

生物炭对土壤水肥利用效率与番茄生长影响研究

李昌见¹, 屈忠义^{1*}, 勾芒芒^{1,2}, 苏永莉³, 霍 星¹

(1.内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018; 2.内蒙古自治区水利科学研究院, 呼和浩特 010020; 3.西南大学, 重庆 400715)

摘 要:通过设置不同生物炭施用量的野外大田小区试验,研究不同处理砂壤土物理性质及水肥的变化规律。试验共设5个处理,3个重复:不施生物炭(CK),生物炭施用量分别为 $10\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T1)、 $20\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T2)、 $40\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T3)、 $60\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T4)。结果表明:施用生物炭能明显减小土壤容重,增大土壤孔隙度,增加土壤含水率,与对照(CK)相比,耕作层(0~20 cm)土壤容重T4减小最大,0~10 cm减小23%,0~20 cm减小30%;孔隙度T4增加最大,0~10 cm增加14%,0~20 cm增加19%。施用生物炭明显提高了土壤的水分与肥料利用效率,与对照(CK)相比,处理组的水分和肥料利用效率分别最少提高27.7%和87.4%,其中T3增幅最大。生物炭能促进作物生长发育,提高作物产量,本试验番茄产量T3增幅最大,增幅为56.1%。综上所述,生物炭能改变土壤的物理性质,提高水肥利用率,减少肥料淋失,其中T3在这些指标中增幅最为明显,因此 $40\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 生物炭用量是改良砂壤土最为合适的用量。

关键词:生物炭;砂壤土;水肥利用效率;含水率

中图分类号:X71 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2014)11-2187-07 **doi:**10.11654/jaes.2014.11.017

Effects of Biochar Amendment on Soil Water and Nutrient Utilization Efficiencies and Tomato Growth

LI Chang-jian¹, QU Zhong-yi^{1*}, GOU Mang-mang^{1,2}, SU Yong-li³, HUO Xing¹

(1.Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China; 2.Hydraulic Research Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010020, China; 3.Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Biochar added to soil has the potential to hold water and retain nutrients. However, the effects of biochar on soil water and nutrient utilization efficiencies were not well understood. A field experiment was carried out to examine changes of physical properties and water and nutrient bearing capability of sandy loam under different application rates of biochar. The experiment had 5 treatments with 3 replication, including no biochar (CK), $10\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T1), $20\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T2), $40\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T3) and $60\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ of biochar (T4). Application of biochar reduced soil bulk density, but increased soil porosity and moisture content. Such effects were found to be the greatest in the T4 treatment, in which bulk density was reduced by 23% in 0~10 cm, and by 30% in 0~20 cm, while the porosity was increased by 14% in 0~10 cm, and by 19% in 0~20 cm as compared with the control. Biochar addition enhanced soil water and nutrient utilization efficiency by at least 27.7% and 87.4%, respectively. Also, biochar improved tomato growth and yield, with the greatest effects observed in the T3 treatment, a 56.1% increment over the control. In conclusion, biochar could improve soil physical properties, increase utilization efficiency of soil water and nutrients. The optimum biochar rate would be $40\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ for sandy loam.

Keywords: biochar; sandy loam; soil water utilization efficiency; soil nutrient utilization efficiency; soil moisture content

生物炭(Biochar)一般指生物质如木材、农作物废弃物、植物组织或动物骨骼等在完全或部分缺氧和相对温度“较低”(<700℃)条件下热裂解而形成的固态产物^[1]。生物炭通常含碳40%~75%,并含少量矿物质、

灰分和挥发性有机化合物^[2]。Sombroek^[3]对亚马逊河谷古印第安人黑色土壤(Terra preta)的研究引起了全球众多学者对生物炭的广泛关注^[4-5]。研究表明生物炭是一种具有多孔性、巨大表面积、羧基基团、较大吸附力和离子交换量(CEC)的粉状颗粒^[6],这些特点赋予了生物炭具有改变土壤理化性质、保水、保肥等性能。张千丰等^[7]认为生物炭具有较高的CEC、弱碱性、低密度和较高的C/N等性质,可被用作土壤改良剂,改善土壤的理化性质,减小土壤容重,增大土壤孔隙度。王丹丹等^[8]认为施入生物炭可以有效地改善土壤容重,

收稿日期:2014-06-08

基金项目:国家自然科学基金项目(41161038);内蒙古自治区2013年科技厅应用项目(20130425)

