

# 生物质炭施用量对土壤性状和番茄产质量的影响<sup>①</sup>

沈 盟<sup>1</sup>, 蒋芳玲<sup>1</sup>, 王 珊<sup>2,3</sup>, 唐 静<sup>2,3</sup>, 吴 震<sup>1,2\*</sup>

(1 南京农业大学园艺学院, 南京 210095; 2 南京农业大学昆山蔬菜产业研究院, 江苏苏州 215300;

3 昆山市城区农副产品实业有限公司, 江苏苏州 215300)

**摘 要:** 本试验以南方地区设施黄棕壤为供试土壤, 樱桃番茄为试验材料, 通过测定土壤有机碳、速效养分、酶活性以及番茄的产量品质等指标, 研究生物质炭施用量对菜田土壤性状及樱桃番茄产量与品质的影响, 为在蔬菜栽培中合理使用生物质炭提供依据。试验设 3 个生物质炭施用量处理, 分别为 200(T1)、400(T2)、600 kg/667m<sup>2</sup>(T3), 以不施用生物质炭处理为对照(CK)。研究结果表明: 施用生物质炭能提高土壤有机碳、碱解氮、速效磷和速效钾含量。在番茄生长前期, 以 T1 处理的土壤蔗糖酶活性最高, 但 3 个处理的脲酶和中性磷酸酶活性与对照的差异不显著; 到生长后期, T1 处理的蔗糖酶活性依然保持最高, 脲酶和中性磷酸酶活性也逐渐提高且高于对照及其他处理。生物质炭可提高番茄单株坐果率, 降低单株僵果率, 以 T1 处理的单株坐果率最高, T3 处理的单株僵果率最低。3 个生物质炭施用量均可提高番茄产量, 折合单位面积产量分别为 5157.99、4539.05 和 4610.31 kg/667m<sup>2</sup>, 分别较对照增产 20.44%、5.99%和 7.65%, 以 T1 处理产量最高。在本试验中, 以生物质炭施用量为 200 kg/667m<sup>2</sup> 的增产效果最好。

**关键词:** 生物质炭; 土壤性状; 产量与品质; 樱桃番茄

**中图分类号:** S641.2 **文献标识码:** A

设施栽培在蔬菜跨区域、反季节种植中发挥重要的作用。我国是世界设施园艺面积最大的国家<sup>[1]</sup>, 但由于缺乏科学合理的种植管理, 温室大棚菜田土壤次生盐渍化、土壤酸化、养分失衡等问题比较严重<sup>[2-3]</sup>。生物质炭是生物质在低氧条件下热解产生的具有高度多孔结构的物质, 具有较强的碱性, 被用于农业生产和环境保护<sup>[4]</sup>, 农业废弃物、城市垃圾和禽畜粪便等都可作为生物质炭的原料<sup>[5-7]</sup>。研究表明, 生物质炭通过吸附有毒物质<sup>[8]</sup>、提高土壤 pH 和 CEC 值<sup>[9]</sup>、缓解盐胁迫<sup>[10]</sup>、增加土壤有机质含量<sup>[11]</sup>等途径有效改良土壤, 在增加微生物群落丰度<sup>[12]</sup>、提高肥料利用率<sup>[13]</sup>、提高作物产量<sup>[14-16]</sup>等方面也具有良好作用。目前, 相关研究多集中在实验室模拟栽培条件下进行的, 在田间作物栽培中作用效果的相关研究还不多。因此, 如何将生物质炭因地制宜地运用到生产中去, 是亟需研究的内容。

番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)属于茄科番茄属, 一年生或多年生的草本植物, 是全世界栽培最为广泛的蔬菜作物之一, 也是我国主要的设施蔬菜<sup>[17]</sup>。

因此, 本试验以樱桃番茄为试验材料, 在设施条件下栽培, 通过测定不同生物质炭施用量下土壤养分、酶活性以及番茄产量和品质的变化, 明确生物质炭对设施栽培条件下土壤和番茄产量品质的影响, 为在设施蔬菜栽培中合理使用生物质炭提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料和试验设计

供试番茄品种为“摩斯特”(Moscatel RZ), 属于樱桃番茄类型, 由 Rijk Zwaan Distribution B.V.公司提供。

试验所用生物质炭由辽宁金和福农业开发有限公司提供, 该生物质炭由花生壳在 300 高温下制成。经测定, 该产品碱解氮含量 225 mg/kg, 速效磷含量 234 mg/kg, 速效钾含量 10360 mg/kg, 有机质含量 588.6 g/kg, pH 7.87。

试验设 3 个生物质炭施用量处理, 分别为: 200(T1)、400(T2)、600 kg/667m<sup>2</sup>(T3), 以不施用生物质炭处理为对照(CK)。每个处理 4 次重复, 每重复小区面积 6 m<sup>2</sup>, 随机区组排列。

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目-现代园艺科学和江苏省农业科技自主创新项目(CX(12)4044)资助。

\* 通讯作者(wzh@njau.edu.cn)

作者简介: 沈盟(1991—), 女, 浙江嘉兴人, 硕士研究生, 主要研究方向蔬菜生理生态。E-mail: 929746402@qq.com

## 1.2 处理方法

试验于2015年3月至8月在昆山市城区农副产品实业有限公司的连栋大棚内进行。连栋大棚基本结构为栋长50 m, 栋宽32 m, 顶高4.5 m, 肩高4 m, 4连栋, 单栋跨度8 m。前茬作物为茼蒿。实验区土壤为黄棕壤, 耕作层(5~20 cm)土壤碱解氮含量156 mg/kg, 速效磷含量132 mg/kg, 速效钾含量359 mg/kg, 有机碳含量15.82 g/kg, pH 7.33。

