

# 生物炭对黄瓜根际土壤养分和酶活性的影响

张清梅, 刘金泉, 李明, 胡云, 李发虎, 赵恒栋

(内蒙古农业大学 职业技术学院, 内蒙古 包头 014109)

**摘要:**以黄瓜根际土壤为试材,以土壤添加不同梯度量(5、10、20、40、60 t·hm<sup>-2</sup>)生物炭为处理,以温室土壤不添加生物炭为对照(CK),研究不同梯度量生物炭对黄瓜结果前期、盛期和后期 20~40 cm 土壤碱解氮、速效磷、速效钾、有机碳、全氮含量以及脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶(CAT)活性的影响。结果表明:黄瓜土壤经一定量生物炭处理后,在结果前期、盛期和后期可不同程度提高黄瓜根际 20~40 cm 土壤养分含量和酶活性,并且在结果盛期作用最为显著;20 t·hm<sup>-2</sup>生物炭量处理优于其它处理,与对照相比,在结果前期、盛期和后期,均显著提高黄瓜 20~40 cm 根际土壤碱解氮、速效磷、速效钾、有机碳、全氮含量以及脲酶、蔗糖酶活性。总体而言,施用生物炭能改变黄瓜根际土壤速效养分含量及酶活性,为生物炭在黄瓜生产应用提供指导依据。

**关键词:**生物炭;根际土壤;养分;酶活性;黄瓜

**中图分类号:**S 642.206<sup>+</sup>.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)19-0131-06

生物炭是植物或动物等的生物质在高温和缺氧条件下碳化而成的物质,可改善土壤的质量并可封存碳量,有助于减缓全球的气候变暖,为我国秸秆资源的高效利用提供了新途径,是低碳农业发展的方向<sup>[1]</sup>。生物炭具有较大表面积和丰富的官能团,可吸附养分离子并有效提高土壤肥力<sup>[2]</sup>,并且,生物炭施入土壤后可在一定程度上改变微生物群落组成,从而对由微生物驱动的营养元素循环转化产生影响,最终改变土壤的质量和功能力<sup>[3]</sup>。研究表明,施加生物炭可有效降低土壤容重,改善土壤孔隙度,增加土壤持水量,提高土壤的总有机碳含量、有机质含量、有效氮磷钾含量,并对可交换态钙、镁、钾、钠和有效磷均有所升

高<sup>[2]</sup>,生物炭可通过改变土壤物理、化学和生物特性而最终提高小麦、玉米、番茄等作物产量<sup>[3]</sup>。

TAGHIZADEH 等<sup>[4]</sup>研究发现,生物炭可以通过吸附 NH<sub>3</sub>,降低 N 素损失,提高 N 素利用率。DELUCA 等<sup>[5]</sup>认为生物炭施入土壤后,可以通过减少铁和铝交换量而增加 P 素活性,并可通过提高 pH 提高 P 素有效性。UZOMA 等<sup>[6]</sup>认为,生物炭可显著增加玉米吸钾量,生物炭用量在 15 t·hm<sup>-2</sup>时,吸钾量最大。生物炭处理后,黄瓜根际土壤养分含量会有不同程度提高,土壤微生物数量和种类差别不断加大,最终使得促进养分转化和循环的动力增加,从而提高根系活力,促进根系生长<sup>[7-9]</sup>。

目前关于生物炭影响大田作物微养分含量、酶活性等环境因子变化规律的研究较多,但其影响设施作物生长相关环境因子及其机制的研究却鲜见报道。该研究针对设施土壤质量退化现状,通过添加不同量的秸秆生物炭,研究黄瓜根际土壤养分和酶活性变化规律及机制,为生物炭改善设施土壤质量和优化黄瓜根际环境提供参考依据。

**第一作者简介:**张清梅(1978-),女,硕士,讲师,现主要从事园艺作物设施栽培和生理等研究工作。E-mail: zqm2002@163.com.

**责任作者:**刘金泉(1971-),男,硕士,副教授,硕士生导师,现主要从事设施蔬菜高效施肥调控等研究工作。E-mail: liujinquanzyl9971@sohu.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31660602)。

**收稿日期:**2017-06-05

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试黄瓜品种为“津春改良2号”。生物炭购于辽宁金和福农业开发有限公司,为当年玉米秸秆400℃缺氧条件下燃烧8h制成。