作者简介:李昌见(1987—),男,重庆永川人,硕士研究生,主要研究方向为农业水资源高效利用与水土环境调控。

E-mail:461663804@qq.com

*通信作者:屈忠义 E-mail:quzhongyi68@sohu.com

提高土壤田间持水量和土壤的导水性能,从而增大土壤含水率。何绪生等^[6]认为生物炭延缓肥料在土壤中的养分释放,降低养分损失,提高肥料养分利用率,生物炭是肥料的增效载体。生物炭的保水、保肥性能促进了作物发育,提高作物产量。生物炭虽然具有这些优点,但是国内外对生物炭的看法也有所分歧,如:Kishimoto 等^[9]认为,在壤土中施加生物炭($0.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)大豆产量可增加 50%,然而随着施用量的增加产量出现减少趋势;Gaskin 等^[10]研究生物炭对黏性土壤影响中发现,添加量在 $11 \sim 22 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,作物产量无显著性差异;张晗芝等^[11]研究在中层砂浆水稻土中施加生物炭对玉米的影响,发现在玉米苗期生物炭抑制了植株的生长发育,表现为添加量越大抑制效果越明显。总之,生物炭的研究大多仅限于室内和温室,大田试验对生物炭的研究还很少有人涉足。

内蒙古呼和浩特和林格尔县地处蒙古高原,属于干旱半干旱大陆季风性气候,是中国水资源匮乏、水土流失较为严重的地区。砂壤土是北方比较典型的土壤类型,尤其在内蒙古地区,其持水性能差、土壤贫瘠,严重制约了这一地区农业的发展^[12-14]。和林格尔县主要种植玉米,每年有大量的玉米秸秆,大多闲置废弃,生物炭技术有利于这一地区废弃物的资源化。本文在野外大田小区设置不同生物炭施用量,通过研究不同处理土壤物理性质及水肥利用效率对作物生长和产量的影响,寻求砂壤土中合理的生物炭用量,为生物炭在内蒙古乃至北方地区的大规模运用提供科学合理的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2013 年 5 月中旬至 10 月上旬在内蒙古和林县内蒙古水利科学研究院试验基地进行。该地区属于温带半干旱大陆性季风气候,年均气温 $6 \sim 7^\circ\text{C}$,年均降雨量为 392.8 mm 。该试验区土壤为砂壤土。经测定土壤基本性质:砂粒质量分数 64.15%、粉粒 16.49%、粘粒 19.36%,土壤容重 $1.39 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,孔隙度 43.52%,田间持水率(体积分数)31%,pH 值 7.85,电导率 $141.8 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$;有机质质量比为 $6.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $48.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $12.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾为 $146.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

试验选用生物炭为辽宁金和福农业开发有限公司的玉米秸秆生物炭产品。生物炭主要性质:C 的质

量分数为 47.17%、N 为 0.71%、H 为 3.83%,C/N 为 67.03%,pH 值 9.04,有机质比为 $925.74 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮为 $159.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷为 $394.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾为 $783.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。将生物炭均匀施于土壤表面,用旋耕机翻混入耕层土壤。试验设计 5 个处理:对照即不施生物炭(CK),处理组生物炭施用量分别为 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (T1)、 $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (T2)、 $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (T3)、 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (T4)。每个处理 3 次重复,共计 15 个试验小区,小区面积为 15 m^2 ($5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$)。供试作物为番茄,品种为上海合作 918,种植密度为 $4.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。底肥施用量:尿素 $[\omega(\text{N})=46\%]$ $408 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,二胺 $[\omega(\text{P}_2\text{O}_5)=46\%]$, $163 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,氯化钾 $[\omega(\text{KCl})=50\%]$ $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。灌溉定额为 105 m^3 (苗期-开花着果期 45 m^3 、开花着果期-结果盛期 40 m^3 、结果盛期-果实成熟期 20 m^3)。

1.3 试验方法

1.3.1 测定项目及方法

在苗期-开花着果期、开花着果期-结果盛期、结果盛期-果实成熟期在各小区灌水前后用土钻分别在 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 、 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 、 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 、 $40 \sim 60 \text{ cm}$ 、 $60 \sim 80 \text{ cm}$ 五个土层取土,将各层取得土壤混合均匀装入铝盒测定土壤含水率,在各小区 $0 \sim 50 \text{ cm}$ 每 10 cm 取环刀测定土壤容重,在番茄各生育期测定各处理番茄生育指标以及在果实成熟期测定番茄产量。土壤含水率测定采用烘干称重法,土壤容重测定采用烘干称重法。

