

# 生物炭在新疆棉田的应用效果研究

王荣梅<sup>1,2</sup>, 杨放<sup>1</sup>, 许亮<sup>2</sup>, 刘忠堂<sup>3</sup>, 张晓琴<sup>2</sup>, 王海孝<sup>3</sup>, 李心清<sup>1,\*</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 喀什地区气象局, 新疆 喀什 844099;  
3. 喀什地区农技推广中心, 新疆 喀什 844000)

**摘要:** 农业是新疆经济和社会的基础, 维系着全疆广大农牧民的生计, 也关系到民族团结、边疆稳定和各族人民生活水平。寻求新技术提高绿洲农业生产力是新时期新疆经济和社会发展的要求。我们将小麦秸秆生物炭应用于喀什绿洲的灌淤土, 研究了其对土壤 pH 和土壤水分的影响以及对棉花生长和产量的促进作用。结果显示, 10% 生物炭施用量可以倍增田间持水量, 并提高土壤 pH 值 0.36。但后一作用会随土壤灌溉和淋滤作用的增加而降低; 在混合施用方式下, 生物炭显著提高棉花产量, 5% 的施用量提高皮棉产量 26%。这种增产效果产生的原因是生物炭的施用增加了土壤的营养成分和供水能力, 从而增强了植株的株高、果枝数和单株铃数等。但条施方式对棉花的增产效果不显著, 其施用过程会伤及作物根系和/或纯生物炭的高碱性影响植株的生理作用, 从而造成棉株的枯萎、迟滞作物的生长。上述结果表明生物炭技术是提高绿洲农业生产力很有潜力的一条途径, 但施用方式是一个很重要的影响因素。本研究结果不仅可以直接指导新疆绿洲的棉花生产, 还可以为我国北方广大干旱区农业生产和管理提供借鉴。

**关键词:** 生物炭; 灌溉农业; 棉花生产; 土壤酸碱度; 盐碱地

**中图分类号:** S141 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9250(2014)06-0757-07

新疆是我国重要的农垦区, 肩负着维护民族团结、边疆稳定和提高各族人民生活水平的重任。以灌溉为特征的绿洲农业是新疆的经济基础, 维系着全疆 95% 以上人口的生计<sup>[1]</sup>, 在社会经济和民族和谐中起着举足轻重的作用。建国以来绿洲土地一直面临人口增加所带来的垦植压力。最近国家要进行西部大开发, 举全国之力在喀什建立经济特区, 从而带动全疆经济跨越式发展, 实现新疆的长治久安。这一举措将使新疆地区面临更大的人口压力, 由此对绿洲土地生产力提出了更高要求, 寻求新技术提高绿洲土地生产力是新时期新疆经济发展的当务之急。

生物炭技术是将作物秸秆或林业废弃物等生物质材料或其衍生物进行碳化, 然后以适当方式和标准施用于土壤以获得相应经济、生态和环境收益的科学与技术理念<sup>[2, 3]</sup>。对这种人造土壤的研究发

现生物物质碳化物可以改善土壤质量, 保持土壤肥力, 具有节水、节肥、固碳和提高作物产量等作用<sup>[2, 4, 5]</sup>。在世界许多地区的实验研究中, 生物炭技术的应用都显示出了增产的效果<sup>[6-9]</sup>, 见诸报导的增产率可达 200%, 因作物不同和生物炭施用技术和标准的不同而存在较大差异<sup>[2, 10-14]</sup>。因此利用生物炭技术提高绿洲土地生产力可能是一条很有潜力的途径, 然而这方面的研究却十分有限<sup>[15]</sup>。据此开展生产炭在新疆应用的增产效果研究具有实际意义。棉花是新疆农业的支柱性经济作物, 种植面积逐年增加<sup>[16]</sup>。棉产量对全区的经济发展和农民收入具有举足轻重的作用。因此认识生物炭应用对棉花的增产效果尤其具有重要意义。

水是新疆农业生产中最根本的制约因素。灌溉用水随着开垦面积的增加而日趋紧张, 为此不得不采取不同区域和田块轮流灌溉的方式。生物炭是

收稿日期: 2014-03-21; 改回日期: 2014-05-13

基金项目: 中科院“科技支新”; 新疆自治区“科技支疆”; “中国科学院战略性科技先导专项(XDA05070400)”。

第一作者简介: 王荣梅(1968-), 女, 副研级高级工程师, 研究方向为农业气象与人工影响。E-mail: xjksqxj@126.com.

