organic matter content before and after the application of different biochar fertilizer

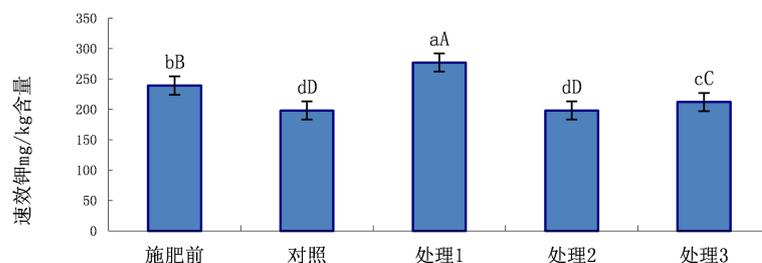
**图 2.** 不同生物炭菌肥施用前后土壤有机质含量



注: 不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示处理间差异极显著( $P < 0.01$ )。

**Figure 3.** Quick-acting nitrogen content in soil before and after the application of different biochar fertilizer

**图 3.** 不同生物炭菌肥施用前后土壤速效氮含量



注: 不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示处理间差异极显著( $P < 0.01$ )。

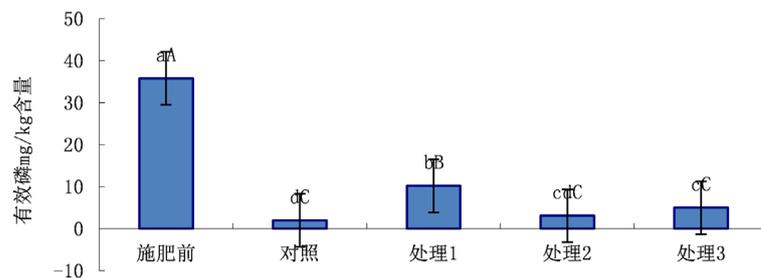
**Figure 4.** Quick-acting potassium content in soil before and after the application of different biochar fertilizer

**图 4.** 不同生物炭菌肥施用前后土壤速效钾含量

处理 2 与处理 3 差异不显著。生物炭及生物炭菌肥能够减缓土壤中有效磷的消耗。

### 3.1.4. 土壤铁及水溶性总盐

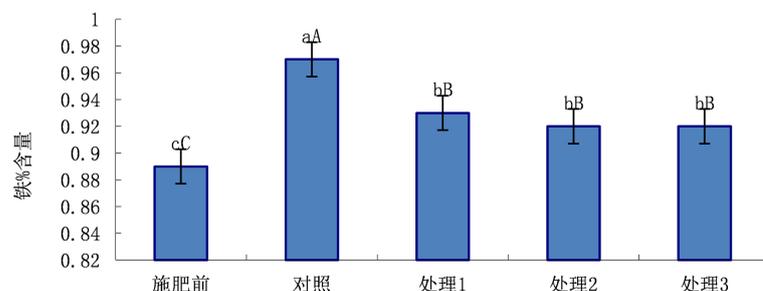
施用不同生物炭菌肥前后土壤铁、水溶性总盐含量变化见图 6、图 7 和表 1 施肥前土壤铁含量 0.89%，施用不同生物炭菌肥后土壤铁含量均有增加。其中对照的铁含量最高为 0.97%，处理 1 为 0.93%，处理 2 为 0.92%，处理 3 为 0.92%，依次为对照 > 处理 1 > 处理 2 = 处理 3。播种前后土壤的铁含量差异极显著，施肥后对照与处理 1、处理 2、处理 3 之间差异极显著，各处理间差异不显著。种植绿豆可提高土壤中铁的含量，施用含有生物炭的菌肥后能够较缓和的提升土壤中铁的含量。



注：不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )，不同大写字母表示处理间差异极显著( $P < 0.01$ )。

Figure 5. Organophosphorus content in soil before and after application of different biochar fertilizer