1.3.2 肥料利用效率及水分利用效率计算

化肥农学效应(NUE)=(处理组番茄产量-对照组番茄产量)/处理组施肥量,单位为 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$

水分利用率(WUE)=番茄产量/番茄全生育期耗水量,单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

1.4 数据分析

应用 Microsoft Excel2003 绘制图表,SPSS19.0 软件进行方差分析,相关分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 施用生物炭对作物生长性状和产量的影响

2.1.1 对番茄生育指标的影响

由图 1 可知,番茄全生育期株高随着土壤生物炭施用量的增加呈先增大后减小的趋势。苗期-开花着果期各处理株高均小于 35 cm ,施用生物炭的处理株高均大于对照组(CK),其中 T3 增幅最大,增幅为 41.7%,各处理间差异不显著。随着番茄生育期的推进,各处理的生育指标变化较大,在开花着果-结果盛期株高依旧是 T3 增幅最大,增幅为 16.4%,差异性显

著。然而,在结果盛期-果实成熟期番茄株高虽然仍表现出先增大后减小的趋势,但 T2 的增幅最大,增幅为 22.5%。这表明在不同生育期,适量施用生物炭对番茄株高的增加最为有利。

由图 2 可知,全生育期番茄茎粗随着生物炭用量的增加呈先增大后减小的趋势,且施用生物炭的处理茎粗均大于对照组(CK)。在苗期-开花着果期番茄茎粗差异最为明显,T3 茎粗增幅最大,为 16.2%;在开花着果-结果盛期 T1、T2、T3 差异性显著,T4 差异性不显著,T3 增幅最大,为 17.6%;在结果盛期-果实成熟期各处理间番茄茎粗差异性不显著,仍然是 T3 增幅最大,为 7.3%。综上所述,生物炭在不同生育期对番茄的茎粗影响程度不一样。

2.1.2 对番茄产量的影响

由图 3 可知,番茄产量随着生物炭施用量的增加呈先增加后减小的趋势,其中 T3 处理的产量最高。变化趋势符合方程 $y = -373.9x^2 + 3173.7x + 4419$,

$R^2 = 0.9939$ 。各处理产量相比对照组(CK)依次增加 27.2%、44%、56.1%、49.6%。这说明,生物炭的不同用量对番茄的产量影响存在一定的差异,但是施用生物炭均有利于产量的提高。

2.2 施用生物炭对土壤物理性质和水分利用效率的影响

2.2.1 对土壤容重的影响

本试验容重计算公式: $r_s = m/V$ (m 为环刀内土壤干重, V 为环刀体积)。由图 4 可知,在土壤深度为 0~20 cm 范围内,土壤容重随着生物炭施用量的增加呈减小的趋势,而超过 20 cm 以后随着生物炭施用量的增加土壤容重变化规律不明显。土壤深度为 0~10 cm,各处理土壤容重与对照(CK)相比分别减小 7%、13%、20%、23%,差异性显著;土壤深度为 10~20 cm,各处理土壤容重与对照(CK)相比分别减小 10%、17%、27%、30%,差异性显著;在 20~30 cm 土壤容重差异性显著但规律不明显,30~40 cm、40~50 cm 土壤容重差异性不显著。

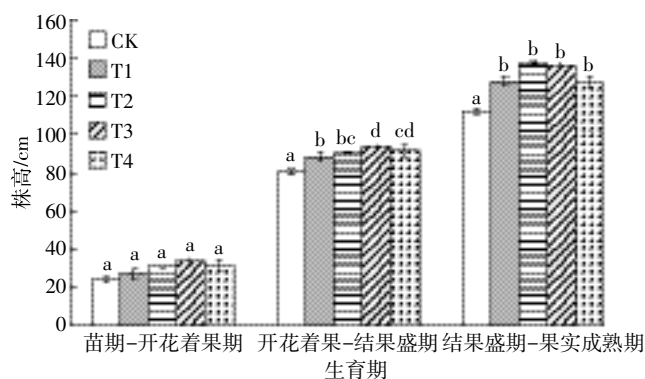


图 1 番茄全生育期各处理株高对比

Figure 1 Height of tomato plants in different treatments at different growth stages