于2015年3月5日翻耕土壤并施入有机肥2 000 kg/667m<sup>2</sup>做基肥, 4月17日按试验设计在小区中施入生物质炭, 然后翻耕均匀以备定植。整个番茄生长期不施用其他肥料。

采用穴盘育苗, 于2015年3月5日催芽, 3月10日播种。育苗基质为“极苗”育苗基质, 购于镇江领航基质科技发展有限公司。4月18日, 番茄秧苗达到4叶1心时, 选择生长一致的健壮秧苗定植到连栋塑料大棚处理过的土壤中。采用双行密植栽培, 定植密度为6 064株/667m<sup>2</sup>。在双行中间铺设滴灌带, 并用黑色地膜覆盖。采用单干整枝, 试验过程中定期进行植株调整, 于6月14日保留7个花序(果穗)打顶。

## 1.3 测定项目和方法

**1.3.1 土壤速效养分和部分酶活性** 从4月6日开始, 每隔20 d用铁铲取5~20 cm土层深度的土样, 测定土壤相关指标, 共测定6次。采集的土壤放于通风处自然风干, 除去动植物残体、石子等杂质, 用粉碎机粉碎后过1 mm筛<sup>[18]</sup>。

测定指标包括土壤有机碳(用重铬酸钾法测定); 土壤速效养分: 包括碱解氮(用碳酸氢钠浸提-碱解扩散法测定)、速效磷(用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定)、速效钾(用乙酸铵浸提-火焰光度法测定); 土壤酶活性: 包括土壤脲酶活性(用苯酚钠比色法测定, 酶活性以每克土壤24 h产生NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的质量(mg)表示)、土壤蔗糖酶活性(用3,5-二硝基水杨酸比色法测定, 酶活性以每克土壤24 h产生的葡萄糖的质量(mg)表示)、土壤中磷酸酶活性(用磷酸苯二钠比色法测定, 酶活性以每克土壤24 h产生的酚的质量(mg)表示)。每个重复均取3个样品测定, 结果取平均值。

**1.3.2 番茄产量和品质指标** 6月17日采收第1穗果, 至7月31日采收第7穗果, 采收期为45天。产量指标包括花序坐果率(单个花序结实数/单个花序开花数×100%)、单株坐果率(每株留7个花序, 计算7个花序平均坐果率)、果穗僵果率(将坐果后没有充分发育的果实定义为僵果; 单个果穗僵果数/单个果穗坐果数×100%)、单株僵果率(每株7个果穗的平

均僵果率)、单穗重(不同节位果穗的重量)、单株产量(每株7个果穗的重量之和)。每个重复选取10株番茄测定, 结果取平均值。

品质指标包括可溶性固形物(用奥利龙0~20%手持糖度计测定)、可溶性糖(用蒽酮比色法测定)、可滴定酸(用酸碱滴定法测定)、抗坏血酸(用红菲罗啉比色法测定)、可溶性蛋白(用考马斯亮蓝比色法测定)、番茄红素(用有机溶剂提取比色法测定)。每个重复均从第3节位果穗上选取3个完全成熟的果实测定, 结果取平均值。

**1.3.3 数据统计** 使用Microsoft Excel 2010软件处理数据, 利用SPSS 20.0软件进行统计分析, 采用Duncan新复极差法进行多重比较。

## 2 结果与分析

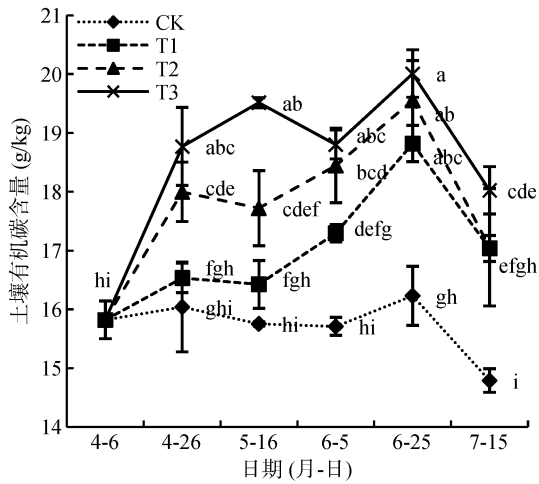
### 2.1 生物质炭施用量对土壤有机碳和速效养分的影响

**2.1.1 对土壤有机碳含量的影响** 由图1可见, 土壤有机碳含量与生物质炭施用量呈正比, 施用量越大, 有机碳含量越高。T2和T3处理的有机碳含量在4月26日至7月15日期间始终显著高于CK, 而T1处理的有机碳含量于5月16日后才显著高于CK。3个处理中, T3处理的土壤有机碳含量最高, 生长期平均含量较CK高2.77 g/kg, T1处理最低, 生长期平均含量较CK高1.27 g/kg。

不同生物质炭施用量下, 土壤有机碳含量随着时间的延长呈不同的变化。在番茄生长过程中, CK和T3处理的有机碳含量变化较平稳, T1和T2处理变化幅度较大。4月26日至6月25日, T3处理的土壤有机碳含量始终在一定范围内小幅波动, 而T1和T2处理的土壤有机碳含量在5月16日后开始升高, 到6月25日达到最大值, 且与T3处理差异不显著。至7月15日, 各处理的土壤有机碳含量都有不同程度降低。CK和T3处理降低幅度较小, 高于施用前; T1和T2处理降低幅度较大, 与施用前差异不显著。

**2.1.2 对土壤速效养分含量的影响** 施用生物质炭能提高土壤碱解氮含量, 由图2A可见, 前期以T2和T3处理含量较高, 后期以T1处理含量较高。4月26日, T2和T3处理的土壤碱解氮含量显著高于CK和T1处理。但随着时间的延长, T1处理的碱解氮含量逐渐升高, 至6月5日时达到最高; T2和T3处理在4月26日至6月5日期间变化较平稳。6月5日后, 各处理土壤碱解氮含量均有不同程度的减少, 至6月25日时, T1处理显著高于CK及其他处理,