\* 通讯作者: 李心清(1965-), 男, 教授, 研究方向为生物炭技术研究与应用。E-mail: lee@mail.gyig.ac.cn.

一种比表面积和空隙度都较大的物质,其施用能在多大程度上改善土壤的储水能力,是直接关系到其增产效果的一个重要问题。干旱的气候背景,灌溉农业和高达 2000 mm 以上的年蒸发量<sup>[17]</sup>决定了新疆土壤高碱度和次生盐碱化的必然性<sup>[18]</sup>。而源于秸秆等生物质的生物炭是一种碱性物质<sup>[19, 20]</sup>,其应用于绿洲土地如何影响土壤的酸碱度是认识生物炭应用于绿洲土地效果的另一重要问题。基于上述考虑,我们选择了地处南疆的喀什绿洲为研究对象,研究了生物炭施用于土壤后对持水量、pH 值和棉花长势、产量的影响,本文报导这一研究结果。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

田间试验选择于新疆喀什地区农业技术推广中心试验地(39°23'45"N,75°58'43"E)。此地点位于喀什噶尔河冲积三角洲的中部,是喀什农业生产强度最集中的区域。年均气温 12 °C,年降雨量约为 64 mm。土壤类型为盐化灌淤土,该类土壤是新疆绿洲农业区的典型土壤类型<sup>[21]</sup>。土壤性质见表 1。

### 1.2 试验设计

试验所用生物炭是由小麦秸秆碳化而成。碳化最高温是 550 °C,该碳化温度是生物炭生产的最佳温度,在此温度条件下,生物炭的含碳量、产率、离子交换能力等都能够得到合理的兼顾<sup>[22]</sup>,碳化升温速率为 18 °C/min,碳化产率(生物炭质量/秸秆质量)为 30%。所得生物炭理化性质如表 1 所示。由该表可见生物炭在 C、N、P 和 K 含量方面显著高于土壤的相应含量,并且具有高含量的作物可直接利用的 N(如  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ -N)、P(如 A-P)和 K。这是因为生物质碳化过程是一个碳的富集过程,也是生物质中其他元素如 N、P 和 K 的富集过程。由于碳化在缺氧条件下进行,所以  $\text{NH}_4^+$ -N 的含量远高于  $\text{NO}_3^-$ -N。

#### 1.2.1 室内实验

##### 1.2.1.1 实验设计

实验装置如图 1 所示。生物炭与土壤的混合

物被装于一个底面积为 60 cm<sup>2</sup>,高度为 30 cm 的 PVC 圆柱中,圆柱下端铺 3 cm 厚的石英砂,底部管口处垫尼龙网,以紧封管底。所用土壤经自然风干并过 2 mm 筛,按 1.2 g/cm<sup>3</sup> 的田间土壤容重与生物炭进行不同重量比的均匀混合。其中表层 5 cm 按田间施肥量施入化肥。

试验设计 4 个处理:1)不添加生物炭(C0);2)生物炭添加量为土壤干重的 1%(C1);3)生物炭添加量为 5%(C5);4)生物炭添加量为 10%(C10)。四个处理分别相当于每公顷施用生物炭 0、10、50、100 t。每个处理设 3 个重复。土柱装好后按每公顷 240 kg N 肥和 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的施肥量施入尿素和普钙。此施肥量与蔬菜基地常用施肥量一致。

实验装置完成后,每天加入相当于降水量 10 mm 的去离子水,持续六天共计 60 mm,以使尿素充分反应。9 天后加大模拟降雨量至每天 20 mm,持续 4 天。当首轮模拟降雨总量达到 140 mm 时,取淋洗液进行测定。第二轮模拟降水总量 50 mm,持续 5 天。如此重复六轮。