### 1.2 试验方法

试验于2015年和2016年3—7月在内蒙古农业大学职业技术学院科技园区设施园艺园林实践教学基地日光温室进行。土壤容重 $1.26\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,电导率 $101.15\text{ }\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。试验日光温室南北跨度为7m,东西长度为50m。采用田间试验法,在黄瓜种植前,分别在土壤表层0~30cm均匀施入5、10、20、40、60 $\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 生物炭,编号为 $\text{C}_5$ 、 $\text{C}_{10}$ 、 $\text{C}_{20}$ 、 $\text{C}_{40}$ 和 $\text{C}_{60}$ ,以温室土壤不添加生物炭为对照(CK)。4月10日定植幼苗,定植密度 $42\,000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,每个处理的小区面积 $14\text{ m}^2$ ,重复3次,各处理生长期水肥等管理措施一致。在黄瓜结果前期(5月20日)、盛期(6月15日)和后期(7月15日),用抖落法取黄瓜根际20~40cm土壤,测定土壤各项指标。

### 1.3 项目测定

土壤有机碳含量采用重铬酸钾外加热法测定,全碳含量采用半微量凯氏定氮法测定,碱解氮含量采用碱解-扩散法测定,速效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾含量采用乙酸铵浸提-火焰光度计法测定,碳氮比由有机碳和全氮含量比值得出,土壤过氧化氢酶活性采用高

锰酸钾滴定法测定,脲酶活性采用奈氏比色法测定,蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定。

### 1.4 数据分析

试验数据采用Excel 2003软件整理,采用SPSS 19.0统计软件进行数理统计,在符合正态分布情况下进行单因素方差分析、差异显著性检验和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物炭对黄瓜结果前期、盛期和后期根际土壤养分的影响

从表1可知,在结果前期,对于碱解氮含量,与对照相比, $\text{C}_5$ 、 $\text{C}_{10}$ 、 $\text{C}_{60}$ 处理差异不显著, $\text{C}_{20}$ 和 $\text{C}_{40}$ 处理极显著高出98.74%和64.29%;对于速效磷含量,与对照相比, $\text{C}_5$ 、 $\text{C}_{10}$ 处理差异不显著而 $\text{C}_{20}$ 、 $\text{C}_{40}$ 、 $\text{C}_{60}$ 处理均极显著提高了133.16%、109.29%、91.49%;对于速效钾含量,与对照相比, $\text{C}_{40}$ 差异不显著, $\text{C}_{60}$ 处理显著降低, $\text{C}_5$ 、 $\text{C}_{10}$ 、 $\text{C}_{20}$ 处理极显著提高了57.52%、65.41%、86.52%。对于有机碳含量, $\text{C}_{20}$ 处理极显著高出对照62.57%,其它处理均与对照差异不显著;对于全氮含量, $\text{C}_{20}$ 处理极显著高出对照79.55%,其它处理均显著低于对照或与对照差异不显著;对于碳氮比, $\text{C}_5$ 和 $\text{C}_{10}$ 处理分别显著高出对照48.09%和45.69%,而其它处理与对照差异不显著。

表1 不同处理对黄瓜结果前期土壤养分含量的影响

Table 1 Effects of different treatments on soil nutrient content in early fruiting period of cucumber

处理 Treatment	碱解氮 Available N /( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	速效磷 Available P /( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	速效钾 Available K /( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	有机碳 Organic carbon /( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	全氮 Total nitrogen /( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	碳氮比 C/N
CK	23.02±2.64cC	20.57±2.71dC	41.69±2.93cdC	7.16±0.95bB	0.44±0.05bB	16.72±2.95bA
$\text{C}_5$	22.95±3.39cC	22.17±3.02cdC	65.67±8.18bAB	5.95±1.40bB	0.26±0.06dC	24.75±6.27aA
$\text{C}_{10}$	25.48±2.01cC	27.23±2.71cC	68.96±5.57abA	7.43±1.07bB	0.32±0.05cdBC	24.36±6.21aA
$\text{C}_{20}$	45.75±5.41aA	47.96±5.22aA	77.76±7.73aA	11.64±1.13aA	0.79±0.05aA	16.81±3.33bA
$\text{C}_{40}$	37.82±3.40bB	43.05±4.06abAB	50.94±5.99cBC	7.01±0.81bB	0.41±0.06bcBC	17.65±2.87bA
$\text{C}_{60}$	21.19±2.04cC	39.39±2.48bB	38.67±7.81dC	6.95±0.97bB	0.42±0.05bcB	16.66±2.18bA

注:同列不同小写字母表示达到显著性差异( $P<0.05$ ),同列大写字母表示达到了极显著性差异( $P<0.01$ ),下同。

Note: The different lowercase letters of the same column indicated that the difference was significant ( $P<0.05$ ), and the capital letters in the same column indicated very significant difference ( $P<0.01$ ), the same below.