至 7 月 15 日时, 各处理及 CK 与施用前相比差异均不显著。



(图中不同小写字母表示不同处理各时期的差异达到  $P < 0.05$  显著水平。图 2 和图 3 与之相同)

图 1 生物质炭施用量对土壤有机碳含量的影响

Fig. 1 Effects of biochar application amounts on contents of soil organic carbon

施用生物质炭能提高土壤有效磷含量, 以 T2 处理含量最高, 显著高于 CK, T1、T3 处理与 CK 差异不显著(图 2B)。4 月 6 日至 5 月 16 日期间, 各处理有效磷含量均迅速升高, 不同处理及 CK 间差异不显著; 5 月 16 日至 7 月 15 日期间, T1 处理在 7 月 15 日时的有效磷含量与 5 月 16 日的相比显著下降; T2 处理和 CK 的有效磷含量变化平稳; T3 处理在 6 月 25 日的有效磷含量显著低于 5 月 16 日的含量。

由图 2C 可见, 施用生物质炭能提高土壤速效钾含量, 以 T2 和 T3 处理含量较高。各处理及 CK 的速效钾含量均为先增高后逐渐降低, 至 4 月 26 日达到最大值后开始下降, 5 月 16 日之后, 相同时期各处理及 CK 间差异均不显著。

## 2.2 生物质炭施用量对土壤酶活性的影响

施用生物质炭能显著提高土壤蔗糖酶活性, 各时期均以 T1 处理的活性最高, CK 的最低。由图 3A 可见, T2、T3 处理和 CK 的土壤蔗糖酶活性随时间变化呈先降低后升高的趋势。在 4 月 6 日至 6 月 5 日期间, T2、T3 处理和 CK 的土壤蔗糖酶活性均缓慢下降, 而 T1 处理保持平稳; 至 6 月 5 日时, T2、T3 处理和 CK 均显著低于施用前。6 月 5 日之后, 各处理及 CK 的土壤蔗糖酶活性均有不同程度的升高。至 7 月 15 日, T1 处理显著高于施用前, T2 和 T3 处理与施用前差异不显著, 而 CK 则显著低于施用前。

施用生物质炭后, 土壤中性磷酸酶活性并没有

立即升高, 而是随着时间逐渐升高, 以 T1 处理的活性最高(图 3B)。4 月 6 日至 6 月 5 日期间, T2 处理和 CK 土壤中性磷酸酶活性变化平稳, 而 T1 和 T3 处理酶活性逐渐升高, 6 月 5 日之后各处理及 CK 的酶活性均开始大幅升高; 至 7 月 15 日, T1 处理土壤中性磷酸酶活性最高, T3 处理次之, 且均显著高于 CK。

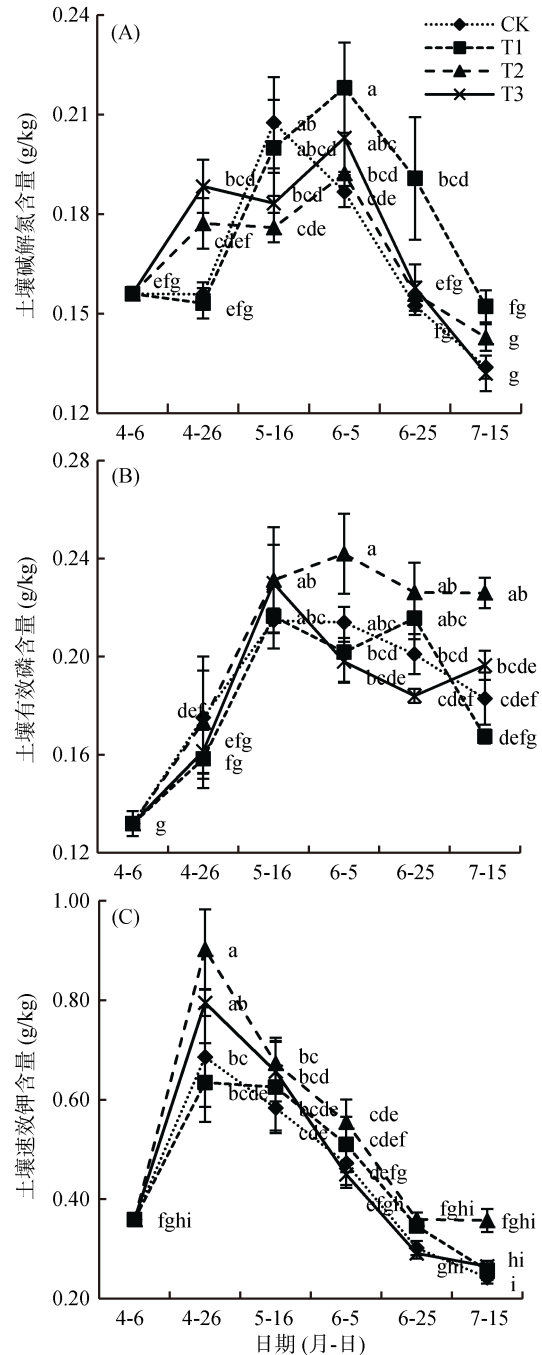


图 2 生物质炭施用量对土壤碱解氮(A)、有效磷(B)和速效钾(C)含量影响

Fig. 2 Effects of biochar application amounts on contents of soil available N (A), available P (B) and available K (C)