##### 1.2.1.2 田间持水量和 pH 的测试分析

田间持水量的测定参照中华人民共和国农业行业标准(NY/T-1121.22-2010)完成。在完成最后一次土壤模拟降水和淋滤实验后,取土称重,105 °C 烘干后再称重,然后计算含水量。

土壤淋滤液直接用来测试 pH 值,所用测试仪器为 pIONeer 65 型便携式多参数仪(雷迪美特,法国)。

##### 1.2.2 田间实验

田间试验于 2013 年 4 月开始,实验小区面积为 30×5 m<sup>2</sup>。根据生物炭施用方法分为 3 种处理,分别为:1)对照(CK),不施用生物炭;2)将生物炭以条施或沟施的方式施入土壤(C1),施用量为干土重的 5%;3)将生物炭以混合法施入土壤(C2),施用量也为干土重的 5%。干土重量计算的土壤容重为 1.15 g/cm<sup>3</sup>,深度为 15 cm。所用条施方法是待棉花幼苗长至株高 42 cm 左右时(2013 年 6 月 18 日)在棉花垄之间开沟,沟深 10~12 cm,将生物炭施入沟中,

表 1 棉田土壤和生物炭的物理和化学性质

Table 1 Physicochemical characteristics of the test soil and biochar

项目	pH	C (g/kg)	N (g/kg)	$\text{NH}_4^+$ -N (mg/kg)	$\text{NO}_3^-$ -N (mg/kg)	A-P (mg/kg)	K (g/kg)	砂粒 (%)	粉砂粒 (%)	粘粒 (%)
土壤	8.2	26.8	0.06	9.8	7.4	1.7	0.2	54.7	42.3	3.0
生物炭	10.5	601.2	14.5	126.3	23.0	90.8	7.5			

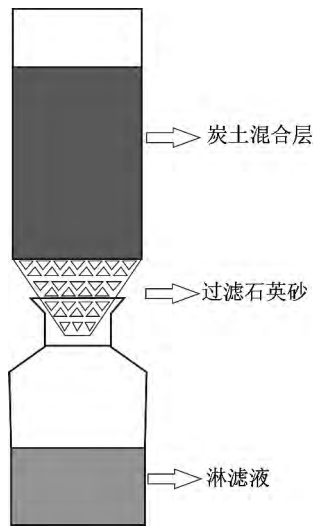


图 1 室内淋滤实验装置图

Fig. 1 Experimental setup for the leaching study in the laboratory

再翻入地下,翻入深度 15~20 cm,上面用土覆盖。所用混合方法是将生物炭均匀地施入实验小区土壤表层,再用铁锹翻入土壤之中。

棉花种植遵照当地惯用方式。棉花品种为中棉所 44(598 系)。一膜四行。播种日期为 2013 年 4 月 8 日。播前施复合肥 150 kg/hm<sup>2</sup>、磷酸二铵 750 kg/hm<sup>2</sup>、磷肥 150 kg/hm<sup>2</sup>。机械犁地深翻 25 cm,喷除草剂,耙耨平整,机械铺膜,膜上穴播。棉花生育期机械中耕 4 次,化控 4 次,时间分别为 5 月 20 日,用药量 7.5 g/hm<sup>2</sup>;6 月 8 日,用药量 22.5 g/hm<sup>2</sup>;7 月 1 日,用药量 52.5 g/hm<sup>2</sup>;8 月 4 日,用药量 97.5 g/hm<sup>2</sup>。叶面肥喷 2 次,分别为 6 月 8 日和 7 月 25 日,各喷施磷酸二氢钾 1500 g/hm<sup>2</sup>,硼肥 750 g/hm<sup>2</sup>。灌水和追肥各 3 次,其中一水为 6 月 28 日,追施尿素 300 kg/hm<sup>2</sup>;二水为 7 月 20 日,追施尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>;三水为 8 月 20 日,追施尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>。每次灌水至表土以上约 10 cm。