从表 2 可知,在结果盛期,对于碱解氮含量,与对照相比, $C_5$ 、 $C_{60}$  处理差异不显著, $C_{10}$ 、 $C_{20}$  处理极显著提高 30.59%和 89.49%, $C_{40}$  显著提高 17.56%;对于速效磷含量,与对照相比, $C_5$  处理差异不显著, $C_{10}$ 、 $C_{20}$ 、 $C_{40}$  和  $C_{60}$  处理分别极显著高出 29.16%、130.68%、73.16%和 58.32%;对于速效钾含量,与对照相比, $C_{60}$  处理差异不显著, $C_5$ 、 $C_{10}$ 、 $C_{20}$  和  $C_{40}$  处理分别极显著高出 49.49%、

153.85%、231.82%和 113.11%。对于有机碳含量, $C_{60}$  处理与对照差异不显著, $C_5$ 、 $C_{10}$ 、 $C_{20}$  和  $C_{40}$  处理分别极显著高出对照 24.31%、35.93%、103.20%和 123.57%;对于全氮含量, $C_{20}$  处理显著高出对照 43.33%, $C_{40}$  处理极显著高出对照 70.00%,其它处理均与对照差异不显著;对于碳氮比, $C_{20}$ 、 $C_{40}$  处理分别显著高出对照 42.17%、32.73%,而其它处理均与对照差异不显著。

表 2

不同处理对黄瓜结果盛期土壤养分含量的影响

Table 2 Effects of different treatments on soil nutrient content in full fruiting period of cucumber

处理 Treatment	碱解氮 Available N /(mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available P /(mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K /(mg · kg <sup>-1</sup> )	有机碳 Organic carbon /(g · kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total nitrogen /(g · kg <sup>-1</sup> )	碳氮比 C/N
CK	17.03±1.82dC	9.91±1.66dD	34.41±3.51eE	4.37±0.46dC	0.30±0.05cB	14.82±2.96bAB
$C_5$	19.50±1.85bcdBC	11.00±1.20cdCD	51.44±5.25dD	5.88±0.19cB	0.42±0.07abcAB	14.22±2.08bB
$C_{10}$	22.24±2.52bB	12.80±0.52cC	87.35±5.93bB	5.94±0.25cB	0.41±0.05abcAB	14.86±2.04bAB
$C_{20}$	32.27±1.96aA	22.86±1.13aA	114.18±7.81aA	8.88±0.51bA	0.43±0.07abAB	21.07±3.36aA
$C_{40}$	20.02±1.64bcBC	17.16±2.06bB	73.33±4.06cC	9.77±0.31aA	0.51±0.09aA	19.67±2.81aAB
$C_{60}$	17.81±2.55cdC	15.69±1.77bB	39.62±5.78eE	4.83±0.62dBC	0.35±0.06bcAB	14.44±4.10bAB

从表 3 可知,在结果后期,对于碱解氮含量,与对照相比, $C_5$ 、 $C_{60}$  处理差异不显著, $C_{10}$ 、 $C_{20}$  处理分别极显著高出 155.17%和 57.63%, $C_{40}$  处理显著高出 37.38%;对于速效磷含量,与对照相比, $C_5$ 、 $C_{10}$  和  $C_{20}$  处理极显著高出 44.38%、151.18%和 46.45%, $C_{60}$  处理显著高出 29.29%, $C_{40}$  处理差异不显著;对于速效钾含量,与对照相比, $C_5$ 、 $C_{10}$ 、 $C_{20}$ 、 $C_{40}$  和  $C_{60}$  处理分别极显著高出 104.02%、204.26%、111.11%、91.37%和 84.20%;