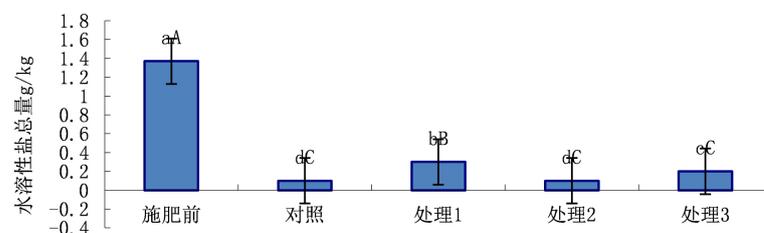
图 5. 不同生物炭菌肥施用前后土壤有效磷含量



注：不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )，不同大写字母表示处理间差异极显著( $P < 0.01$ )。

Figure 6. Soil iron content before and after application of different biochar fertilizer

图 6. 不同生物炭菌肥施用前后土壤铁含量



注：不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )，不同大写字母表示处理间差异极显著( $P < 0.01$ )。

Figure 7. Total contents of water-soluble salt in soil before and after application of different biochar fertilizer

图 7. 不同生物炭菌肥施用前后土壤水溶性盐总含量

施肥前土壤水溶性盐总量为 1.37 g/kg, 施用不同生物炭菌肥后土壤水溶性盐总量均有极显著下降。对照的水溶性盐总量为 0.1 g/kg, 处理 1 为 0.3 g/kg, 处理 2 为 0.1 g/kg, 处理 3 为 0.2 g/kg, 依次为对照 = 处理 2 > 处理 3 > 处理 1。施肥前与对照、各处理差异极显著, 施肥后处理 1 与对照、处理 2、处理 3 差异极显著, 处理 3 与对照、处理 2 差异显著; 对照与处理 2 差异不显著。生物炭能够减缓土壤中水溶性总盐的分解。

### 3.2. 不同生物炭菌肥对绿豆产量及农艺性状的影响

#### 3.2.1. 不同生物炭菌肥对绿豆产量

施用不同生物炭菌肥后, 收获的绿豆小区总产量见表 3。每小区平均产量对照为 3.1 kg, 处理 1 为 2.6 kg, 处理 2 为 2.64 kg, 处理 3 为 3.6 kg。处理 3 较对照、处理 2 增产但不显著, 较处理 1 增产显著, 其他处理间差异不显著。

#### 3.2.2. 不同生物炭菌肥对绿豆农艺性状的影响

施用不同生物炭菌肥后, 对绿豆农艺性状进行考种, 见表 3。株高处理 3 为 70.16 cm, 与对照 61.04 cm 差异显著, 与处理 1、处理 2 差异不显著。百粒重处理 2 最高为 6.2 g, 最低处理 3 为 5.85 g, 对照与处理 1、处理 2 差异不显著, 与处理 3 差异显著, 处理 2 与处理 3 差异显著。第一开花位置最高处理 2 为 24.38 cm, 最低为处理 1 为 17.68 cm, 处理 2 与处理 1、处理 3 差异极显著, 与对照差异不显著, 对照与处理 1、处理 3 差异不显著。荚长、荚粒数在对照与各处理间差异不显著。株荚数处理 2 最多为 91.4 个, 对照最少为 57.8 个, 对照与各处理间差异显著, 各处理间差异不显著。主茎分枝数处理 3 最多为 6.6 个, 处理 1 最少为 4.8 个, 处理 1 与处理 2、处理 3 间差异极显著, 与对照差异不显著。

## 4. 讨论

### 1、生物炭对土壤的改良

本试验中土壤的 PH 值从施肥前 7.2 变成收获后 8.2~8.4, 说明施用生物炭后能够显著提高土壤的 PH 值, 这与代快[1] Zwieter、Yuan、韩光明等[14] [15] [16]的研究结果一致。土壤 PH 值升高的原因可能是大多数生物炭本身呈碱性, 也可能是生物炭本身含有较多盐基离子, 在土壤微生物的作用下分解出 K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>等阳离子与土壤中的其他离子发生交换引起的。本试验中土壤中有机质、速效氮、速效钾、有效磷的含量较施肥前略有降低, 收获后较对照明显增高, 可见施用生物炭后能够提高土壤有机质含量, 增加土壤速效氮、速效钾、有效磷的含量, 这与房彬[7]、唐光木[10]、傅秋华[17] [18]等的研究结果一致。土壤有机质提高的原因可能是生物炭本身缓慢分解的原因, 也可能是生物炭本身空隙较多, 能够吸附周围的有机分子形成有机质, 对其他营养物质的利用形成缓冲, 起到缓释和积累的作用。