棉花在 4 月 15 日出苗,4 月 29 日定苗,6 月 10 日现蕾,6 月 25 日开花,9 月 17 日收获。棉花长势和产量的统计各设三个小区,面积为 1~2 m<sup>2</sup> 不等,以实际框定面积为准。对各统计小区的的有关参数进行实测,然后用外推法计算每公顷的统计结果。产量计算按照喀什农业技术推广中心的标准:只统计直径大于 2 cm 棉铃,棉铃重均按 5.6 g 计;衣分按 40% 计。皮棉产量 = 收获株数 × 单株结铃数 × 单铃重(g) × 衣分(%);折实产量 = 皮棉产量 × 0.85。

### 1.3 数据处理

试验数据采用 origin 8.0 和 SPSS 17.0 软件进行统计分析。各处理之间的显著性差异采用单因素方差分析法(One-way ANOVA),显著性水平为 0.05。

## 2 实验结果及讨论

### 2.1 生物炭对土壤田间持水量的影响

对照组土壤的田间持水量为 30%,随着生物炭施用量的增加,田间持水量增加(图 2)。1%的生物炭施用量提高土壤的田间持水量至 31%,5%的生物炭施用量增加田间持水量到 45%,而 10%的施用量提高到 61%。与对照相比,三种生物炭施用比例的田间持水量提高率分别是 2%,49%和 100%。这一效果的产生无疑源于生物炭颗粒本身多孔的特性以及生物炭颗粒与土壤颗粒之间的新增孔隙。新疆棉田灌溉采用的是分区分片轮流进行的方式,对一个特定的棉田而言,其整个棉花生长过程只能得到三次灌溉,每次灌溉之间的时间间隔为 20~30 天,

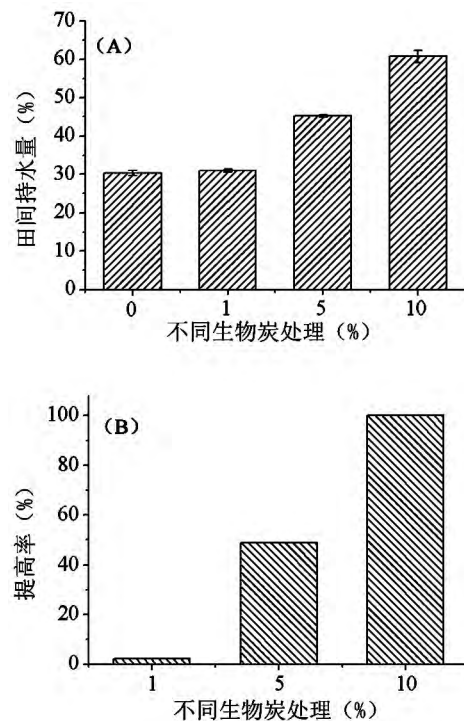


图 2 生物炭的施用对新疆灌溉土田间持水量的促进作用(A)及其提高率(B)

Fig. 2 The improvement of biochar on the field water capacity of the soil typical of the oasis in Xinjiang. (A) The absolute content of water in different treatments of the soil; and (B) the increasing rate of the water holding capacity in comparison to the soil without biochar

两次灌溉之间棉花生长所需水分完全依赖于土壤的供给。生物炭的施用大幅度地提高了田间的持水量,从而提高了土壤在每次灌溉之间向作物供水的能力,这一特性对新疆乃至干旱地区的灌溉农业生产都具有重要的实际意义。