对于有机碳含量, $C_{10}$  处理极显著高出对照 119.90%, $C_5$ 、 $C_{20}$ 、 $C_{60}$  处理分别极显著高于对照 97.30%、60.69%、88.45%, $C_{40}$  处理高出对照 30.22%;对于全氮含量, $C_5$ 、 $C_{10}$  处理分别极显著高出对照 67.86%、125.00%, $C_{20}$  处理显著高出对照 35.71%,而  $C_{40}$ 、 $C_{60}$  处理与对照差异不显著;对于碳氮比, $C_{40}$  处理显著高出对照 39.78%,其它处理均与对照差异不显著。

表 3

不同处理对黄瓜结果后期土壤养分含量的影响

Table 3 Effects of different treatments on soil nutrient content in later fruiting period of cucumber

处理 Treatment	碱解氮 Available N /(mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available P /(mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K /(mg · kg <sup>-1</sup> )	有机碳 Organic carbon /(g · kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total nitrogen /(g · kg <sup>-1</sup> )	碳氮比 C/N
CK	13.43±1.96deCD	6.76±1.02cC	28.61±5.02dC	4.07±0.65dD	0.28±0.04dC	14.78±3.43bcA
$C_5$	16.62±1.30cdBC	9.76±0.50bB	58.37±6.61bcB	8.03±0.89aAB	0.47±0.07bB	15.82±2.23abcA
$C_{10}$	34.27±4.15aA	16.98±2.20aA	87.05±3.22aA	8.95±0.89aA	0.63±0.07aA	13.69±0.97cA
$C_{20}$	21.17±1.83bB	9.90±1.33bB	60.40±3.14bB	6.54±0.77bcBC	0.38±0.04cBC	19.93±5.34abA
$C_{40}$	18.45±1.87bcBC	8.46±0.64bcBC	54.75±3.25bcB	5.30±0.72cdCD	0.27±0.03dC	20.66±2.14aA
$C_{60}$	11.18±1.53eD	8.74±0.82bBC	52.70±3.86cB	7.67±0.58abAB	0.36±0.03cdBC	19.74±3.89abA

## 2.2 生物炭对黄瓜根际土壤酶活性的影响

从表 4 可知,在结果前期,对于脲酶活性,与对照相比, $C_5$  处理极显著降低, $C_{10}$ 、 $C_{40}$ 、 $C_{60}$  处理差异不显著, $C_{20}$  处理极显著高出 59.65%;对于

蔗糖酶活性,与对照相比, $C_{40}$ 、 $C_{60}$  处理差异不显著, $C_5$ 、 $C_{10}$ 、 $C_{20}$  处理分别极显著高出 45.78%、50.10%、83.97%;对于过氧化氢酶活性,与对照相比, $C_{20}$ 、 $C_{60}$  处理差异不显著, $C_5$ 、 $C_{10}$  处理极显

著降低, C<sub>40</sub>处理显著降低。

从表5可知,在结果盛期,对于脲酶活性,与对照相比, C<sub>20</sub>处理极显著高出38.48%,而其它处理均差异不显著;对于蔗糖酶活性, C<sub>5</sub>、C<sub>10</sub>、C<sub>20</sub>处理分别极显著高出36.38%、30.27%、76.65%,

C<sub>40</sub>、C<sub>60</sub>处理显著高出24.82%、22.37%;对于过氧化氢酶活性,与对照相比, C<sub>5</sub>处理极显著高出17.14%, C<sub>60</sub>处理极显著降低,其它处理均差异不显著。

表4 不同处理对黄瓜结果前期土壤酶活性的影响

Table 4 Effects of different treatments on soil enzyme activity in early fruiting period of cucumber

处理 Treatment	脲酶 Urease/(NH <sub>3</sub> -N mg · g <sup>-1</sup> )	蔗糖酶 Invertase/(mg · g <sup>-1</sup> · (24h) <sup>-1</sup> )	过氧化氢酶 CAT/(0.1 mol · L <sup>-1</sup> KMnO <sub>4</sub> mL · g <sup>-1</sup> · (20min) <sup>-1</sup> )
CK	28.50±3.03bcBC	28.88±3.33cC	0.49±0.04aAB
C <sub>5</sub>	20.45±3.38dD	42.10±2.76bB	0.33±0.03dD
C <sub>10</sub>	25.13±2.95cCD	43.35±4.11bB	0.36±0.05cdCD
C <sub>20</sub>	45.50±2.57aA	53.13±5.14aA	0.55±0.08aA
C <sub>40</sub>	32.48±0.34bB	32.88±4.80cC	0.43±0.04bcBC
C <sub>60</sub>	29.18±2.66bcBC	31.33±2.93cC	0.49±0.03abAB