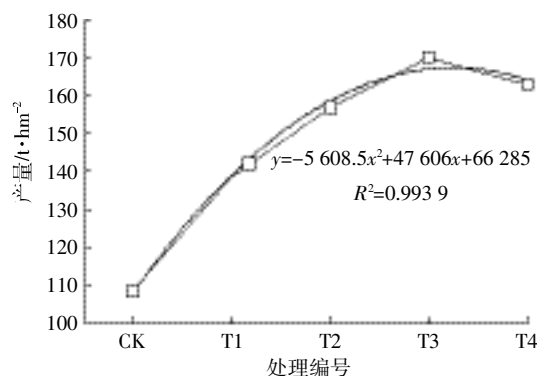


图 3 各处理对番茄产量的影响

Figure 3 Effects of tomato production in different treatments

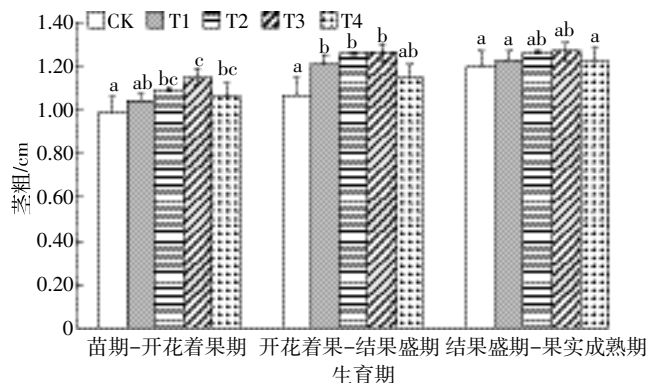


图 2 番茄全生育期各处理茎粗对比

Figure 2 Diameter of tomato stems in different treatments at different growth stages

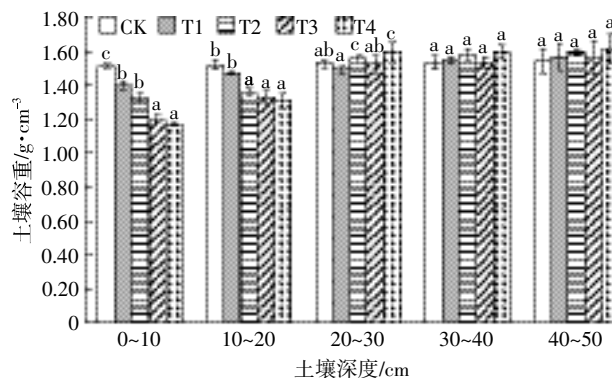


图 4 生物炭对土壤容重的影响

Figure 4 Effects of biochar additions on soil bulk density

2.2.2 对土壤孔隙度的影响

本试验土壤孔隙度计算公式: $P=(d-r/d) \times 100\%$ P 为土壤孔隙度; d 为土粒密度, 一般认为耕地土壤表土的土粒密度为 $2.65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; r 为土壤容重。由图 5 可知土壤深度为 0~20 cm 范围内, 土壤孔隙度随着生物炭施用量的增加呈增大的趋势, 而大于 20 cm 的土壤孔隙度随着生物炭施用量的增加变化规律不明显。土壤深度为 0~10 cm, 各处理土壤孔隙度相比 CK 分别增大 3%、10%、13%、14%, 差异性显著; 土壤深度为 10~20 cm, 各处理土壤孔隙度相比 CK 分别增大 4%、14%、17%、19%, 差异性显著; 土壤深度为 20~30 cm, 土壤孔隙度差异显著但规律不明显; 土壤深度为 30~40 cm、40~50 cm 土壤孔隙度差异不显著。

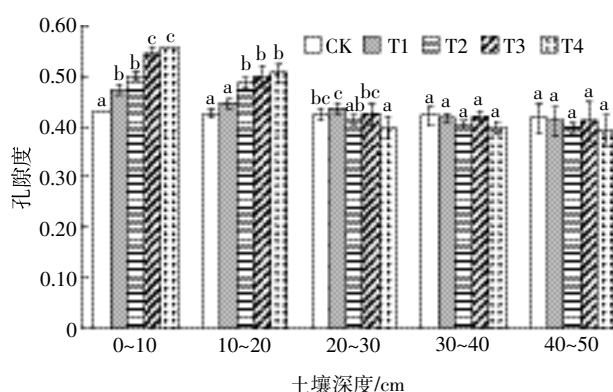


图 5 生物炭对土壤孔隙度的影响

Figure 5 Effects of biochar additions on soil porosity

2.2.3 对土壤水分利用效率的影响

由表 1 可知, 在番茄全生育期各处理土壤深度为 20 cm 时土壤含水率均表现相同规律, 土壤含水率随着生物炭施用量的增加呈先增大后减小的趋势, 且施用生物炭处理土壤含水率均高于对照组 (CK), 在 20~80 cm 土层含水率变化规律不明显, 因此没有写入文中。在全生育期 T3 处理 0~10 cm、10~20 cm 土层土壤含水率与对照 (CK) 相比增幅最大, 各生育期 0~10 cm 增幅分别为 20%、13.7%、21.7%, 差异性显著; 10~20 cm 增幅分别为 33.97%、17.04%、21.31%, 差异性显著。