## 2.2 生物炭施用对土壤 pH 的影响

土壤淋滤液的理化性质是土壤溶液的反映,而后者与作物的生长具有直接联系。因此考察生物炭对土壤淋滤液的影响有利于认识生物炭对作物的影响。不同生物炭施用量的六轮淋滤实验结果显示,生物炭的添加提高了土壤溶液的 pH(图 3)。C0、C1、C5 和 C10 处理中淋滤液的平均 pH 值分别为 8.21、8.29、8.51 和 8.57。生物炭施用量越高, pH 值的增加量越大,10% 的生物炭施用量使淋滤液的 pH 值增加了 0.36。生物炭中含有大量的 K、Ca、Mg 等碱性离子和芳香族化合物,且其芳香族化合物上有一 OH 基团。这些离子或基团溶于水后呈碱性,在淋滤实验过程中,随着降雨量的增加,生物炭中的碱性基团和碱性离子溶于水并淋出,导致淋滤液 pH 升高<sup>[23]</sup>。因此生物炭本身的化学性质是影响土壤 pH 值的一个重要因素。

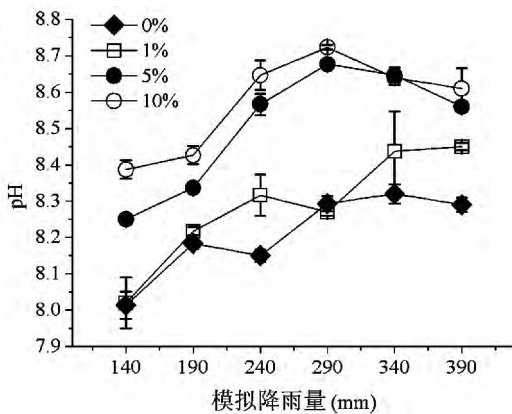
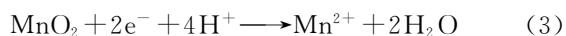


图 3 生物炭对土壤 pH 的影响

Fig. 3 The effect of biochar on soil pH

在淋滤过程中,淋滤液的 pH 值均表现出了先升高而后降低的现象,对照组土壤也不例外。因此这一现象显然不是因为生物炭的施用所造成的。前人研究表明,土壤从干到湿的变化过程会造成其中  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Mn}^{4+}$  等离子的还原反应<sup>[24]</sup>:



这些反应均消耗土壤中的  $\text{H}^+$ ,从而也导致土壤 pH 的增加。据此,我们认为淋滤过程中 pH 值

的这一变化行为是土壤湿润过程离子还原反应的结果。生物炭的施用虽然提高了土壤的 pH 值,但并没有改变这一变化特征,表明生物炭施用并不会显著地影响土壤湿润过程中的上述基本反应。

上述 pH 值的变化拐点于 290 mm 模拟降水量左右,表明在此降水量左右土壤中  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Mn}^{4+}$  等离子的还原反应基本完成,土壤中碱性离子的淋出量逐渐降低,从而造成土壤溶液 pH 值的降低。

这一实验结果表明生物炭施用于干旱区碱性土壤虽然可以明显地提高土壤的 pH 值,但提高作用不大。由于绿洲农业的漫灌压碱和灌溉生产方式,随着时间的推移和土壤淋滤作用的增强,因生物炭施用所造成的 pH 值的升高必然会得到进一步降低。

## 2.3 生物炭对棉花长势和产量的影响

### 2.3.1 对株高、单株结铃数和果枝数的影响

棉花的株高是指株顶到地面的距离,单株果枝数是指平均一棵棉株主茎上的果枝数,单株结铃数是指平均一株棉花的有效结铃数量。这些参数都对棉花产量具有程度不同的影响。相对于对照组 CK 71 cm 的平均植株高,C1 的植株高度略有增加,平均增加率为 1%,但 C2 却有 10% 的增加率。此差异主要是因为生物炭的施用改善了土壤的水肥条件,从而提高了其株高。由于这一原因,在打顶时 C2 的高度已显著高于对照组。CK 的单株果枝数平均为 9.3 枝,C1 和 C2 与 CK 相比分别增加了 1% 和 13%。单株结铃数与对照相比,C1 和 C2 分别增加 8% 和 156%(图 4)。