对图 3C 进行分析后发现,施用生物质炭后,T1 处理的土壤脲酶活性降低较慢,在番茄生长后期高于 CK 和其他处理。4 月 6 日至 5 月 16 日期间,各处理的土壤脲酶活性变化平稳,且均与 CK 的差异均不显著;5 月 16 日至 6 月 5 日期间,T2 处理和 CK 的脲酶活性显著升高,而 T1 和 T3 处理变化依旧平稳;6 月 5 日后,CK、T2 和 T3 处理的土壤脲酶活性开始下降,而 T1 处理则在 6 月 25 日后才开始降低;到 7

月 15 日,T1 和 T3 处理的脲酶活性与施用前差异不显著,而 CK 和 T2 处理显著低于施用前。

### 2.3 生物质炭施用量对番茄花序坐果率和果穗僵果率的影响

施用生物质炭能提高番茄的单株坐果率。通过对图 4A 的分析发现,只有 T1 处理各节位花序的坐果率均不低于 CK。T1 处理的第 2、4、7 节位的花序坐果率显著高于相同节位的 CK,分别比 CK 高 8.9、6.5 和 7.3 个百分点;T2 处理第 2、3、4、7 节位显著高于 CK,分别高 7.3、7.4、4.9 和 5.8 个百分点,但第 5 节位显著低于 CK 5.5 个百分点;T3 处理第 2、4、7 节位显著高于 CK,分别高 12.0、5.6 和 6.0 个百分点,但 5、6 节位显著低于 CK,分别低 4.5 和 5.1 个百分点。各处理及 CK 的花序坐果率均随时间呈先下降后升高的趋势,第 3 节位显著低于第 2 节位的坐果率,随后在一定范围内波动,施用生物质炭的处理第 7 节位的花序坐果率都显著 CK 高于第 6 节位。

试验中发现,番茄果实发育过程中存在僵果现象,施用生物质炭能显著降低番茄的单株僵果率。由图 4B 可见,T1 处理的第 1、4、5 节位的果穗僵果率显著低于相同节位的 CK,分别比 CK 低 5.8、6.2 和 5.7 个百分点,而第 7 节位却显著高于 CK 3.5 个百分点;T2 处理的第 3、4、7 节位的果穗僵果率显著低于 CK,分别低 6.8、10.7 和 9.2 个百分点,而第 6 节位显著高于 CK 7.1 个百分点;T3 处理的第 1、3、4、7 节位的果穗僵果率显著低于 CK,分别低 5.8、8.7、12.5 和 10.5 个百分点,而第 5 节位显著高于 CK 7.8 个百分点。各处理及 CK 的果穗僵果率随时间延长均呈现先升高后下降的趋势,施用生物质炭能延迟果穗僵果率最大值出现的时间,CK 和 T1 处理的果穗僵果率在第 4 节位达到最大值,T2 和 T3 处理分别第 6 节位和第 5 节位才达到最大值。虽然不同处理对番茄果穗僵果率的影响没有一致规律,但仍可看出,施用生物质炭具有降低单株僵果率的效果。

### 2.4 生物质炭施用量对番茄产量和品质的影响

2.4.1 对单穗重和单株产量的影响 根据对图 5 的分析发现,施用生物质炭能提高番茄的单株产量,各处理及 CK 的单株产量:CK 为 706.22 g、T1 处理为 850.59 g、T2 处理为 748.52g、T3 处理为 760.28 g,以 T1 处理最优,较 CK 增产 20.44%;T3 处理次之,增产 7.65%;T2 处理增产最少,仅 5.99%,T1 与 T3 处理显著高于 CK,T2 处理与 CK 差异不显著。