本试验采取烘干法测定土壤含水率, 通过各处理之间施用不同用量生物炭, 来研究番茄的耗水规律。作物蒸腾蒸发量用水量平衡法进行计算, 依据相邻两次土壤含水率测定结果, 计算该时段作物腾发量。采用耗水公式如下:

$$ET=10 \sum_{i=1}^n [r_i H_i (W_{i1} + W_{i2})] + M + P + K - C \quad (1)$$

式中: ET 为阶段耗水量, mm; i 为土壤层次编号; n 为土壤层次总数目; r_i 为第 i 层土壤干容重, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$; H_i 为第 i 层土壤厚度, cm; W_{i1} 为第 i 层土壤在时段始的含水率 (占干土重的百分比); W_{i2} 为第 i 层土壤在时段末的含水率 (占干土重的百分比); M 、 P 、 K 、 C 分别为时段内灌水量、降雨量、地下水补给量和排水量, mm; 10 为换算系数。

由于试验区地下水埋深大约在 15~22 m 之间, 埋深较大所以地下水补给量可以忽略不计, 即 $K=0$, 每次灌水定额都不是特别大不会产生深层渗漏因此排水量也可以忽略不计, 即 $C=0$, 由于和林干旱少雨蒸发较大, 在进行雨量计算时降雨量小于 5 mm 时不计入降雨量。故公式 (1) 可用公式 (2) 代替:

$$ET=10 \sum_{i=1}^n [r_i H_i (W_{i1} - W_{i2})] + M + P \quad (2)$$

由表 2 可知, 耗水量受生物炭施用量影响较大, 随着生物炭施用量的增加番茄耗水量呈先减小后增大的趋势, 且耗水量均大于灌水量, 耗水量最大为对照组, 最小为处理 T3。从表中可以看出番茄在苗期-开花着果期耗水量较大, 在结果盛期-果实成熟期耗水量较小。总耗水量处理 T1 与对照组 (CK) 相比耗水量相差较小, 说明低生物炭用量对番茄耗水量的减小差异不明显。

表 1 不同生物炭施用量对 (0~20 cm) 土壤含水率的影响

Table 1 Effect of different biochar rates on soil moisture (0~20 cm)

番茄生育期	处理	土壤含水率/%	
		0~10 cm	10~20 cm
苗期-开花着果期	CK	11.23a	10.14a
	T1	11.89ab	10.69ab
	T2	12.36b	11.57b
	T3	16.57c	13.78c
	T4	11.86ab	11.25b
开花着果-结果盛期	CK	10.85a	10.15a
	T1	11.50ab	10.82b
	T2	11.86b	11.00c
	T3	12.07b	11.88d
结果盛期-果实成熟期	T4	11.37a	10.87c
	CK	8.50a	9.07a
	T1	8.76a	9.84b
	T2	10.57b	11.23c
	T3	11.68bc	12.37c
	T4	10.15b	9.87b

注: 同列数后相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$); 不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

表 2 各处理下番茄各生育期耗水量(m³)

Table 2 Water consumption of tomato at different growth stages

处理	苗期-开花着果期(5.15—7.15)			开花着果-结果盛期(7.15—8.17)			结果盛期-果实成熟期(8.17—10.1)			全生育期		
	灌水量	降雨量	耗水量	灌水量	降雨量	耗水量	灌水量	降雨量	耗水量	灌水量	降雨量	耗水量
CK	45	2.28	57.36b	40	3.96	51.40d	20	0.96	26.15b	105	7.2	134.90c
T1	45	2.28	57.30b	40	3.96	51.10cd	20	0.96	26.48b	105	7.2	134.89c
T2	45	2.28	56.92b	40	3.96	49.16bc	20	0.96	23.90a	105	7.2	129.99b
T3	45	2.28	55.44a	40	3.96	46.42a	20	0.96	22.21a	105	7.2	124.07a
T4	45	2.28	57.02b	40	3.96	47.45ab	20	0.96	23.94a	105	7.2	128.41b