### 2.3.2 对棉花产量的影响

实验中统计了棉花的皮棉产量和折实产量两项指标。皮棉是指脱离了棉籽的棉纤维,折实产量是在皮棉产量基础上再乘以折实系数 0.85 的结果。对照组的折实产量为 1767 kg/hm<sup>2</sup>。与对照相比,C1 和 C2 的折实增产量分别增加了 5% 和 26%。对 C2 处理棉田 100 朵棉花的抽查结果显示,其单铃重为 5.6 g,与新疆棉区产量统计中常用单铃重相同。表明生物炭增产效果不是通过提高棉花的单铃重实现,而是通过提高棉花单株结铃数和果枝数而产生。

## 2.4 不同生物炭施用方式的效果差异原因探讨

上述结果均表明,C1 和 C2 两种生物炭施用方式在棉花长势和产量方面表现出了很大的差异。生物炭的条施方式与对照相比,长势和产量几乎持平,

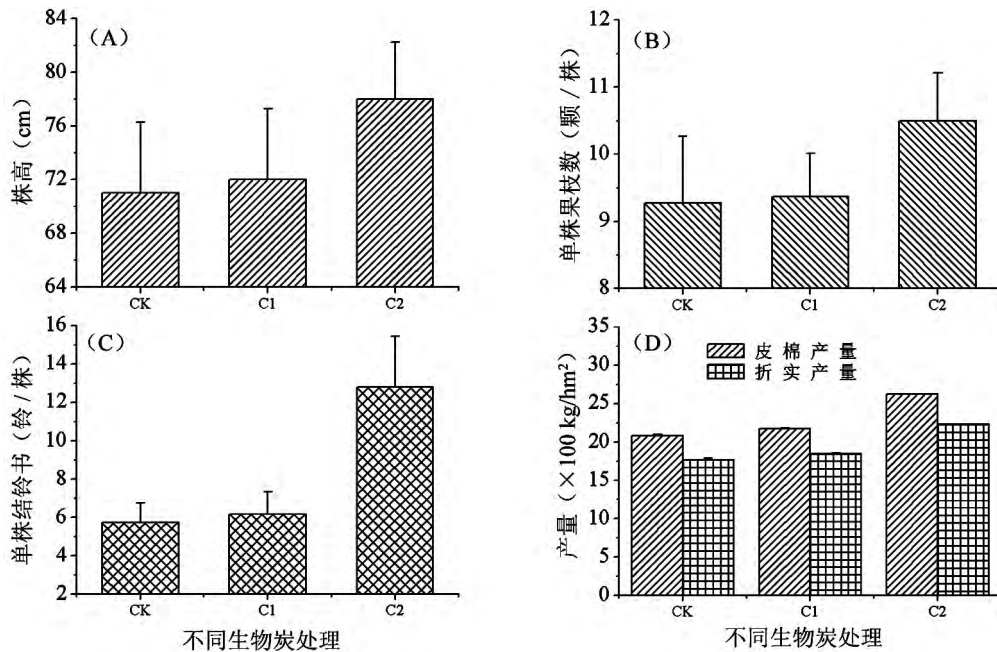


图 4 生物炭对棉花株高(A)、单株果枝数(B)、单株结铃数(C)和产量(D)的影响

Fig. 4 The improvement of biochar on height (A), stem number(B), bud number (C) in an individual plant stand and cotton production in a hectare(D)

但混合施用方式却表现出了显著的促进效果。棉花生长过程的观察显示,条施方式中生物炭施用一周后出现了棉株枯萎现象,但两周后又自然恢复。造成这一现象确切的生物地球化学原因目前还不清楚,田间观察结果表明可能是条施生物炭过程中因为开沟损害了棉苗的部分根系,和/或新生根系触及了100%的生物炭,后者较高的碱性损害了作物的生理作用,因而影响了棉花的生长,并最终影响到生物炭对棉花的增产效果。在生物炭混合施用方式中没有出现条施方式中的现象,但却会影响棉籽的出苗率,从而降低单位面积的植株数。土壤盐度是影响新疆棉花发芽率的一个重要因素<sup>[25]</sup>,随着盐度的增加,出苗率逐渐降低<sup>[26, 27]</sup>。生物炭在生产过程中富集K、Na、Ca和Cl等化学物质,是否是其中盐离子如Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>等对种子出芽造成了毒害是一个非常值得研究的课题。