表5 不同处理对黄瓜结果盛期土壤酶活性的影响

Table 5 Effects of different treatments on soil enzyme activity in full fruiting period of cucumber

处理 Treatment	脲酶 Urease/(NH <sub>3</sub> -N mg · g <sup>-1</sup> )	蔗糖酶 Invertase/(mg · g <sup>-1</sup> · (24h) <sup>-1</sup> )	过氧化氢酶 CAT/(0.1 mol · L <sup>-1</sup> KMnO <sub>4</sub> mL · g <sup>-1</sup> · (20min) <sup>-1</sup> )
CK	30.33±2.22bB	25.70±2.77cC	0.35±0.03bcAB
C <sub>5</sub>	32.25±3.23bB	35.05±3.92bB	0.41±0.04aA
C <sub>10</sub>	36.05±4.06bAB	33.48±2.80bB	0.33±0.03bcBC
C <sub>20</sub>	42.00±3.97aA	45.40±2.97aA	0.37±0.03abAB
C <sub>40</sub>	35.53±4.79bAB	32.08±3.34bBC	0.31±0.05cdBC
C <sub>60</sub>	34.43±3.39bAB	31.45±2.45bBC	0.26±0.03dC

从表6可知,在结果后期,与对照相比, C<sub>40</sub>、C<sub>60</sub>处理脲酶活性差异不显著, C<sub>5</sub>、C<sub>10</sub>、C<sub>20</sub>处理分别极显著高出46.68%、39.46%、40.33%;对于蔗糖酶活性, C<sub>5</sub>、C<sub>10</sub>、C<sub>20</sub>、C<sub>40</sub>和 C<sub>60</sub>处理分别极显著高于对照58.39%、126.48%、108.95%、64.93%

和71.04%;对于过氧化氢酶活性, C<sub>5</sub>、C<sub>40</sub>处理与对照差异不显著, C<sub>60</sub>处理显著高出对照15.15%, C<sub>10</sub>、C<sub>20</sub>处理分别极显著高出对照39.39%、42.42%。

表6 不同处理对黄瓜结果后期土壤酶活性的影响

Table 6 Effects of different treatments on soil enzyme activity in later fruiting period of cucumber

处理 Treatment	脲酶 Urease/(NH <sub>3</sub> -N mg · g <sup>-1</sup> )	蔗糖酶 Invertase/(mg · g <sup>-1</sup> · (24h) <sup>-1</sup> )	过氧化氢酶 CAT/(0.1 mol · L <sup>-1</sup> KMnO <sub>4</sub> mL · g <sup>-1</sup> · (20min) <sup>-1</sup> )
CK	36.70±4.52bB	27.83±3.49cC	0.33±0.02cB
C <sub>5</sub>	53.83±5.17aA	44.08±4.48bB	0.36±0.03bcB
C <sub>10</sub>	51.18±6.64aA	63.03±4.70aA	0.46±0.05aA
C <sub>20</sub>	51.50±7.63aA	58.15±6.11aA	0.47±0.04aA
C <sub>40</sub>	37.50±4.46bB	45.90±4.80bB	0.36±0.04bcB
C <sub>60</sub>	34.43±3.84bB	47.60±2.87bB	0.38±0.02bB

### 2.3 生物炭处理下黄瓜根际土壤养分和酶活性间相关性分析

从表7可知,土壤碱解氮含量与速效磷含量、

速效钾含量、过氧化氢酶活性间均显著正相关,与有机碳含量、全氮含量间均极显著相关;速效磷含量与有机碳含量、全氮含量、过氧化氢酶活性间均

显著正相关;速效钾含量与有机碳含量、蔗糖酶活性间显著正相关;有机碳含量与全氮含量间极显著正相关,与蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性间显著