本文试验分析采用 1.3.2 中公式。从表 3 可知,随着生物炭施用量的增加番茄的水分利用率呈先增大后减小的趋势,水分利用率由大到小依次为 T3、T4、T2、T1、CK。与对照组相比各处理水分利用率至少增加 27.2%,差异性明显。说明施用生物炭能有效提高水分利用效率。

表 3 各处理番茄水分利用效率

Table 3 Water use efficiency of tomato in different treatments

处理	CK	T1	T2	T3	T4
产量/kg	7 258.05	9 233.25	10 452.51	11 332.47	10 860.03
水分利用效率 WUE/kg·m ⁻³	53.80c	68.45c	80.4b	91.34a	84.58b

2.3 施用生物炭对土壤肥料利用率的影响

土壤养分利用效率的定义为单位土壤养分消耗量所获得的经济产量,它反映了产量和土壤养分消耗量的关系^[15],可以由 1.3.2 中公式进行计算。

由表 4 可知,氮、磷、钾肥的利用效率均随着生物炭施用量的增加呈现先增加后减小的趋势,化肥利用效率由大到小依次为 T3、T4、T2、T1、CK,从表中可以看出施用生物炭能够有效地促进化肥的利用,与对照组(CK)相比施用生物炭处理氮肥利用效率明显提高,最大增幅为 180.4%,磷肥与钾肥最大增幅也较大,差异性显著。

3 讨论

3.1 不同生物炭施用量对土壤物理性质的影响

土壤的物理性质包括:土壤质地、土壤结构、土壤比重、土壤容重、土壤孔隙度、空气和土壤水分等^[16]。生物炭具有多孔性和巨大的比表面积及羧基基团赋予生物炭强吸附能力^[6],生物炭具有较小容重和强亲水性等特点。由于生物炭具有较小的容重,将生物炭与土壤混合能有效减小土壤的容重,试验结果与武玉等^[17]的研究成果相似,表明施用生物炭的小区在 0~20

cm 土层容重减小较为明显,而在 20~50 cm 效果不明显的原因是生物炭与土壤的混合深度大约为 20 cm,20~50 cm 土层生物炭对土壤容重影响小。本文孔隙度是采用公式 $P=(d-r/d)\times 100\%$ 计算得来,从该式可以看出 P 随着 r 的减小而增大,由于土壤容重随着生物炭施用量的增加而减小,随着生物炭施用量的增加孔隙度会不断增大,与 Blackwell 等^[18]的研究结果一致。20~50 cm 效果不明显原因与容重相同。

3.2 不同生物炭施用量对水肥利用效率的影响

随着生物炭施用量的增加土壤含水率呈现先增大后减小的趋势,与高海英等^[19]的研究结果基本一致。土壤中施用生物炭减小了土壤容重,增大了孔隙度,加之生物炭本身具有较大的比表面积及亲水性和强吸附性能,生物炭的施用增加了土壤持水性能从而增大土壤含水率,在相同情况下,土壤中生物炭施用量越大,土壤含水率就越高,但这种增加效应是有限的,过多施用生物炭会适得其反,本文在 0~20 cm 土层 60 t·hm⁻² 生物炭施用量相对于其他对照反而减小了土壤含水率。在 0~20 cm 土层在高生物炭施用量情况下效果反而不佳的原因是,虽然生物炭具有多孔性和巨大的比表面积及羧基基团,并且赋予了生物炭亲水性等特点,但在一定生物炭施用量情况下是表现为亲水性,当生物炭施用量超过一定量时生物炭的这种亲水性能就会减弱,导致高生物炭施用量情况下土壤含水率反而较

表 4 各处理化肥利用效率

Table 4 Fertilizer use efficiency of tomato in each treatment

处理	CK	T1	T2	T3	T4
经济产量/kg	2 258.05	4 233.25	5 452.51	6 332.47	5 860.03
氮肥施用量/kg	12.30	12.30	12.30	12.30	12.30
氮肥利用效率/kg·kg ⁻¹	183.58c	344.17bc	443.29b	514.83a	476.43ab
磷肥施用量/kg	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80
磷肥利用效率/kg·kg ⁻¹	230.41d	431.96c	556.38bc	646.17a	597.96b
钾肥施用量/kg	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
钾肥利用效率/kg·kg ⁻¹	225.81d	423.33c	545.25b	633.25a	586.00ab