### 3 结 论

生物炭的施用显著地提高了新疆农业区土壤的田间持水量,当生物炭施用量为10%时,田间持水量倍增。作为一种碱性物质,生物炭的施用同时也提高了土壤的pH值,当施用量为10%时,pH被

平均提高了0.36。但生物炭的这一作用会随土壤灌溉和淋滤作用的增加而很快降低。生物炭的施用提高棉花的产量。实验数据显示,条施或沟施方式下生物炭对棉花作物的增产效果不明显,但混施方式表现出了显著的增产效果。5%的施用量提高皮棉产量可达26%的水平。这种增产效果产生的地球化学原因是生物炭的施用增加了土壤的营养成分和供水能力,从而增强了植株的长势如株高、果枝数和单株铃数。两种生物炭施用方式下增产效果的差异主要是因为条施造成了棉株的枯萎从而影响了其生长。但其生物地球化学机理还有待认识。

新疆绿洲土地面积约 $4 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>,农业生产管理方式相同,都具有灌溉农业的特点,在土地生产力及其可持续发展方面面临相同的问题。这些问题作为新疆经济发展的重要制约因素目前已暴露于现行绿洲农业管理过程之中,未来将更显突出。与新疆类似,我国北方干旱、半干旱区耕作土地面积在 $3 \times 10^8$  hm<sup>2</sup>以上,同样面临水资源短缺和土地盐碱化等问题。上述研究结果不仅可以直接指导新疆绿洲的棉花生产,还可以为我国北方广大干旱区农业生产和管理提供借鉴。

## 参 考 文 献

- [1] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [2] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—A review[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35(4):219–230.
- [3] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—A review[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, 11(2):403–427.
- [4] 邢英, 李心清, 周志红, 等. 生物炭对水体中铵氮的吸附特征及其动力学研究[J]. *地球与环境*, 2011, 39(004):511–516.
- [5] 周志红, 李心清, 邢英, 等. 生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用[J]. *地球与环境*, 2011, 39(2):278–284.
- [6] Albuquerque J A, Salazar P, Barron V, *et al.* Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2013, 33(3):475–484.
- [7] Chan K Y, Van Zwieten L, Meszaros I, *et al.* Using poultry litter biochars as soil amendments[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2008, 46(5):437–444.
- [8] Graber E R, Meller Harel Y, Kolton M, *et al.* Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media[J]. *Plant and Soil*, 2010, 337(1–2):481–496.
- [9] Major J, Rondon M, Molina D, *et al.* Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol[J]. *Plant and Soil*, 2010, 333(1):117–128.
- [10] Blackwell P, Krull E, Butler G, *et al.* Effect of banded biochar on dryland wheat production and fertiliser use in south-western Australia: An agronomic and economic perspective[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2010, 48(6–7):531–545.
- [11] Chan K Y, Van Zwieten L, Meszaros I, *et al.* Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2007, 45:629–634.
- [12] Rondon M A, Lehmann J, Ramirez J, *et al.* Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 43(6):699–708.
- [13] Zhang A F, Cui L Q, Pan G X, *et al.* Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2010, 139(4):469–475.
- [14] Zhang A F, Liu Y M, Pan G X, *et al.* Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain[J]. *Plant and Soil*, 2012, 351(1–2):263–275.
- [15] Zhang Q Z, Wang X H, Du Z L, *et al.* Impact of biochar on nitrate accumulation in an alkaline soil[J]. *Soil Research*, 2013, 51(6):521–528.
- [16] 冯玉杰. 试谈新疆棉花产业的协调运作和良性发展[J]. *中国纤检*, 2011(005):41–43.
- [17] 李江风. 新疆气候[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [18] 陈镭, 侯东升, 郭玲玲, 等. 新疆盐碱地形成特点及改良措施[J]. *新疆农垦科技*, 2009(5):56–57.
- [19] Xu R K, Zhao A Z, Yuan J H, *et al.* pH buffering capacity of acid soils from tropical and subtropical regions of China as influenced by incorporation of crop straw biochars[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2012, 12(4):494–502.
- [20] Yuan J H, Xu R K. Effects of biochars generated from crop residues on chemical properties of acid soils from tropical and subtropical China[J]. *Soil Research*, 2012, 50(7):570–578.
- [21] 龚子同. 中国土壤系统分类: 理论·方法·实践[M]: 科学出版社, 1999.
- [22] Lehmann J. Bio-energy in the black[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2007, 5(7):381–387.
- [23] Novak J M, Busscher W J, Laird D L, *et al.* Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil[J]. *Soil Science*, 2009, 174(2):105–112.
- [24] Qin Y S, Wang Z Y, Jiaka L T, *et al.* Cadmium uptake by paddy rice and soil available Cd under water flooding as affected by nitrogen fertilizer[J]. *Bioinformatics*, 2010.
- [25] Ashraf M Y, Sarwar G, Ashraf M, *et al.* Salinity induced changes in alpha-amylase activity during germination and early cotton seedling growth[J]. *Biologia Plantarum*, 2002, 45(4):589–591.
- [26] Ahmad S, Khan N, Iqbal M, *et al.* Salt tolerance of cotton (*Gossypium hirsutum* L.)[J]. *Asian J Plant Sci*, 2002, 1