正相关;全氮含量与脲酶活性、过氧化氢酶活性间显著正相关;脲酶活性与蔗糖酶活性间极显著正相关。

表 7

土壤养分含量和酶活性间相关性分析

Table 7

Correlations between soil nutrient content and enzyme activity

指标 Index	碱解氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	有机碳 Organic carbon	全氮 Total nitrogen	碳氮比 C/N	脲酶 Urease	蔗糖酶 Invertase	过氧化氢酶 CAT
碱解氮 Available N	1.000								
速效磷 Available P	0.785 *	1.000							
速效钾 Available K	0.542 *	0.167	1.000						
有机碳 Organic carbon	0.650 * *	0.530 *	0.628 *	1.000					
全氮 Total nitrogen	0.689 * *	0.496 *	0.445	0.846 * *	1.000				
碳氮比 C/N	0.046	0.148	0.302	0.135	-0.328	1.000			
脲酶 Urease	0.211	-0.172	0.349	0.400	0.538 *	-0.345	1.000		
蔗糖酶 Invertase	0.393	0.035	0.557 *	0.520 *	0.432	0.259	0.628 * *	1.000	
过氧化氢酶 CAT	0.568 *	0.558 *	0.056	0.502 *	0.611 *	-0.112	0.264	0.404	1.000

### 3 讨论与结论

在设施蔬菜生产中,随着年限增加,往往出现土壤质量劣变,导致土壤肥力下降,蔬菜品质降低,且多集中在 20 cm 耕层土壤<sup>[10]</sup>。而生物炭由于孔隙度发达并具吸附性,可在空隙结构里吸附存储养分,当根系需肥旺盛时,孔隙部分释放养分供给作物生长,可以有效提高土壤中氮、磷、钾养分的吸收,从而利于根系生长及微生物繁殖,显著提高土壤酶的活性<sup>[11]</sup>。并且,生物炭自身的速效钾含量较高,可部分满足作物对钾肥的需求,提高肥料利用率<sup>[12]</sup>。该试验中,不同处理在结果期均在一定程度提高了根际土壤中氮、磷、钾含量,特别是极大提高了 20~40 cm 土壤速效钾含量,极大补充了土壤中钾元素不足的短板,提高了土壤质量。

土壤酶活性与土壤肥力因子间存在显著相关性,是评价土壤肥力、生物学活性和生产力的重要指标,酶活性越高则说明土壤生产性状越好,土壤轻微的环境改变会使土壤中酶活性发生变化,因此土壤酶能更早地反映出土壤的质量和健康状况<sup>[7,11]</sup>。徐福利等<sup>[13]</sup>研究施肥对日光温室土壤壤酶活性表明,施肥可提高土壤脲酶、蔗糖酶活性,但对过氧化氢酶活性影响较小。该试验中,经过适量生物炭处理,可在不同程度上提高 20~40 cm 土层上述 3 种酶活性,尤其是脲酶和蔗糖酶活性,但过氧化氢酶活性提高程度弱,与徐福利

等<sup>[13]</sup>研究结果一致,对于过氧化氢酶活性影响较弱可能与试验为非逆境条件有关。

该试验中,生物炭处理下可提高土壤养分含量及脲酶活性、蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性,并且土壤碱解氮含量、速效磷含量均与过氧化氢酶活性呈显著正相关,速效钾含量与蔗糖酶活性间显著正相关,有机碳含量与蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性间均显著正相关;全氮含量与脲酶活性、过氧化氢酶活性间均显著正相关。这与邹春娇等<sup>[7]</sup>和勾芒芒等<sup>[9]</sup>的试验结果一致。而杨敏芳等<sup>[14]</sup>研究秸秆还田对土壤养分及酶活性影响发现,土壤过氧化氢酶、蔗糖酶与速效养分相关性显著,而脲酶与速效养分相关性不显著,该试验的结果也与此一致,说明秸秆生物炭在一些方面保留了秸秆的一些性质。试验中不同处理土壤养分含量存在差异,可能与各处理的生物炭量、土壤温度、含水量差异有关,一方面,导致各处理有机酸含量不同,从而使有机酸溶解、螯合和吸附等活化土壤中难溶态养分的程度不同,产生速效氮、磷、钾含量也不同<sup>[15]</sup>;另一方面,导致各处理间酶活性变化差距加大,最终使得养分转化和循环在时间和空间上存在差异而不同。

设施黄瓜土壤经一定量的生物炭处理后,总体上来看在黄瓜的结果前期、盛期和后期可提高 20~40 cm 根际土壤有机碳、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾含量、脲酶和蔗糖酶活性,并且土壤中养分含量与脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性之间