适中生物炭施用量土壤含水率有所下降。至于生物炭高施用量为什么会减小土壤含水率尚有待进一步研究。施用生物炭明显提高了水分利用效率,土壤施入生物炭有效地增大了土壤的孔隙度,提高了土壤的持水能力,增加了土壤通透性,促进根系发育,从而提高番茄对水分的利用率。由于生物炭本身的吸附能力促进土壤团聚体的形成,团聚体内部的持水孔隙水多空气少,既可以保存随水进入团聚体的水溶性养分,又适宜于嫌气性微生物的活动。有机质分解缓慢,有利于腐殖质的合成,所以有利于养分的积累,起到保肥的作用。团聚体间的充气孔隙中空气多,适宜于好气性微生物的活动,有机质分解快,产生的速效养分多,供肥性能良好。保肥供肥的矛盾得以协调,加之水能促进肥料的吸收,施用生物炭有效提高了土壤含水率,加大了作物对肥料的利用。生物炭从这两方面促进了作物对肥料的利用,提高了肥料的利用率。但是生物炭对水肥利用效率的影响还很少有人研究。

3.3 不同生物炭施用量对作物生长性状的影响

生物炭具有改变土壤理化性质的调剂作用^[20],提高了作物对水、肥的利用效率,从而促进了作物的生长发育,提高了番茄的产量,但是作物对肥的需求不是越多越好,只有在水、肥、气相对适中的情况下才能达到高产的效果,本试验在生物炭施用量为 $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时正好达到水、肥、气的最佳环境,因此作物的株高、茎粗、产量均呈现先增大后减小的趋势($40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 生育指标、产量达到最大值)。

4 结论

(1)生物炭能有效地改变土壤的理化性质。随着生物炭施用量的增加土壤容重逐渐减小,孔隙度逐渐增大,与对照组(CK)相比,耕作层土壤容重 T1、T2、T3、T4 分别平均减小 8.5%、15%、23.5%、26.5%,孔隙度分别平均增大 3.5%、12%、15%、16.5%。

(2)生物炭能明显提高作物对土壤水的利用效率。处理 T3 增幅最大,增幅为 69.8%,与对照相比施用生物炭至少提高了 27.7%的水分利用率。

(3)生物炭能明显提高作物肥料的利用率。处理 T3 增幅最大,增幅为 180.4%,与对照相比施用生物炭至少提高了 87.5%的肥料利用率。

(4)生物炭能促进作物生长提高作物产量。与 CK 相比,番茄各生育期株高至少增幅 41.7%、916.4%、22.5%,茎粗增幅 16.2%、17.6%、7.3%;与 CK 相比 T1、T2、T3、T4 番茄分别增产 27.2%、44%、56.1%、

49.6%。其中株高、茎粗、产量基本都是在生物炭用量为 $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时增幅最大。

综上所述,在砂壤土中 $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 生物炭施用量是改良土壤,提高作物产量较为合适的选择。

参考文献:

- [1] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems: A review[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, 11(2): 395-419.
- [2] 曾 爱, 廖允成, 张俊丽, 等. 生物炭对壤土土壤含水量有机碳及速效养分含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(5): 1009-1015. ZENG AI, LIAO Yun-cheng, ZHANG Jun-li, et al. Effects of biochar on soil moisture, organic carbon and available nutrient contents in manural loessial soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(5): 1009-1015.
- [3] Sombroek E G. Biomass and carbon storage in the Amazon ecosystems[J]. *Intersciencia*, 1992, 17: 269-272.
- [4] 邱 敬, 高 人, 杨玉盛, 等. 土壤黑碳的研究进展[J]. 亚热带资源与环境学报, 2009, 4(1): 88-94. QIU Jing, GAO Ren, YANG Yu-sheng, et al. Advances on research of black carbon in soil[J]. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2009, 4(1): 88-94.
- [5] 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.
- [6] 何绪生, 张树清, 余 雕, 等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15): 16-25. HE Xu-sheng, ZHANG Shu-qing, SHE Diao, et al. Effects of biochar on soil and fertilizer and future research[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(15): 16-25.
- [7] 张千丰, 王光华. 生物炭理化性质及对土壤改良效果的研究进展[J]. 土壤与作物, 2012, 1(4): 219-226. ZHANG Qian-feng, WANG Guang-hua. Research progress of physio-chemical properties of biochar and its effects As soil amendments[J]. *Soil and Crop*, 2012, 1(4): 219-226.
- [8] 王丹丹, 郑纪勇, 颜永毫, 等. 生物炭对宁南山区土壤持水性影响的定位研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 101-109. WANG Dan-dan, ZHENG Ji-yong, YAN Yong-hao, et al. Effect of biochar application on soil water holding capacity in the Southern Region of Ningxia[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(2): 101-109.
- [9] Kishimoto S, Sugiura G. Charcoal as a soil conditioner[J]. *Int Achieve Future*, 1985, 5: 12-23.
- [10] Gaskin A, Speir K, Harris D. Effect of pyrolysis chars on corn yield and soil quality in a loamy sand soil of the southeastern United States. Biochar: Sustainability and security in a changing climate[C]. Proceedings of the 2nd International Biochar Initiative Conference, Newcastle, 2008.
- [11] 张哈芝, 黄 云, 刘 钢, 等. 生物炭对玉米苗期生长、养分吸收及土壤化学性状的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2713-2717.