### 2、生物炭对农作物生长及产量的影响:

**Table 3.** Analysis of mung bean yield and agronomic characters

**表 3.** 绿豆产量及农艺性状的分析

处理	项目	平均产量 kg	株高 cm	百粒重 g	第一开花位置 cm	荚粒数(个)	荚长 cm	株荚数(个)	主茎分枝数(个)
对照		3.1	61.04	6.1	20.7	10.7	10.4	57.8	5.6
		abAB	b	a	abAB	a	a	bc	bcAB
处理 1		2.6	64.86	6.05	17.68	11.6	10.5	83.8	4.8
		bcAB	ab	ab	bB	a	a	ab	cB
处理 2		2.64	65.74	6.2	24.38	11.7	10.8	91.4	6.6
		abcAB	ab	a	aA	a	a	a	aA
处理 3		3.6	70.16	5.85	18.58	11.6	10.8	84.4	6.3
		aA	a	b	bB	a	a	ab	abA

注: P > 0.05 用小写字母表示; P > 0.01 用大写字母表示。

施用生物炭可以显著提高作物产量并在一定程度上改善作物品质。本试验添加生物炭的处理中, 绿豆的株高均高于对照, 说明生物炭能够促进植株的生长, 但产量和其他性状的差异不明显。刘新源等人[20][21][22][23][24]在对烟叶、水稻、小麦、玉米、大豆的研究中指出随着生物炭量的增加对作物产量有一定的促进作用, 但品质随生物炭量的增加先升后降。王光飞[25]等人在对辣椒疫病防控效果的研究中指出 1.33%生物炭用量对辣椒疫病的防效最好, 在一定范围内防效随生物炭用量的增加而增加。本试验未对绿豆的发病情况做统计分析, 就田间表现看, 整体长势未有较明显病害发生。产量、品质、抗病性增加可能与加施生物炭菌肥后土壤中各营养成分的提高有关。

### 3、生物菌肥对农作物生长及产量的作用:

丁平[19]在对巴戟天有效成分的研究中指出施用有机微生物菌肥可能是糖含量增加的主要原因。袁业琴、周巍等[26][27][28][29]的研究表明, 在番茄、黄瓜等蔬菜上施用生物菌肥后产量较对照有明显增产, 能够降低番茄中硝酸盐的含量, 糖分、蛋白质等含量较对照增长 15%, 黄瓜中干物质质量、糖含量和 Vc 含量均有一定的提高。说明生物菌肥能够固定氮素, 分解土壤中农作物需要但不能被直接吸收的某些物质, 为农作物提供营养成分, 改善作物品质, 提高产量。

本试验由于条件限制未能对绿豆的营养成分及土壤微生物变化做出研究, 但就产量和农艺性状来说添加竹炭的生物有机菌肥的绿豆产量和农艺性状均高于对照和其他处理。说明生物炭能较好的改善土壤条件, 为土壤微生物提供较好的生存场所, 使微生物菌能够较大程度的发挥作用, 为农作物提供所需的营养成分。

## 5. 结论

竹制生物炭菌肥的施用, 能够明显减缓土壤中有有机质、速效氮、速效钾、有效磷的消耗, 长期使用可能会增加土壤中有效成分的含量, 并对水溶性盐起到缓慢释放的作用。从本试验的结果看, 生物炭菌肥的施用能够提高绿豆的株高、株荚数及产量, 降低第一开花位置高度, 并对抗病性有一定的作用。生物炭能够使土壤 PH 值升高, 建议在偏酸性的土壤中使用, 能够起到改良土壤的作用。生物炭菌肥对土壤改良的长期效果及对农作物品质、产量及抗性的提升, 有待进一步验证。