生物质炭对番茄不同节位单穗重的影响不一致,T2 处理只有 1 穗果的单穗重高于同节位 CK,因此单

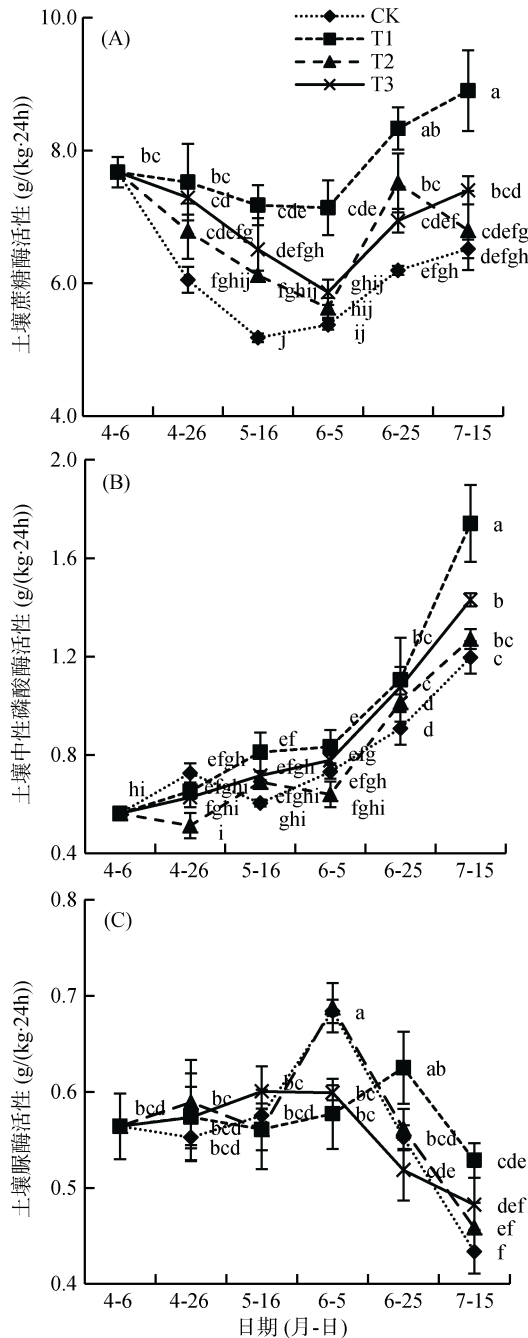
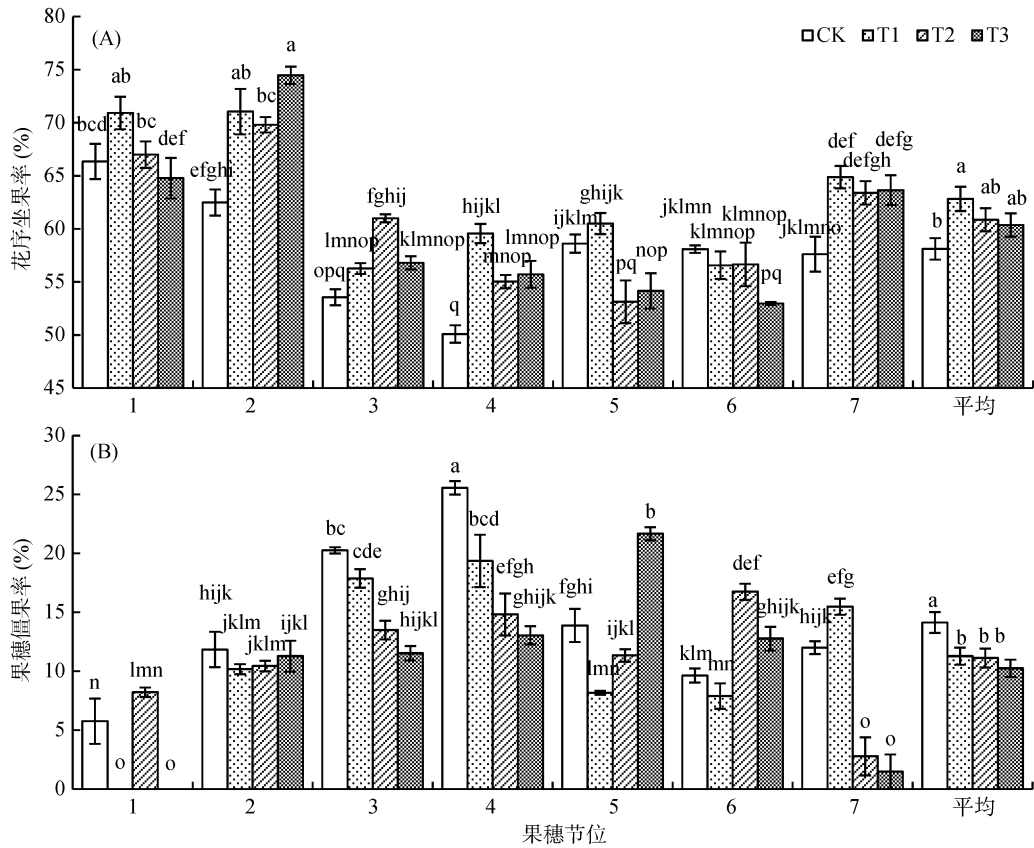


图 3 生物质炭施用量对土壤蔗糖酶(A)、中性磷酸酶(B)和脲酶(C)活性的影响

Fig. 3 Effects of biochar application amounts on activities of soil invertase(A), alkaline phosphatase(B) and urease(C)



(柱图上方小写字母为果穗第 1~7 同时进行多重比较的结果( $P < 0.05$ ), 平均值进行单独的多重比较( $P < 0.05$ ); 图 5 和图 6 与之相同)

图 4 生物质炭施用量对番茄花序坐果率和果穗僵果率的影响

Fig. 4 Effects of biochar application amounts on fruit setting rates and mummy fruit rates

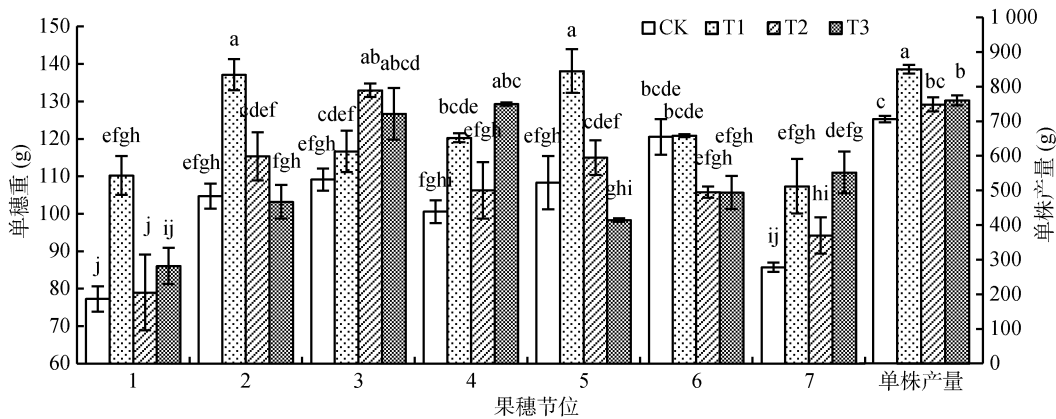


图 5 生物质炭施用量对单穗重和单株产量的影响

Fig. 5 Effects of biochar application amounts on yields of per cluster and per plant

株增产最少;而 T1 处理有 5 穗高于 CK, 因此单株增产最多(图 5)。T1 处理的第 1、2、4、5、7 节位单穗重显著高于 CK, 分别增产 32.96、32.45、19.71、29.78 和 21.63 g, 第 3、4 节位与 CK 无显著差异, 其节位较低的果穗增重幅度较大;T2 处理的第 3 节位单穗重显著高于 CK 23.82 g 而其第 6 节位显著低于 CK 14.76 g, 其余节位与 CK 差异不显著;T3 的第 3、4、7 节位显著高于 CK, 分别高 17.56、28.74 和 25.32 g, 第