存在显著相关性。综合分析认为  $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  的生物炭量处理优于其它处理,与对照相比,在结果前期和盛期,显著或极显著地提高  $20 \sim 40 \text{ cm}$  土壤碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量、有机碳含量、全氮含量和脲酶活性、蔗糖酶活性,在结果后期,显著或极显著提高根际速效磷含量、速效钾含量和脲酶活性、蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性。

### 参考文献

- [1] 许允定,侯平,黄勇,等. 炭基肥料在低碳农业种植中的技术应用[J]. 北方园艺,2016(1):192-195.
- [2] 翁福军,卢树昌. 生物炭在农业领域应用的研究进展与前景[J]. 北方园艺,2015(8):199-203.
- [3] 王欣,尹带霞,张凤,等. 生物炭对土壤肥力与环境质量的影响机制与风险解析[J]. 农业工程学报,2015,31(4):248-257.
- [4] TAGHIZADEH T A, CLOUGH T J, SHERLOCK R R, et al. Biochar adsorbed ammonia is bioavailable[J]. Plant and Soil, 2012, 350(1):57-69.
- [5] DELUCA T H, MAC K M D, GUNDALE M J. Biochar effects on soil nutrient transformations[M]//Biochar for environmental management: Science and technology. London, UK: Earthscan, 2009:251-270.
- [6] UZOMA K C, INOUE M, ANDRY H, et al. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition[J]. Soil Use and Management, 2011, 27(2):205-212.
- [7] 邹春娇,张勇勇,张一鸣,等. 生物炭对设施连作黄瓜根域基质酶活性和微生物的调节[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1772-1778.
- [8] 勾芒芒,屈忠义,杨晓,等. 生物炭对砂壤土节水保肥及番茄产量的影响研究[J]. 农业机械学报,2014,45(1):137-142.
- [9] 勾芒芒,屈忠义. 土壤中施用生物炭对番茄根系特征及产量的影响[J]. 生态环境学报,2013,22(8):1348-1352.
- [10] 郭文龙,党菊香,郭俊伟,等. 不同利用年限蔬菜温室土壤性质垂直变化研究[J]. 水土保持研究,2009,16(2):262-268.
- [11] 冯爱青,张民,李成亮,等. 控释氮肥对土壤酶活性与土壤养分利用的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(3):177-184.
- [12] 杜衍红,蒋恩臣,王明峰,等. 炭-肥互作对芥菜生长和肥料利用率的影响[J]. 农业机械学报,2016,47(4):59-64.
- [13] 徐福利,梁银丽,张成娥,等. 日光温室土壤生物学特性与施肥的关系[J]. 水土保持研究,2004,11(1):20-22,30.
- [14] 杨敏芳,朱利群,韩新忠,等. 耕作措施与秸秆还田对稻麦两熟制农田土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(2):272-281.
- [15] 李明,崔世茂,王怀栋. 不同地表覆盖对温室黄瓜根际土壤微生物和养分变化的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(1):173-177.

## Effect of Biological Carbon on Soil Nutrient and Enzyme Activity of Facility Cucumber

ZHANG Qingmei, LIU Jinqun, LI Ming, HU Yun, LI Fahu, ZHAO Hengdong

(Vocational Technical College, Inner Mongolia Agricultural University, Baotou, Inner Mongolia 014109)

**Abstract:** Using rhizosphere soil of cucumber as test material, the soils were treated with  $5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  and  $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  biochar. Effects of cucumber on the contents of available N, available P, available K, organic carbon, total nitrogen, urease, invertase and CAT activity in  $20 \sim 40 \text{ cm}$  soil in early, full and later stages of cucumber. The results showed that the soil nutrient content and enzyme activity of cucumber  $20 \sim 40 \text{ cm}$  could be increased in the early, full and later stages of the cucumber soil with the same amount of biochar treatment, and the effect was the most significant at  $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ . The results showed that the contents of available N, available P, available K, organic carbon, and total nitrogen in  $20 \sim 40 \text{ cm}$  soil layer were significantly higher than those in control group urease, invertase, CAT activity. In general, the application of bio-carbon could change the soil nutrient content and enzyme activity in the rhizosphere soil of cucumber, and provide scientific basis and theoretical guidance for the application of biochar in cucumber production and application.

**Keywords:** biological carbon; rhizosphere soil; nutrient; enzyme activity; cucumber