(6):715—719.

- [27] Sattar S, Hussnain T, Javaid A. Effect of NaCl salinity on cotton (*Gossypium Arboreum* L.) grown on MS medium and in hydroponic cultures[J]. Journal of Animal and Plant Sciences, 2010, 20(2):87—89.

## The Effects of Biochar Application in the Cotton Fields of Kashgar Oasis, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

WANG Rong-mei<sup>1,2</sup>, YANG Fang<sup>1</sup>, XU Liang<sup>2</sup>, LIU Zhong-tang<sup>3</sup>,  
ZHANG Xiao-qin<sup>2</sup>, WANG Hai-xiao<sup>3</sup>, LEE Xin-qing<sup>1,\*</sup>

- (1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. The Kashgar Meteorological Bureau, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Kashgar 844099, China; 3. The Kashgar Agricultural Technology Promotion Center, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Kashgar 844099, China)

**Abstract:** Agriculture is the foundation for the economic and social development of the Xinjiang Uygur Autonomous Region, China, and the agricultural production involves 95% of its whole population and thus is crucial to the national unity, the harmony of the society and the livelihood of the people. At the explosion of population and quick expansion of cities in recent decades in the region, new technologies are imperatively needed to promote the agricultural productivity in the oasis fields. Based on these understandings, this study applied biochar of wheat straw to the fields of cotton, a predominant economic plant in Xinjiang, and observed the effect on soil pH, water holding capacity, as well as the growth and production of the plant. The results indicated that the biochar improved significantly the water-holding capacity of soil, so much as doubling the water content at 10% application rate (w/w). Meanwhile, the application of charcoal also increased soil alkalinity, by as much as 0.36 on average at the same application rate. This effect, however, was subdued quickly with leaching incurred in irrigation or precipitation. By mixing the biochar with soil at the top 15 cm depth, the charcoal increased the net productivity by 26% at the 5% application rate. The enhancement of productivity results geochemically from the nutrients and water holding capacity increased by the application of biochar, which apparently helped improve the plant growth by increasing the height, the number of stems and cotton buds in the individual stand. Much different from the mixing method, the amendment of charcoal by burying in ditches dug in between the lines of the cotton seedlings only slightly increased the production. This application may cut down some of the roots in digging and/or impair, the growth due to high alkalinity once the newly grown roots reached the bulk biochar buried in the ditch, and thus caused the wilting of the plants. These findings suggested that biochar holds the high potential as a new technology in promoting the productivity in the oasis so long as the application method is appropriated. This study contributed directly to the cotton production in Xinjiang oases, but also helped with the agricultural management in the arid northern part of China.

**Key words:** biochar; oasis agriculture; cotton production; soil pH; saline-alkali field