## 基金项目

2015 年科技创新激励性补助项目; 2018 年饲草专用谷子品种筛选及试验示范(201802B015)。

## 参考文献

- [1] 代快, 计思贵, 张立猛, 等. 生物炭对云南典型植烟土壤持水性及烤烟产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(4): 44-51.
- [2] Lehmann, J. (2007) Bio-Energy in the Black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **5**, 381-387. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[381:BITB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2)
- [3] Zhang, A., Cui, L., Pan, G., *et al.* (2010) Effect of Biochar Amendment on Yield and Methane and Nitrous Oxide Emissions from a Rice Paddy from Tai Lake Plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **139**, 469-475. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.09.003>
- [4] 刘玉学, 王耀锋, 吕豪豪, 等. 不同稻秆炭和竹炭施用水平对小青菜产量、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): 1438-1444.
- [5] 卜晓丽, 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.
- [6] 宋大利, 刁向银, 黄绍敏, 等. 秸秆生物炭配施氮肥对潮土土壤碳氮含量及作物产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 369-379.
- [7] 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.

- [8] 尚杰, 耿增超, 陈心想, 等. 施用生物炭对旱作农田土壤有机碳、氮及其组分的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(3): 509-517.
- [9] 刘园, Jamal, K.M., 靳海洋, 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.
- [10] 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.
- [11] 赵倩雯, 孟军, 陈温福. 生物炭对大白菜幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(12): 2394-2401.
- [12] 赵倩雯. 生物炭对大白菜幼苗生长及根肿病的影响[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- [13] 陈磊. 宿迁市肥料市场监管的思考[J]. 农村科学实验, 2018(1): 113-113.
- [14] Zwieter, L.V., Kimber, S., Morris, S., *et al.* (2010) Effects of Biochar from Slow Pyrolysis of Papermill Waste on Agronomic Performance and Soil Fertility. *Plant & Soil*, **327**, 235-246. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>
- [15] Yuan, J.-H. and Xu, R.-K. (2015) The Amelioration Effects of Low Temperature Biochar Generated from Nine Crop Residues on an Acidic Ultisol. *Soil Use & Management*, **27**, 110-115. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00317.x>
- [16] 韩光明. 生物炭对不同类型土壤理化性质和微生物多样性的影响[D]: [博士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.
- [17] 傅秋华, 张文标, 钟泰林. 竹炭对土壤性质和高羊茅生长的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2004, 21(2): 159-163.
- [18] 郭伟, 陈红霞, 张庆忠, 等. 华北高产农田施用生物炭对耕层土壤总氮和碱解氮含量的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(3): 425-428.
- [19] 丁平, 潘超美, 徐鸿华. 不同生物有机肥料对巴戟天主要有效成分的影响[J]. 现代中药研究与实践, 2003, 17(4): 21-22.
- [20] 刘新源, 刘国顺, 刘宏恩, 等. 生物炭施用量对烟叶生长、产量和品质的影响[J]. 河南农业科学, 2014, 43(2): 58-62.
- [21] 张伟明, 孟军, 王嘉宇, 等. 生物炭对水稻根系形态与生理特性及产量的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(8): 1445-1451.
- [22] 陈屯想, 何绪生, 耿增超, 等. 生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响[J]. 生态学报, 33(20): 6534-6542.
- [23] 张娜, 李佳, 刘学欢, 等. 生物炭对夏玉米生长和产量的影响阴[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(8): 1569-1574.
- [24] 刘明, 来永才, 李巧, 等. 生物炭与氮肥施用量对大豆生长发育及产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(1): 87-92.
- [25] 王光飞, 马艳, 郭德杰, 等. 不同用量秸秆生物炭对辣椒疫病防控效果及土壤性状的影响[J]. 土壤学报, 2017, 51(1): 204-215.
- [26] 袁业琴, 张富萍. 浅谈微生物肥料在绿色食品生产上的作用[J]. 农业与技术, 2007, 27(2): 80-81.
- [27] 刘戈, 易玉林. 微生物肥料的发展现状与前景展望[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(11): 3318-3322.
- [28] 周巍. 微生物肥在蔬菜生产上的应用[J]. 现代农业, 2015(9): 37-38.
- [29] 李振高, 洛永明, 腾英. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 2008.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjas@hanspub.org](mailto:hjas@hanspub.org)