6 节位显著低于 CK 14.87 g, 其余节位单穗重与 CK 差异不显著, 其节位较高的果穗增重幅度较大。

**2.4.2 对品质的影响** 试验发现, 施用生物质炭会对番茄果实可溶性固形物含量产生一定影响。由图 6 可见, T3 处理会导致番茄可溶性固形物含量降低。T1 处理第 1、2 穗果实可溶性固形物显著低于 CK, 其余果穗与 CK 差异不显著;T2 处理的第 2 穗果实可溶性固形物显著低于 CK, 而其第 4、5、6 穗显著高

于 CK ,其余果穗与 CK 差异不显著 ;T3 处理的第 1、2、3、4、5、6 穗果的可溶性固形物含量均显著低于 CK ,但其第 7 穗果显著高于 CK。

通过对表 1 中指标的分析发现 ,施用生物质炭不会提升番茄的营养品质 ,但各生物质炭处理的糖酸比

均显著低于 CK。T1 处理的可溶性糖含量和糖酸比显著低于 CK ,其余品质指标无显著差异 ;T2 处理的可滴定酸含量显著高于 CK ,糖酸比显著低于 CK ,其余指标无显著差异 ;T3 处理的可溶性糖、抗坏血酸和糖酸比均显著低于 CK ,其余指标无显著差异。

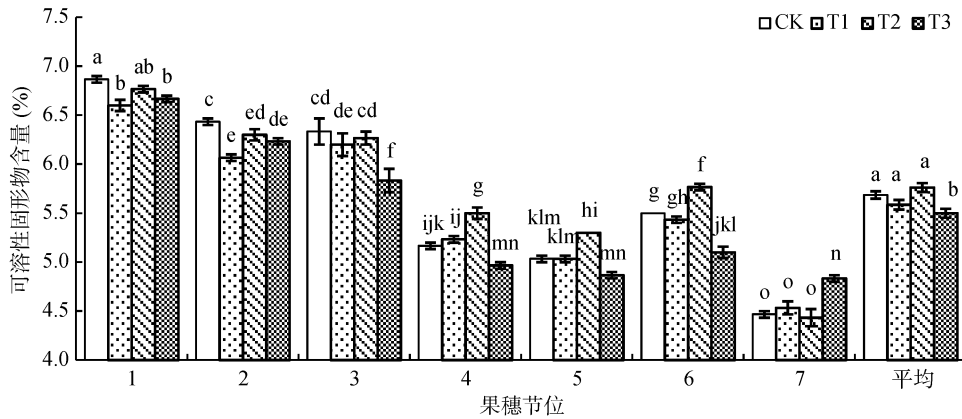


图 6 生物质炭施用量对不同节位果穗可溶性固形物含量的影响  
Fig. 6 Effects of biochar application amounts on contents of soluble solids in clusters at different nodes

表 1 生物质炭施用量对番茄果实品质的影响  
Table 1 Effects of biochar application amounts on nutrient qualities of tomato fruits

处理	番茄红素(mg/100g)	可溶性糖(mg/g)	可溶性蛋白(mg/100g)	抗坏血酸(mg/100g)	可滴定酸(%)	糖酸比(%)
CK	47.92 ± 3.86 ab	41.02 ± 1.24 a	40.07 ± 0.13 ab	16.03 ± 0.27 a	0.360 ± 0.002 b	11.39 ± 0.30 a
T1	48.06 ± 0.30 ab	38.44 ± 0.07 bc	43.26 ± 1.18 a	16.08 ± 0.18 a	0.374 ± 0.002 ab	10.26 ± 0.03 b
T2	54.93 ± 1.43 a	40.47 ± 0.71 ab	36.28 ± 0.91 b	16.39 ± 0.18 a	0.383 ± 0.005 a	10.57 ± 0.07 b
T3	42.29 ± 1.98 b	37.74 ± 0.06 c	41.49 ± 2.78 ab	15.02 ± 0.15 b	0.379 ± 0.01 ab	9.98 ± 0.24 b

注：表中同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异达  $P < 0.05$  显著水平。

### 3 讨论

#### 3.1 生物质炭施用量对土壤性状的影响

土壤有机质是土壤固相的重要组成部分<sup>[19]</sup>。有机质能通过矿化释放出水、二氧化碳以及各种矿物质营养,也能通过腐殖化过程转变为较为稳定的腐殖质保存在土壤中,并最终被微生物分解矿化<sup>[20]</sup>。本研究中,虽然施入生物质炭提高前期土壤有机碳含量,但到后期都降低至未施用前水平。这可能是因为苏州地区在 6 月 15 日进入梅雨季节,降雨量大,土壤湿润,微生物活动增强导致土壤酶活性增强,加快了有机质和腐殖质的矿化导致的。有机质的矿化为作物带来一定的矿物营养,这也可能是中后期果穗僵果率降低、后期花序坐果率增高以及可溶性固形物含量下降变缓的原因。土壤有机质主要来源于植物、动物和微生物残体,因此,在没有补给有机质,而土壤本身的有机质又被逐渐消耗<sup>[21]</sup>的情况下,土壤有机质含量会逐渐降低。本试验进行过程中,仅在定植前施入了

有机肥和生物质炭,番茄生长期间没有施入任何肥料,而 T1 和 T2 处理的土壤有机质在 6 月 5 日至 6 月 25 日期间有较大幅度的提升,该原因还有待进一步研究。

生物质炭中含有多种矿质营养,施入土壤后,在一定程度上会释放这些营养元素<sup>[22]</sup>。本研究中,施入生物质炭后土壤有机碳、碱解氮和速效钾含量在前期都随着施用量的增加而增加,但随着时间的延长,速效钾含量持续下降,并且在相同时期各处理与 CK 间的差异均不显著。这可能是因为番茄对钾的需求量较大<sup>[23]</sup>,生物质炭虽然含有大量速效钾,但是依然不能满足番茄生长的需求,在钾没有得到补充的情况下,速效钾含量持续下降。本试验中,各处理速效钾含量升高的同时 CK 的土壤速效钾也升高了,其中的原因还有待研究。