- ZHANG Han-zhi, HUANG Yun, LIU Gang, et al. Effects of biochar on corn growth, nutrient uptake and soil chemical properties in seeding stage[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(11):2713-2717.
- [12] 易湘生, 李国胜, 尹衍雨, 等. 黄河源区草地退化对土壤持水性影响的初步研究[J]. 自然资源学报, 2012, 27(10):1708-1719.
YI Xiang-sheng, LI Guo-sheng, YIN Yan-yu, et al. Preliminary study for the influences of grassland degradation on soil water retention in the source region of the Yellow River[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(10):1708-1719.
- [13] 于 健, 雷廷武, Isaac Shainberg, 等. PAM 特性对砂壤土入渗及土壤侵蚀的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(1):21-27.
YU Jian, LEI Ting-wu, Isaac Shainberg, et al. Effects of molecular weight and degree of hydrolysis of PAM on infiltration and erosion of sandy soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(1):21-27.
- [14] 王 燕, 郑健, 冀 宏, 等. 植物混掺物对甘肃景泰砂壤土入渗过程的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1):63-67.
WANG Yan, ZHENG Jian, JI Hong, et al. Impacts of plant additive on the infiltration with sandy loam[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(1):63-67.
- [15] 李韵珠, 王凤仙, 黄元仿, 等. 土壤水分和养分利用效率几种定义的比较[J]. 土壤通报, 2000, 31(4):150-156.
LI Yun-zhu, WANG Feng-xian, HUANG Yuan-fang, et al. Comparison for various definitions about soil water and nutrient use efficiency[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2000, 31(4):150-156.
- [16] 杨 放, 李心清, 王 兵, 等. 生物炭在农业增产和污染治理中的应用[J]. 地球与环境, 2012, 40(1):100-107.
YANG Fang, LI Xin-qing, WANG Bing, et al. The Application of biochar to improving agricultural production and pollution abatement[J]. *Earth and Environment*, 2012, 40(1):100-107.
- [17] 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.
WU Yu, XU Gang, LÜ Ying-chun, et al. Effects of biochar amendment on soil physical and chemical properties: Current status and knowledge gaps[J]. *Advance in Earth Science*, 2014, 29(1):68-79.
- [18] Blackwell P, Riethmuller G, Collins M. Biochar application to soil[J]. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, 2009:207-226.
- [19] 高海英, 何绪生, 耿增超, 等. 生物炭对土壤持水性能影响的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(24):207-213.
GAO Hai-ying, HE Xu-sheng, GENG Zeng-chao, et al. Effects of biochar and biochar-based nitrogen fertilizer on soil water-holding capacity[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(24):207-213.
- [20] 姜玉萍, 杨晓峰, 张兆辉, 等. 生物炭对土壤环境及作物生长影响的研究进展[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(2):410-415.
JIANG Yu-ping, YANG Xiao-feng, ZHANG Zhao-hui, et al. Progress of the effect of biomass charcoal on soil environment and crop growth[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2013, 25(2):410-415.



新书推荐

中水处理与回用技术

高静思主编。本书介绍了有关中水的基本知识和中水系统,详细解答了中水处理技术及工艺的各方面问题,包括物理处理技术、化学和物化处理技术、好氧生物处理技术、厌氧生物处理技术、自然净化处理技术、深度处理技术。最后还介绍了中水水质监测和各类中水回用工程技术要点。

本书可供从事污水处理,尤其是中水回用方面工作的技术人员、管理人员使用。也可供大专院校相关专业师生参考。

※书号:9787122213976

※定 价:48.0 元

※开本:16

※出版日期:2014 年 10 月



如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn

服务电话:010-64518888, 64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:<http://hxgyCBS.tmall.com>

邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

如要出版新著,请与编辑联系,联系电话:010-64519525。