土壤酶是土壤的组成成分之一,主要来自植物根系分泌物、土壤中的有机残体和土壤中微生物生命活动。土壤酶能促进土壤营养物质的循环,其高低反映

土壤养分转化能力的强弱<sup>[24-26]</sup>。土壤酶中的蔗糖酶活性与土壤有机质、氮、磷含量及微生物数量有关<sup>[27-29]</sup>，一般情况下，土壤肥力越高，蔗糖酶活性越高<sup>[30]</sup>。本研究中，不同用量的生物质炭均能显著提高土壤蔗糖酶活性，而 T1 处理的酶活性始终保持最高，且在番茄生长后期，T1 处理的脲酶活性和中性磷酸酶活性也得到显著提高，因此 T1 处理的养分转化能力较强，进而有较多节位果穗的单穗重高于同节位 CK，使其单株产量超过了 T2 和 T3 处理。

### 3.2 生物质炭施用量对番茄产量和品质的影响

多项研究表明，生物质炭能提高作物的产量和品质<sup>[31-32]</sup>，但也有研究认为，生物质炭会降低品质。吴鹏豹等<sup>[33]</sup>的研究发现，0.5% 的生物质炭添加量会降低王草的营养品质。本研究发现，施用生物质炭后各处理单株产量均高于 CK，以 T1 处理(200 kg/667m<sup>2</sup>)单株产量最高，其节位较低的果穗增产幅度较大。但生物质炭并没有提高番茄果实的品质，各生物质炭处理的果实糖酸比均低于 CK，且 T3 处理不同节位果穗的可溶性固形物含量显著低于 CK。

本试验中，生物质炭市场价格为 2 000 元/t，按 T1、T2 和 T3 处理的施用量，每亩因施入生物质炭而分别使成本增加 400、800 和 1 200 元。本研究中，各处理及 CK 的折合单位面积产量：CK 为 4 282.49 kg/667m<sup>2</sup>，T1 处理为 5 157.99 kg/667m<sup>2</sup>，T2 处理为 4 539.05 kg/667m<sup>2</sup>，T3 处理为 4 610.31 kg/667m<sup>2</sup>，T1、T2 和 T3 处理分别较 CK 增产 875.5、257.01、327.82 kg/667m<sup>2</sup>。2015 年 7 月樱桃番茄的平均价格约为 3 元/kg，在不计其他成本的情况下，仅施用生物质炭，使 T1 处理增收 2 226.5 元/667m<sup>2</sup>，T2 处理亏损 28.97 元/667m<sup>2</sup>，T3 处理亏损 216.54 元/667m<sup>2</sup>。

本试验证明生物质炭可以改善土壤性状，提高番茄产量，生物质炭应用于蔬菜生产效果明显。不仅如此，我国的农业废弃物有效回收利用率较低<sup>[34]</sup>，而将这些废弃物制作成生物质炭，不仅能推进资源的综合利用，而且能带来更高的经济效益<sup>[35]</sup>。

## 4 结论

随着生物质炭施用量的增加，土壤有机碳含量得到相应的提高，以施用量大的处理有机碳含量较高，但随着时间的延长，各处理均有下降趋势；土壤碱解氮含量在番茄生长前期以施用量高的处理含量较高，后期以施用量低的治疗含量较高；各处理的土壤有效磷含量在前期与 CK 差异不显著，中后期以中等施用量的处理含量较高；土壤速效钾含量前期以施用量高

的处理含量较高，中后期各处理与 CK 间差异不显著，且含量都持续下降；在番茄生长前期，施用量低的治疗土壤蔗糖酶活性最高，而各处理的土壤脲酶和土壤中性磷酸酶活性与 CK 的差异不显著；到生长后期，施用量低的治疗蔗糖酶活性依然保持最高，且该治疗的土壤脲酶活性、中性磷酸酶活性也逐渐高于 CK 及其他处理。生物质炭可提高番茄单株坐果率，降低单株僵果率，以施用量低的治疗单株坐果率较高，施用量高的治疗单株僵果率最低；各生物质炭处理均能提高番茄的单株产量，以施用量低的治疗单株产量最高，但在提高番茄品质方面效果不明显，添加生物质炭使果实糖酸比降低。根据本试验结果，塑料大棚春夏栽培番茄，建议施用 200 kg/667m<sup>2</sup> 生物质炭。

### 参考文献：

- [1] 李式军, 郭世荣. 设施园艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 1-1
- [2] 黄绍文, 王玉军, 金继运, 等. 我国主要菜区土壤盐分、酸碱性和肥力状况[J]. 植物营养与肥料学报, 2011(4): 906-918
- [3] 张桃林, 李忠佩, 王兴祥. 高度集约农业利用导致的土壤退化及其生态环境效应[J]. 土壤学报, 2006, 43(5): 843-850
- [4] Sohi S, Lopez-Capel E, Krull E, et al. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research[J]. CSIRO Land and Water Science Report, 2009, 5(09): 17-31
- [5] Hamer U, Marschner B, Brodowski S, et al. Interactive priming of black carbon and glucose mineralization[J]. Organic Geochemistry, 2004, 35(7): 823-830
- [6] Ojeda G, Mattana S, Ávila A, et al. Are soil-water functions affected by biochar application?[J]. Geoderma, 2015, s 249-250: 1-11
- [7] Ying Y, Bin G, Ming Z, et al. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil[J]. Chemosphere, 2012, 89(11): 1467-1471
- [8] Kim H S, Kim K R, Yong S O, et al. Examination of Three Different Organic Waste Biochars as Soil Amendment for Metal-Contaminated Agricultural Soils[J]. Water Air & Soil Pollution, 2015, 226(9): 1-11
- [9] Martinsen V, Alling V, Nurida N L, et al. pH effects of the addition of three biochars to acidic Indonesian mineral soils.[J]. Soil Science & Plant Nutrition, 2015, 61(5): 1-14
- [10] Akhtar S S, Andersen M N, Liu F. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress[J]. Agricultural Water Management, 2015, 158: 61-68
- [11] Agegnehu G, Bass A M, Nelson P N, et al. Biochar and biochar-compost as soil amendments: Effects on peanut

- yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2015, 213: 72–85
- [12] 陈利军, 孙波, 金辰, 等. 等碳投入的有机肥和生物炭对红壤微生物多样性和土壤呼吸的影响[J]. *土壤*, 2015(2): 340–348
- [13] Kookana R S, Sarmah A K, Zwieter L V, et al. Chapter three - Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences[J]. *Advances in Agronomy*, 2011, 112:103–143
- [14] Lehmann J, Silva J P D, 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 & Soil*, 2003, 249(2): 343–357
- [15] Yamato M, Okimori Y, Wibowo I F, et al. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia[J]. *Soil Science & Plant Nutrition*, 2006, 52(4): 489–495
- [16] Steiner C, Teixeira W G, Lehmann J, et al. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil[J]. *Plant & Soil*, 2007, 291(1/2): 275–290
- [17] 徐鹤林, 李景富. 中国番茄[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 1–10
- [18] 朱志泉, 朱有为, 史舟. 农业土壤环境与农产品安全研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 43–45
- [19] 祖康祺. 土壤[M]. 北京: 科学普及出版社, 1986: 29–31
- [20] 谢德体. 土壤学南方本[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014: 44–46
- [21] 汪红霞. 有机肥施用对土壤有机质变化及其组分影响的研究[D]. 河北: 河北农业大学, 2014
- [22] 张伟明. 生物炭的理化性质及其在作物生产上的应用[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012
- [23] 朱娜. 番茄测土配方施肥技术探讨[D]. 江苏: 扬州大学, 2014
- [24] Dick R P, Rasmussen P E, Kerle E A. Influence of long-term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system[J]. *Biology & Fertility of Soils*, 1988, 6(2): 159–164
- [25] Kiss S, Gan-Bularda M, Rădulescu D. Biological Significance of Enzymes Accumulated in Soil[J]. *Advances in Agronomy*, 1975, 27: 25–87
- [26] 刘善江, 夏雪, 陈桂梅, 等. 土壤酶的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(21): 1–7
- [27] 田小明, 李俊华, 危常州, 等. 不同生物有机肥用量对土壤活性有机质和酶活性的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2012(1): 26–32
- [28] 袁玲, 杨邦俊, 郑兰君, 等. 长期施肥对土壤酶活性和氮磷养分的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 1997, 3(4): 300–306
- [29] 申龙. 鸡粪和四环素对土壤酶活性及微生物数量的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013
- [30] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 239–240
- [31] 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(6): 1438–1444
- [32] 刘园, M. Jamal Khan, 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(4): 849–858
- [33] 吴鹏豹, 解钰, 漆智平, 等. 生物炭对王草产量及营养品质的影响[J]. *草业科学*, 2012, 29(9): 1428–1434
- [34] 任萍, 王惠松, 屠娟丽. 秸秆还田沃土实用技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014: 53–54
- [35] 李九玉, 赵安珍, 袁金华, 等. 农业废弃物制备的生物质炭对红壤酸度和油菜产量的影响[J]. *土壤*, 2015(2): 334–339



## Effects of Biochar Application Amount on Soil Characteristics, Yield and Fruit Properties of Tomato

SHEN Meng<sup>1</sup>, JIANG Fangling<sup>1</sup>, WANG Shan<sup>2,3</sup>, TANG Jing<sup>2,3</sup>, WU Zhen<sup>1,2\*</sup>

(1 *College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*; 2 *Vegetable Institute of Kunshan, Nanjing Agricultural University, Suzhou, Jiangsu 215300, China*; 3 *Agricultural Products Industrial Co., Ltd. of Kunshan, Suzhou, Jiangsu 215300, China*)

**Abstract:** Taking yellow-brown soil in a plastic multispan greenhouse in south of China and cherry tomato as the experimental materials, this paper studied the effects of biochar application amount on soil organic carbon, soil available nutrients, enzyme activities, tomato yield and quality for the rational use of biochar in vegetable production. The designed treatments included 200 kg/667m<sup>2</sup> (T1), 400 kg/667m<sup>2</sup> (T2), 600 kg/667m<sup>2</sup> (T3) and CK(non-biochar). The results showed that biochar application could improve the contents of soil organic carbon, soil alkaline hydrolysis nitrogen, rapid available phosphorus and rapidly available potassium. Biochar application could also improve soil invertase activity and soil urease activity and soil neutral phosphatase activity, and the soil invertase activity of T1 was always the highest, the latter two enzymatic activity of T1 increased at later stage, and become the highest. Fruit setting rate raise and mummy fruit rate decline after biochar application. Meanwhile, the yield of tomato fruit was increased significantly, T1 was the optimal, the yield is 5157.99 kg/667m<sup>2</sup>. But biochar could not raise nutritional quality, the sugar acid ratio was decline. In conclusion, biochar can enhance soil properties, such as soil organic carbon, soil nutrient and some soil enzymatic activities, then fruit setting rate raise and mummy fruit rate decline, at last increase production, the optimal amount of biochar is 200 kg/667m<sup>2</sup>.

**Key words:** Biochar; Soil properties; Yield and quality; Cherry tomato